



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

KILDENBERG KAYNAN FELIX NUNES

**ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ACERCA DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL ENTRE PAREDES DE *LIGHT*
STEEL FRAME E ALVENARIA ESTRUTURAL**

Orientador: Prof. Drº. Hidelbrando José Farkat Diógenes

JOÃO PESSOA

2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

KILDENBERG KAYNAN FELIX NUNES

**ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ACERCA DA
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL ENTRE PAREDES DE *LIGHT*
STEEL FRAME E ALVENARIA ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, em cumprimento à exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Orientador: Prof. Drº. Hidelbrando José Farkat Diógenes.

JOÃO PESSOA

2017

N972e Nunes, Kildenberg K. F.

Estudo experimental comparativo acerca da resistência à compressão axial entre paredes de light steel frame e alvenaria estrutural./ Kildenberg K. F. Nunes – João Pessoa, 2017.

58f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Hidelbrando José Farkat Diógenes

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Light Steel Frame 2. Alvenaria estrutural 3. Compressão axial I.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

KILDENBERG KAYNAN FELIX NUNES

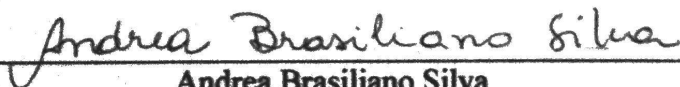
ESTUDO EXPERIMENTAL COMPARATIVO ACERCA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL ENTRE PAREDES DE *LIGHT STEEL FRAME* E ALVENARIA ESTRUTURAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 06/06/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:



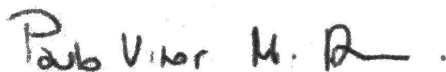
Hidelbrando José Farkat Diógenes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



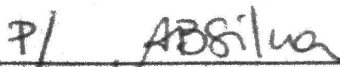
Andrea Brasiliano Silva
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO



Paulo Vitor Mendonça Rezende
Empresa Ambiente Ideal

APROVADO



Prof. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Prof^ª Andrea Brasiliano
Vice - Coordenadora CCGEC
Step 1549557

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, minha eterna gratidão.

Aos meus pais, Josilene e Roberto, por todo amor dedicado, educação recebida, toda sabedoria, confiança e apoio prestado.

A minha namorada Renata Lígia por todo amor, ajuda, companhia e dedicação compartilhado comigo.

A minha irmã, Joyce, que como amiga também, sempre estava para me ajudar.

Aos professores Hidelbrando e Andrea pela atenção, paciência e dedicação a este trabalho, que foi concretizado pela ajuda de vocês.

Aos ilustres professores que são fontes de inspiração por sua dedicação aos alunos e a esta universidade

Aos meus amigos e colegas de curso que sempre foram auxílio nas disciplinas do curso, principalmente aqueles que ajudaram diretamente nesse trabalho, Lucas Araújo, Lucas Farias, Matthews Borba, Israel, Anne, Philipe, Juliana, Matheus, Diego etc.

Aos técnicos e funcionários do laboratório de materiais, por toda ajuda na realização dos ensaios para este trabalho.

As empresas Paraíba Blocos, na pessoa de Henrique, pela doação dos blocos de concreto; Ambiente Ideal, na pessoa de Paulo, pela doação das pequenas paredes de *Light Steel Frame* e a Planej pela contribuição financeira na aquisição de materiais necessários para a pesquisa.

A coordenadora do curso Ana Claudia por seu auxílio e dedicação para o melhoramento do curso.

A todos os professores do nosso departamento por toda dedicação empregada para passar os seus conhecimentos para os alunos.

DEDICATÓRIA

Ao Deus, que me deu forças para concluir essa etapa e a meus pais, Josilene e Roberto, pelo amor incondicional por eles me dado.

NUNES, Kildenberg K. F. **Estudo experimental comparativo acerca da resistência à compressão axial entre paredes de *Light Steel Frame* e alvenaria estrutural.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.

RESUMO

O método construtivo convencional utilizado no Brasil é caracterizado pela baixa produtividade e alto desperdício. Diante da competitividade no mercado, do grande crescimento populacional e dos avanços tecnológicos, uma das alternativas para combater esse cenário é a utilização do sistema construtivo *Light Steel Frame (LSF)*. Este estudo teve como objetivo analisar a capacidade de compressão axial das paredes utilizando a tecnologia *LSF* através da comparação com outro sistema de parede autoportante utilizado na Paraíba. No caso desse estudo, foi abordado a alvenaria estrutural com blocos de concreto. Para alcançar os parâmetros relacionados a resistência de compressão axial de forma a ser possível a comparação entre os sistemas, foram realizados ensaios de compressão axial simples com pequenas paredes possuindo dimensões de 1,20x1,20m, como também ensaios de forma a caracterizar os componentes das mesmas. Com os resultados obtidos, foi observado uma vantagem da tecnologia *LSF* sobre a alvenaria estrutural, quando levado em consideração a relação força resistente pelo peso da estrutura, fator esse que pode incentivar o uso da tecnologia na Paraíba.

Palavras-chave: *Light Steel Frame*, alvenaria estrutural, compressão axial.

NUNES, Kildenberg K. F. **Comparative experimental study about resistance to axial compression between Light Steel Frame and structural masonry walls.** Completion of course work (graduation) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.

ABSTRACT

The conventional construction method used in Brazil is characterized by low productivity and high waste. Faced with market competitiveness, high population growth and technological advances, one of the alternatives to face this scenario is the use of the Light Steel Frame (LSF) building system. This study aimed to analyze the axial compression capacity of the walls using LSF technology through the comparison with another self - supporting wall system used in Paraíba. In the case of this study, it was approached structural masonry with concrete blocks. To reach the parameters related to the axial compression strength in order to make possible the comparison between the systems, simple axial compression tests were performed with small walls having dimensions of 1.20 x 1.20 m, as well as tests in order to characterize the components of the same ones. With the results obtained, an advantage of the LSF technology was observed over the structural masonry, when considering the relationship strength resistant by the weight of the structure, a factor that can encourage the use of the technology in Paraíba.

Keywords: Light Steel Frame, structural masonry, axial compression.

LI STA DE FIGURAS

Figura 1: Prédio construído utilizando <i>LSF</i>	12
Figura 2: Condomínio Edifício <i>Fit Jardim Botânico</i>	16
Figura 3: Prédio comercial da Petrobrás em Itaboraí, i- estrutura metálica, ii- obra finalizada.	19
Figura 4: Condomínio residencial em Juriti-PA, i- Galpão de estoque, ii- Obra finalizada. ...	19
Figura 5: Empreendimentos com <i>LSF</i> na paraíba.	19
Figura 6: i - Prisma de dois blocos, ii - Pequena parede	20
Figura 7: Resistência do bloco x argamassa x prisma	21
Figura 8: Flambagem local e por distorção	23
Figura 9: Blocos utilizados.....	26
Figura 10: Corpo de prova de argamassa.	27
Figura 11: Prisma de dois blocos.....	27
Figura 12: i – Disposição da argamassa; ii - Parede de alvenaria utilizada para os ensaios. ...	28
Figura 13: Estoque de guias da Ambiente Ideal.....	28
Figura 14: Dimensões dos perfis U.	28
Figura 15: Estoque de montantes da Ambiente Ideal	29
Figura 16: Dimensões dos perfis U enrijecidos.....	29
Figura 17: Estoque de Chapas de OSB da Ambiente Ideal	30
Figura 18: Pequena parede de steel frame i - Com revestimento, ii- Sem revestimento.....	31
Figura 19: Parafuso autoperfurante	31
Figura 20: i - Medição com paquímetro; ii – Determinação da área líquida; iii - Bloco na prensa hidráulica.....	32
Figura 21: Corpo de prova de argamassa na prensa.	33
Figura 22: Prisma posicionado na prensa para ensaio.....	33
Figura 23: i - Pórtico com prensa hidráulica, ii - Esquema de monstagem dos equipamentos.	35
Figura 24: Bloco após o ensaio de compressão:.....	38
Figura 25: Corpo de prova de argamassa após ruptura.	39
Figura 26: Formas de ruptura dos prismas	41
Figura 27: Posicionamento dos LVDT das paredes de alvenaria - i parte frontal; ii parte traseira	42
Figura 28: Posicionamento dos LVDT's das paredes de <i>LSF</i> - i parte frontal; ii - parte traseira.	42
Figura 29: Primeiras fissuras em PBC 01.....	44

Figura 30: i - Primeira fissura na PBC 02, ii - Momento de ruptura da parede PBC 02.	44
Figura 31: Trincas em paredes de vedação.....	45
Figura 32: i - Primeiras fissuras em PBC 03, ii - Modo de ruptura da PBC 03.	45
Figura 33: i - Primeiras fissuras em PBC 04, ii - Modo de ruptura da PBC 04.	46
Figura 34: i - Primeiras fissuras em PBC 05, ii - Modo de ruptura da PBC 05.	46
Figura 35: i - Primeiras fissuras em PBC 06, ii - Modo de ruptura da PBC 06	47
Figura 36: Gráfico Tensão X Deformação, PBC 01.....	47
Figura 37: Gráfico Tensão X Deformação, PBC 03.....	48
Figura 38: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 04	48
Figura 39: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 05	49
Figura 40: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 06	49
Figura 41: i -PSF 01 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 01.	51
Figura 42: i - PSF 02 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 02	51
Figura 43: i - PSF 03 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 03.	52
Figura 44: i - PSF 04 após ruptura, ii- Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 04.	52
Figura 45: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 01	53
Figura 46: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 02	53
Figura 47: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 03	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões nominais dos blocos	26
Tabela 2: U simples- Dimensões, massa e propriedades geométricas.	29
Tabela 3: Perfil U enrijecido - Dimensões, massa e propriedades geométricas	30
Tabela 4: Propriedades avaliadas dos blocos de concreto	32
Tabela 5: Dimensões efetivas dos blocos	37
Tabela 6: Caracterização dos blocos	37
Tabela 7: Dimensões efetivas dos meio blocos	37
Tabela 8: Caracterização dos meio blocos	37
Tabela 9: Resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa	39
Tabela 10: Resistência à compressão dos prismas	40
Tabela 11: Resumo dos resultados para as paredes de alvenaria estrutural	54
Tabela 12: Resumo dos resultados para as paredes de <i>LSF</i>	55

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1.	Justificativa	13
1.2.	Objetivo	14
1.3.	Metodologia geral do trabalho	14
1.4.	Estrutura do TCC	14
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1.	Resistência à compressão axial	20
2.2.	Coefficiente de elasticidade, E	24
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1.	Materiais	25
3.1.1.	Paredes de alvenaria estrutural	25
3.1.2.	Paredes de <i>Light Steel Frame</i>	28
3.2.	Métodos	31
3.2.1.	Caracterização física e mecânica dos blocos de alvenaria estrutural	31
3.2.2.	Ensaio de compressão da argamassa	33
3.2.3.	Ensaio de compressão de prismas	33
3.2.4.	Ensaio de compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural e de <i>LSF</i>	34
4.	PROGRAMA EXPERIMENTAL	36
4.1.	Ensaio de caracterização	36
4.2.	Ensaio de compressão axial de pequenas paredes	41
4.2.1.	Ensaio de pequenas paredes de alvenaria estrutural	43
4.2.2.	Ensaio de pequenas paredes de <i>Light Steel Frame</i>	49
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as construções ainda são caracterizadas em grande parte pelo seu caráter artesanal, onde cada obra tem sua qualidade definida pelas propriedades dos materiais utilizados e da mão de obra empregada. O sistema principal utilizado em nosso país com essa característica é o concreto armado juntamente à alvenaria de vedação marcado por baixa produtividade e desperdício de materiais.

De forma a garantir com novas tecnologias, uma maior qualidade de serviços, redução de prazos e menores desperdícios, surge uma proposta de racionalizar o processo da pré-fabricação do produto e planificação dos serviços. Diante deste contexto, destaca-se o sistema construtivo *Light Steel Frame (LSF)*.

O sistema construtivo conhecido como *Light Steel Frame* podendo ser designado também como sistema autoportante de construção a seco em aço. Apesar de já ser todo fabricado no país, o sistema ainda é pouco empregado pela construção civil local. O Brasil está atrás de EUA, Japão, China, Alemanha, Chile e Argentina, alguns dos países que melhor aproveitam a solução.

Segundo a empresa ZÁRYA (2017), o sistema *LSF* já compreende mais de 90% das construções dos EUA, Canadá e Japão, mostrando como o sistema está consolidado nesses países. E de acordo com a CONSTRUSECO (2017), O sistema visto na Figura 1 é capaz de atender quaisquer necessidades arquitetônicas, por isso seu emprego é possível em diversos tipos de edificações: casa, prédios (até 7 pavimentos), galpões, fachadas, escolas, hospitais, lojas, mezaninos e outros. Apesar do seu pouco uso no Brasil, a construção desse sistema continua crescendo. Em conformidade com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA, 2017), a produção de perfis galvanizados para *Light Steel Frame*, por exemplo, aumentou 2% em relação ao ano anterior (2014), chegando a 46.190 toneladas no ano 2015.

Figura 1: Prédio construído utilizando *LSF*



Fonte: MASTERWALL (2016)

Segundo Rodrigues (2006), há dois conceitos básicos que tratam sobre o *LSF*, são eles, o *Frame*, o esqueleto estrutural para dar forma a edificação, que é formado por perfis formados a frio (PFF) e o *Framing*, que se trata do processo pelo qual se unem e vinculam os elementos do sistema. Mesmo tendo a palavra estrutural em seu conceito básico, o sistema está sendo utilizado apenas como parede de vedação na Paraíba, sendo empregado com pilares e vigas metálicas, perdendo assim em eficiência e em competitividade, e segundo Rezende (2017), algumas vezes também é utilizado como estrutura mista, auxiliando os pilares e vigas na resistência aos esforços.

Outro sistema de paredes autoportantes bastante utilizado na Paraíba é o de alvenaria estrutural, onde as paredes além de atuarem como vedação, são elementos da estrutura, aumentando assim a produtividade. Apesar de já apresentar uma racionalização nos processos, esse sistema ainda tem caráter artesanal, perdendo nesse quesito para o *LSF*.

No entanto, no estado da Paraíba, contamos apenas com uma empresa que executa obras com a tecnologia *LSF*, poucas obras foram executadas até hoje no estado, contando apenas com sete no total, sendo 1 (uma) obra residencial em Bananeiras, 3 (três) em Cabedelo e 1 (uma) obra residencial em João pessoa, assim como duas comerciais.

1.1. Justificativa

O presente trabalho justifica-se na necessidade de se obter parâmetros de resistência do sistema *LSF* que assegurem a aplicação dessa tecnologia como um sistema autoportante e em maior escala na Paraíba, onde outros sistemas de paredes autoportantes como alvenarias estruturais com blocos de concreto e cerâmico, e em pequena quantidade, paredes de concreto moldado *in loco*, já são utilizados.

Segundo Carregari (2017), alguns fatores que impedem uma melhor disseminação do *LSF* pelo território nacional são o desconhecimento por parte das construtoras e profissionais da área e a falta de interesse das instituições financeiras em estabelecer regras claras para financiamento desse tipo de alternativa. Diante disso, surge a necessidade de parâmetros para reforçar a possibilidade da utilização dessa tecnologia em todas as possibilidades que são alcançadas por ela em nosso estado.

1.2. Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo geral determinar parâmetros para a utilização do sistema de parede *Light Steel Frame* como estrutura de edificações na Paraíba, e não somente como vedação. Assim, de forma a alcançar o objetivo geral da pesquisa foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Incorporar dados sobre a resistência a compressão axial de dois sistemas e módulos de elasticidade de paredes autoportantes utilizados na Paraíba;
- b) Determinar experimentalmente a resistência a compressão axial dos sistemas de paredes, a partir da construção de modelos de pequenas paredes;
- c) Realizar análise comparativa entre os sistemas de alvenaria estrutural de blocos de concreto e *Light Steel Frame*.

1.3. Metodologia geral do trabalho

A fim de alcançar os objetivos especificados, foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais e para a determinação da capacidade de compressão axial dos sistemas construtivos de paredes estudados nesse trabalho. Para isso, foram confeccionadas pequenas paredes de 1,20 x 1,20 m de dois sistemas de paredes autoportantes utilizados na Paraíba, sendo eles, alvenaria estrutural com blocos de concreto e o *LSF*. As pequenas paredes dos dois sistemas foram confeccionadas seguindo as normas da ABNT para alvenaria estrutural, já que não existem normas brasileiras que tenham prescrições de como realizar o ensaio de paredes de *LSF*.

1.4. Estrutura do TCC

O presente estudo foi subdividido em 5 capítulos. No capítulo 1, no qual estamos inseridos, foi uma breve introdução no capítulo 1, assim como também a explicação dos objetivos gerais e específicos. No capítulo 2, foi apresentada a revisão da literatura a respeito dos sistemas construtivos comparados nessa pesquisa. Em sequência, no capítulo 3, apresentou-se a metodologia aplicada e os materiais usados. No capítulo 4, foram apresentados e discutidos os resultados obtidos. No capítulo 5, foi feita a conclusão do trabalho sintetizando a análise dos resultados bem como as considerações finais baseadas nos objetivos propostos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Sabbatini¹ (1989) *apud* Figueiró (2009), um sistema construtivo pode ser definido por um processo com elevados níveis de industrialização e de organização, sendo formado por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrados pelo processo. Com isso a indústria da construção sempre busca o sistema construtivo que possa com suas características específicas promover uma melhor eficiência.

Diante do avanço da tecnologia e do crescimento da população, cada vez mais busca-se eficiência nas construções, desenvolvendo métodos capazes de aumentar a produtividade e diminuir os desperdícios. No Brasil, a construção ainda é caracterizada por um caráter artesanal, onde a qualidade do produto final depende muito dos materiais e da mão de obra empregada. Porém, o mercado tem sinalizado que essa situação será alterada e que o uso de novas tecnologias é a melhor forma de atender essa crescente demanda, sendo possível com isso, a industrialização e racionalização dos projetos.

Sistemas que se enquadram na questão da racionalização de projetos são os sistemas com paredes autoportantes, caracterizados por utilizar as suas paredes não só como fechamento, mas também como estrutura.

O sistema de paredes como estrutura está incorporado nas edificações desde o início da atividade humana no ato de construir edificações. Um dos métodos utilizados era o empilhamento de pedras para a construção das alvenarias, com o intuito de resistir apenas a compressão, tratando-se de um modelo aceitável e seguro para a época, no qual era seguido por regras puramente empíricas.

É possível observar que em grande parte da história do nosso estado, a construção preponderante é a construção em concreto armado, mas recentemente é foi percebido um aumento na utilização de sistemas de paredes autoportantes. Na Paraíba, segundo a SEMHAB no ano de 2015, das casas que estavam sendo construídas pelo programa “Minha Casa Minha Vida” aproximadamente 32 % foram com sistemas de paredes autoportantes.

Dois sistemas construtivos utilizando paredes como estrutura empregados na Paraíba são a alvenaria estrutural e o *Light Steel Frame*, enquanto o primeiro mencionado apresenta caráter artesanal caracterizado pelo método bloco sobre bloco, o segundo aproxima-se mais da construção industrializada devido ao fato de ser produzida com elementos industrializados previamente.

¹ SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. Tese (Doutorado). São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989.

- Alvenaria Estrutural

Em conformidade com Sabbatini (2003), a alvenaria estrutural é a alvenaria utilizada como estrutura suporte de edifícios e dimensionada a partir de um cálculo racional. Sendo assim o seu uso pressupõe alguns fatores como: uma segurança pré-definida; construção e projeto com responsabilidades precisamente definidas e conduzidas por profissionais habilitados; e uma construção fundamentada em projetos específicos, elaborados por engenheiros especializados.

A alvenaria estrutural é considerada um marco na construção por ter sido utilizada há milhares de anos nas construções das pirâmides. Com as mudanças ocorridas ao longo do tempo, foram surgindo modelos mais racionais, como por exemplo o edifício “*Monadnock*” construído em Chicago entre 1889 e 1891 com 65 metros de altura, com paredes inferiores de 1,81 m de espessura. À medida que novas obras se iniciavam e novas normas surgiram foi-se permitindo calcular a espessura necessária das paredes, diminuindo assim a espessura dessas paredes.

De acordo com Pestana *et al.* (2014), a alvenaria estrutural armada chegou no Brasil em 1966 com prédios residenciais no Conjunto Habitacional “Central Parque da Lapa”. Ainda segundo o autor, a alvenaria estrutural não armada chegou em 1997 com a construção de um edifício de nove pavimentos em blocos sílico-calcário.

Um dos exemplos que temos na Paraíba com alvenaria estrutural é o Condomínio Edifício *Fit Jardim Botânico* (Figura 2), construído com blocos de concreto, possuindo 3 (três) torres com 18 andares cada. Esse empreendimento mostra o potencial desse tipo de processo construtivo.

Figura 2: Condomínio Edifício *Fit Jardim Botânico*



Fonte: Interblock (200-)

- *Light Steel Frame*

Conforme Santiago (2012), O sistema construtivo *LSF* é caracterizado por sua concepção racional, que tem como principal característica uma estrutura constituída por perfis formados a frio de aço galvanizado. Ainda segundo o mesmo autor, por ser um sistema industrializado, possibilita uma construção a seco com grande rapidez de execução, assim sendo conhecido também como sistema autoportante de construção a seco.

Podem ser considerados sistemas construtivos secos aqueles que não utilizam água em sua montagem, técnica que reduz em muito o desperdício de recursos naturais. Três sistemas bastantes conhecidos da construção a seco são o *Drywall*, *Woodframe* e o *LSF*. Apesar de o *Drywall*, onde são utilizados painéis de gesso acartonado, ser geralmente confundido com o *LSF*, a diferença principal neles é que o último sistema mencionado introduz o reticulado metálico com função estrutural, enquanto o *Drywall* não.

O sistema de construção a seco apresenta muitas vantagens em relação ao sistema tradicional. De acordo com Gomes (2013), as vantagens a seguir podem ser pontuadas:

- Redução em 1/3 dos prazos de construção em relação ao método tradicional;
- Alívio nas fundações devido ao peso reduzido;
- Desempenho acústico através da instalação da lã de rocha e lã de vidro entre as paredes e forro;
- Facilita a manutenção das instalações hidráulica, elétrica, ar condicionado e gás, devido a possibilidade de “costurar” os tubos entre a estrutura e a ausência da necessidade de quebrar partes da parede como nas construções convencionais.
- Possibilidade de reaproveitamento do aço sem perda das características básicas de qualidade e resistência, possibilitando também a reciclagem;
- Maior precisão dimensional.

E ainda segundo PLACO (2014), existem outras vantagens como redução do volume transportado, flexibilidade de *layout* e mínimo desperdício.

Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA (2015) ainda não existe uma norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que abranja a montagem do sistema *Light Steel Frame*, porém, um texto base para uma futura normatização para esse sistema está em desenvolvimento. Por enquanto, as normas utilizadas como referência são:

- ABNT NBR 6355:2003 - Perfis Estruturais de Aço Formados a Frio – Padronização;

- ABNT NBR 14715:2001 - Chapas de Gesso Acartonado – Requisitos;
- ABNT NBR 14717:2001 - Chapas de Gesso Acartonado - Determinação das Características Físicas;
- ABNT NBR 14762:2001 - Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio – Procedimento;
- ABNT NBR 15217:2009 - Perfis de Aço para Sistemas de Gesso Acartonado – Requisitos;
- ABNT NBR 15253:2005 - Perfis de Aço Formados a Frio, com Revestimento Metálico, para Painéis Reticulados em Edificações - Requisitos Gerais;
- ABNT NBR 15498:2007 - Placa Plana Cimentícia sem Amianto - Requisitos e Métodos de Ensaio;
- DIRETRIZ SINAT N° 003: Sistemas Construtivos em Perfis Leves de Aço Conformados a Frio, com Fechamento em Chapas Delgadas (sistema leves tipo *Light Steel Framing*);

De acordo com Santiago (2012), apesar de ser considerada uma tecnologia nova, a origem do *LSF* está atrelada ao início do XIX quando historicamente iniciaram-se as habitações de madeira construídas pelos colonizadores do território americano. Isto porque para conseguir atender ao crescimento da população, era necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos, utilizando os materiais disponíveis, no caso a madeira.

Ainda segundo o autor, no período pós Segunda Guerra Mundial, houve uma evolução nos processos de fabricação de PFF, tornando-se vantajosa a substituição da madeira para o aço, mas somente na década de 90, um grande aumento dos preços da madeira levou os construtores a preferirem o uso do *LSF*, estimando-se que no final da mesma década, 25% das residências construídas nos Estados Unidos foram em *LSF*.

De acordo com Machado² (2008) *apud* Gomes (2013), as primeiras construções em *LSF* começaram a ser implementadas no Brasil em 1998, apresentando já grandes exemplos como um prédio comercial da Petrobrás em Itaboraí-RJ com 59.350 m² (Figura 3) e um condomínio residencial em Juriti-PA com área total de 22.750 m² contornado com 50 casas com 115m², 1 escola com 2.000 m² e 17 prédios com 12.000 m² (Figura 4).

2 Machado. J.P. Estudo comparativo entre sistemas construtivos para habitações de interesse social: Alvenaria convencional versus steel frame. São Paulo 2008.

Figura 3: Prédio comercial da Petrobrás em Itaboraí, i- estrutura metálica, ii- obra finalizada.



Fonte: Construtora Sequência.

Figura 4: Condomínio residencial em Juriti-PA, i- Galpão de estoque, ii- Obra finalizada.



Fonte: Construtora Sequência.

Contudo na Paraíba temos poucos exemplos, alguns deles são apresentados na Figura 5
Figura 5, mas que mostram o potencial e a possibilidade do uso dessa tecnologia no estado.

Figura 5: Empreendimentos com *LSF* na Paraíba.



Fonte: Acervo da Construtora Ambiente Ideal (2017)

2.1. Resistência à compressão axial

Um das grandes exigências requeridas para um projeto é a resistência à compressão axial, esforço esse que tende a provocar um encurtamento ou até o rompimento do corpo de prova submetido a este esforço. Sendo essa, uma característica importante para os sistemas de paredes autoportante que devido a ser o esforço mais atuante nesse tipo de estrutura. Por isso, o projetista deve sempre especificar materiais que com capacidade de resistir esforços de compressão ao mesmo tempo que atende segurança e conforto.

Devido a variabilidade das características dos materiais empregados nas construções no Brasil, é sempre necessário a realização de ensaios para ter resultados mais representativos e precisos das resistências dos sistemas de construção utilizados. Sendo neste trabalho, dado a importância na determinação da resistência sob compressão axial entres os sistemas construtivos de alvenaria estrutural com blocos de concreto e *Light Steel Frame* através dos ensaios experimentais.

- Determinação da resistência de compressão axial de paredes de alvenaria estrutural

Há mais de uma forma de conseguir a resistência à compressão uniaxial de alvenaria, uma delas é utilizando equações empíricas ou empírico-analíticas que correlacionam a resistência dos componentes da parede (bloco e argamassa) com a resistência da mesma, a outra é por meio da realização de experimentos com prismas ou pequenas paredes sob compressão axial, onde são utilizados componentes iguais aos que serão utilizados na obra (MATA, 2006).

Os prismas são corpos-de-prova constituídos de dois ou mais blocos ligados entre si por juntas de argamassa (Figura 6,i). As pequenas paredes são um conjunto de blocos dispostos alternadamente ligados por argamassa, essa disposição é denominada de junta amarrada (Figura 6,ii).

Figura 6: i - Prisma de dois blocos, ii - Pequena parede



Fonte: Autoria própria.

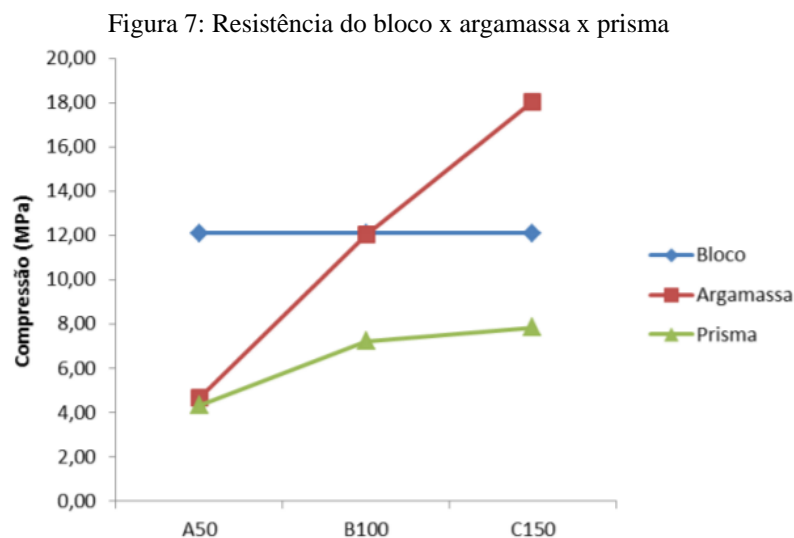
De acordo com Camacho (2006), podem ocorrer três tipos de ruptura à compressão:

- a-) Ruptura dos blocos: Ocorre a aparição de uma fissura vertical que passa pelos blocos e juntas de argamassa;
- b-) Ruptura da argamassa: Verifica-se o esmagamento das juntas, sendo constatada pelo esfarelamento da junta;
- c-) Ruptura do conjunto: Advém do surgimento de fissura vertical no conjunto, porém precedida de indícios de ruptura conjunta da argamassa.

Sendo o tipo ideal de fissuração, a Ruptura do conjunto, devido ao comportamento colaborativo entre junta e bloco, afim de garantir o melhor desempenho da alvenaria.

Segundo o trabalho de Machado e Antunes (2015), argamassa com valores acima de 70% da resistência do bloco não apresentam ganhos significativos na resistência dos prismas (Figura 7

Figura 7). Para prismas não grauteados, ainda segundo o mesmo trabalho a porcentagem da relação entre a resistência do bloco e o do prisma variou de 36% à 65%, com argamassas variando de 38% à 149% em relação a resistência do bloco.



Fonte: Machado e Antunes (2015)

O componente que representa maior parte da capacidade resistiva da parede é o bloco. Segundo Ramalho (2003), de forma geral, quanto mais resistente o bloco, mais resistente será a alvenaria, entretanto esta relação não é linear. O fator de eficiência da alvenaria é dado pela razão entre a resistência dos prismas e a resistência do bloco. Em relação a resistência de

conjunto de unidades, segundo Roma et. al. observa-se que a resistência diminui com o aumento da resistência das unidades;

Então temos que $f_{bk} \leq f_{pk} \leq f_{ppk} \leq f_k$, sendo:

f_{bk} – Resistência característica do bloco;

f_{pk} – Resistência característica do prisma;

f_{ppk} – Resistência característica das pequenas paredes;

f_k – Resistência característica da alvenaria;

De acordo com Roman et. Al., o fator de eficiência das alvenarias de blocos de concreto varia de 45% a 90%. Segundo a norma, a resistência da parede em relação a do prisma pode ser estimada em 0,7 e a da mesma em relação a pequenas paredes pode ser estimada em 0,85.

Analisando basicamente pelas informações apresentadas acima, se utilizarmos o bloco como unidade básica para estimar a resistência da parede, teremos:

$$f_k = 0,9 * 0,7 * f_{bk} \quad (1)$$

A equação (1) foi formulada considerando a relação máxima que entre as resistências do prisma e do bloco (0,9) e a estimativa segundo norma entre as resistências da parede e o prisma (0,7).

- Determinação da resistência de compressão axial de paredes *LSF*

No Brasil, como mencionado anteriormente, não possui textos normativos para ensaios de compressão axial, mas segundo Rodrigues (2006) desde de 1998 já existe na literatura artigos técnicos que tratam do comportamento de painéis de parede em *LSF* enrijecidos com OSB, onde foram realizados testes de carga concentrada e distribuída. A carga concentrada aplicada perpendicularmente ao plano do painel em seu ponto central e a carga distribuída foi aplicada verticalmente no plano do painel.

Segundo Bevilaqua³ (2005) apud Rodrigues (2006), a utilização de placas de OSB atuando como diafragmas rígidos horizontais e verticais é bastante positiva, no entanto, o emprego de placas de revestimento como elementos de enrijecimento ainda não tem suficiente embasamento teórico.

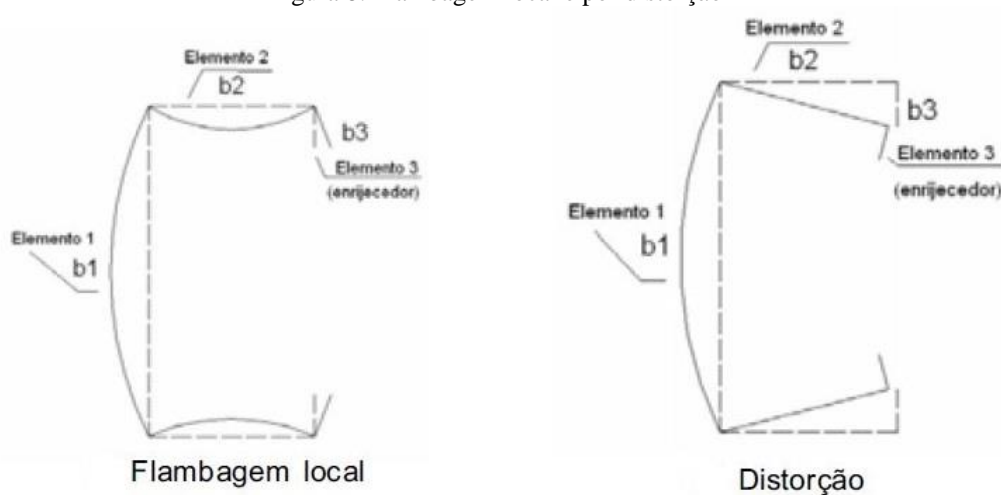
³ BEVILAQUI, R. Estudo comparativo de desempenho estrutural de prédios estruturados em perfis formados a frio segundo os sistemas aporticado e Light Steel Framing. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, outubro de 2005.

Em conformidade com Rodrigues (2006), uma particularidade dos PFF utilizados que compõem a estrutura das paredes de *LSF*, está relacionada ao melhor aproveitamento dos perfis tornando-os mais leves e econômico, por meio do aumento da relação largura-espessura de seus elementos, levando a concepções cada vez mais esbeltas, sendo assim os perfis ficam mais suscetíveis à flambagem local, não representando tal fenômeno um colapso estrutural, mas sim uma gradativa redução principalmente de sua rigidez axial e de flexão.

Uma vez que os perfis utilizados nas estruturas de paredes com *LSF* possuem espessuras muito menores que as de largura, eles podem flambar em níveis de tensões menores que aquele correspondente à resistência de escoamento do material, sendo assim a flambagem local um fator importante nas considerações de projeto desse sistema. Além da flambagem local pode ocorrer também flambagem por distorção, tal fenômeno é caracterizado pela perda de estabilidade do conjunto formado pelo elemento comprimido e seu enrijecedor de borda, alterando a forma inicial da seção

Podemos inferir das informações acima que nas paredes de *Light Steel Frame*, os principais efeitos que devem ser considerados no dimensionamento, são os de flambagem local e por distorção, a Figura 8 ilustra esses dois tipos de flambagem.

Figura 8: Flambagem local e por distorção



Fonte: Rodrigues (2006)

Temos que a força normal de compressão resistente (N_c) é calculada a partir da seguinte equação:

$$N_c = \rho * A_{ef} * f_y \quad (2)$$

Onde:

ρ – Fator associado à flambagem da barra;

A_{ef} – Área efetiva;

f_y – Resistência característica do aço.

Enquanto ρ está relacionado à flambagem global da barra, A_{ef} está relacionada à flambagem local dos elementos do perfil.

Módulo de elasticidade, E

Em 1660, o cientista britânico Robert Hooke (1635 – 1703) descobriu a lei da elasticidade que leva seu nome. Hooke afirmou que a força necessária para alongar ou comprimir um objeto por uma determinada distância é proporcional a essa distância. Ele descreveu sua descoberta em 1660 com o anagrama “ceiinosstuv”, e publicou sua solução 18 anos depois: “Ut tensio, sic vis”, latim para: “Como a extensão, assim é a força”.

A lei de Hooke consiste basicamente na consideração de que uma mola possui com constante elástica k , sendo essa constante obedecida até certo limite, onde a deformação da mola em questão se torna permanente. Dentro deste limite estipulado, a lei de Hooke é válida, analiticamente, a lei de Hooke é dada pela equação (3) (HALLIDAY, 2004):

$$F = -k \cdot x \quad (3)$$

Onde:

k – constante de proporcionalidade;

x – alongamento da aplicado na mola

A lei de Hooke também pode ser empregada em materiais, pois é observado que os diagramas tensão-deformação para diversos materiais empregados na construção civil ilustram uma relação linear entre tensão e deformação específica na região elástica, de modo que um incremento na tensão acarreta um aumento de mesma proporção na deformação específica. (HIBBELER, 2000) Assim, tem-se a seguinte relação para a tensão σ (equação (4)):

$$\sigma = E\epsilon \quad (4)$$

Onde ϵ é a deformação específica, isto é, variação de comprimento dividida pelo comprimento inicial $\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)$, e E é o módulo de Young, propriedade mecânica que denota a rigidez de um material. Com esse valor é possível determinar o comportamento dos deslocamentos da estrutura de acordo com a carga aplicada, sendo assim um fator importante para o dimensionamento de estruturas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, para obtenção de dados sobre a capacidade de resistência de compressão axial das paredes com *LSF* foi escolhido comparar essa tecnologia com outro sistema de parede autoportante utilizado na Paraíba, para fins de comparação foi escolhido o sistema de alvenaria estrutural com blocos de concreto.

A fim de determinar tais parâmetros, foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais e para a determinação da capacidade de compressão axial dos sistemas construtivos de paredes estudados nesse trabalho. Nesse sentido foram confeccionadas pequenas paredes de 1,20x1,20 m tanto em alvenaria estrutural quanto em *LSF*, seguindo as normas da ABNT para alvenaria estrutural, já que não existem normas brasileiras que tenham prescrições de como realizar o ensaio de paredes de *LSF*, como comentado anteriormente. As dimensões utilizadas foram escolhidas de forma a atender a modulação dos dois sistemas.

Foi escolhido utilizar pequenas paredes para a obtenção da resistência a compressão axial dos dois sistemas construtivos para representar um modelo mais próximo da realidade da construção civil, e atender também as condições do laboratório, onde seria bastante difícil realizar o ensaio com corpo de prova do tamanho natural de paredes (2,60 m de altura por 1,20 m de largura) que ultrapassaria o limite de altura do pórtico.

Alguns materiais foram doados por empresas locais, como a PARAÍBA BLOCOS[®] que forneceu os blocos de concreto de alvenaria estrutural para a confecção das 6 paredes construídas no laboratório. Já para as paredes de *LSF*, a empresa AMBIENTE IDEAL[®] fez a doação completa de 4 (quatro) paredes que foram entregues já totalmente confeccionadas para a realização dos ensaios.

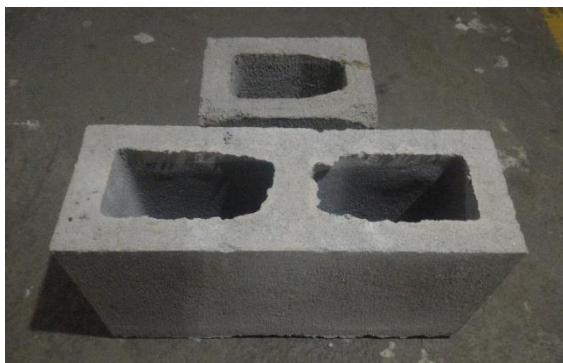
3.1. Materiais

3.1.1. Paredes de alvenaria estrutural

- Blocos

Nesta pesquisa foram utilizados blocos e meio-blocos conforme apresentados na Figura 9. No instante do recebimento dos blocos, estes foram submetidos a uma inspeção visual que não revelou a presença de defeitos significativos, como quebras e superfícies irregulares. As dimensões nominais dos blocos estão apresentadas na Tabela 1. Os blocos de concreto⁴ tinham resistência de 4,5 MPa em relação a área bruta segundo o fornecedor.

Figura 9: Blocos utilizados.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1: Dimensões nominais dos blocos

Bloco de concreto	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Bloco	140	190	390
Meio-bloco	140	190	190

Fonte: Autoria própria.

- Argamassa

Na etapa de dosagem da argamassa, foi utilizado apenas um traço 1:0,5:3 correspondente à proporção para cimento, aditivo e areia, respectivamente, traço correspondente a argamassa tipo S segundo normatização nos Estados Unidos com resistência de 12,4 MPa aos 28 dias. Foi escolhido esse traço, visando deixar a resistência da argamassa o mais próximo possível da resistência do bloco (9 MPa) referente a área líquida do mesmo, segundo a empresa fornecedora, considerando que as paredes seriam rompidas com 15 dias de cura, obtendo assim uma resistência menor da argamassa. Foram confeccionados 6 corpos de prova de argamassa, um para cada parede construída (Figura 10).

⁴ Blocos doados pela empresa PARAÍBA BLOCOS®

Figura 10: Corpo de prova de argamassa.



Fonte: Autoria própria.

- Prismas

Nesse trabalho, foram confeccionados prismas de dois blocos (Figura 11) para todas as paredes, ao mesmo tempo em que as paredes eram levantadas e utilizando as características das mesmas, com exceção da 6ª parede por falta de blocos. Todos eles foram capeados de forma a evitar concentrações de tensões na realização dos ensaios, tendo sido os capeamentos realizados com regularização à base de pasta cimentícia, com exceção de um que devido à quebra do capeamento foi utilizado forro mineral como substituto.

Figura 11: Prisma de dois blocos.



Fonte: Autoria própria.

- Pequenas paredes de alvenaria

Todas as paredes de alvenaria estrutural foram montadas com o mesmo construtor, minimizando assim as diferenças construtivas entre as mesmas. Foram construídas 6 paredes de alvenaria estrutural todas com dimensões de 1,20x1,20m, com juntas de aproximadamente 1cm de espessura e com amarração. As paredes foram confeccionadas em cima de um suporte de madeira construídos para tal finalidade, de forma a facilitar o traslado da parede sem provocar danos a estas. A disposição da argamassa foi realizada nas paredes longitudinais e transversais do bloco (Figura 12, i). A Figura 12-ii ilustra o corpo de prova utilizado para as pequenas paredes de alvenaria estrutural.

Figura 12: i – Disposição da argamassa; ii - Paredes de alvenaria utilizada para os ensaios.



Fonte: Autoria própria.

3.1.2. Paredes de *Light Steel Frame*

As paredes de *LSF*, foram entregues já confeccionadas no laboratório, sendo os materiais utilizados em sua composição descritos brevemente a seguir:

- Guias

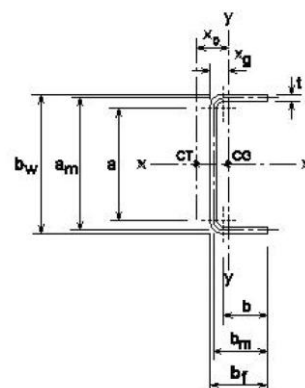
Os guias são os perfis utilizados como base e topo dos painéis de parede e encabeçamento de estruturas entrepisos e telhado. Os perfis utilizados neste painel com guias possuem seção transversal do tipo U simples 92x38x0,95 com dimensões de 92 mm de comprimento, 38 mm de largura e 0,95 mm de espessura nominal. O material utilizado nos perfis foi aço galvanizado ZAR230, zincado de alta resistência, com 230 MPa, com 180g/m² de liga de zinco. A Figura 13 mostra o estoque de guias da empresa Ambiente Ideal, e a Figura 14 ilustra as dimensões típicas do perfil U simples, enquanto a Tabela 2 dá valores das propriedades desse perfil.

Figura 13: Estoque de guias da Ambiente Ideal.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14: Dimensões dos perfis U.



Fonte: Rodrigues (2006)

Tabela 2: U simples- Dimensões, massa e propriedades geométricas.

Perfil					Dimensões					
U	m	A			b_w	b_f	t_0	r_i		
	kg/m	cm ²			mm	mm	mm	mm		
92 x 38 x 0,95	1,18	1,51			92	38	0,95	0,95		
Eixo X					Eixo Y					
I_x	W_x	r_x	x_g	x_0	I_y	W_y	r_y	I_t	C_w	r_0
cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ²	Cm
18,95	4,12	3,55	0,9	2,19	2,12	2,35	1,19	0,0042	31,09	4,33

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2006)

- Montantes

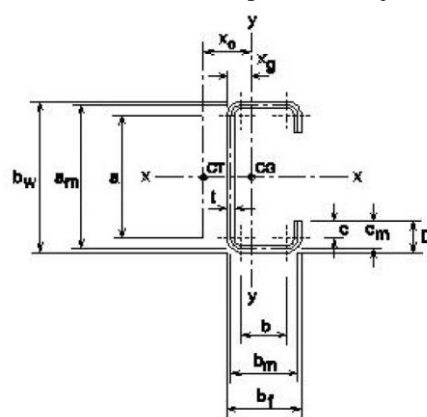
Os montantes são os perfis utilizados verticalmente na composição de painéis de parede. Os perfis utilizados neste painel como montantes possuem seção transversal do tipo U enrijecido com dimensões de 90 mm de comprimento, 40 mm de largura, 12 mm de aba e 0,95 mm de espessura nominal. O material utilizado nos perfis também é o aço galvanizado ZAR230, zincado de alta resistência, com 230 MPa, com 180g/m² de liga de zinco. A Figura 12 mostra o estoque de guiais da empresa Ambiente Ideal e a Figura 16 ilustra as dimensões típicas do perfil U enrijecido, enquanto a Tabela 3 apresenta os valores das propriedades desse perfil.

Figura 15: Estoque de montantes da Ambiente Ideal



Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Dimensões dos perfis U enrijecidos



Fonte: Rodrigues (2006)

Tabela 3: Perfil U enrijecido - Dimensões, massa e propriedades geométricas

Perfil					Dimensões					
	m kg/m	A cm ²	b _w mm	b _f mm	D mm	t ₀ mm	r _i mm			
90 x 40 x 12 x 0,95	1,31	1,68	90	40	12	0,95	0,95			
Eixo X					Eixo Y					
I _x cm ⁴	W _x cm ³	r _x cm	x _g cm	x ₀ cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	r _y cm	I _t cm ⁴	C _w cm ²	r ₀ cm
22,31	4,96	3,65	1,34	3,22	3,85	2,87	1,52	0,0048	69,95	5,09

Fonte: Adaptado de Rodrigues (2006)

- *Oriented Strand Board (OSB)*

O OSB é uma chapa estrutural produzida a partir de partículas de madeira orientadas em três camadas perpendiculares, o que aumenta sua resistência mecânica e rigidez. As placas de OSB utilizadas neste estudo tem espessura comercial de 11,1 mm. As placas vêm em chapas com 1,20m x 2,40m (Figura 17), um fator que também contribui na escolha de pequenas paredes com dimensões de 1,20m x 1,20m de forma a aproveitar ao máximo os materiais disponíveis.

Figura 17: Estoque de Chapas de OSB da Ambiente Ideal



Fonte: Autoria própria.

- Pequenas paredes de *Light Steel Frame*

As pequenas paredes utilizadas nesta pesquisa tiveram as dimensões de 1,20m x 1,20m, como mencionado anteriormente. Contendo 2 guias, um na parte superior e outro na parte inferior, quatro montantes espaçados de 40 cm cada um, duas chapas de OSB, uma em cada lado da estrutura. A Figura 18 ilustra a pequena parede utilizada com o revestimento e sem o revestimento presente. A ligação entre as peças constituintes das pequenas paredes estudadas são do tipo parafusadas. Os parafusos utilizados foram autoperfurantes com cabeça trombeta com estrias como mostrado na Figura 19.

Figura 18: Pequena parede de steel frame i - Com revestimento, ii- Sem revestimento



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Parafuso autoperfurante



Fonte: Autoria própria.

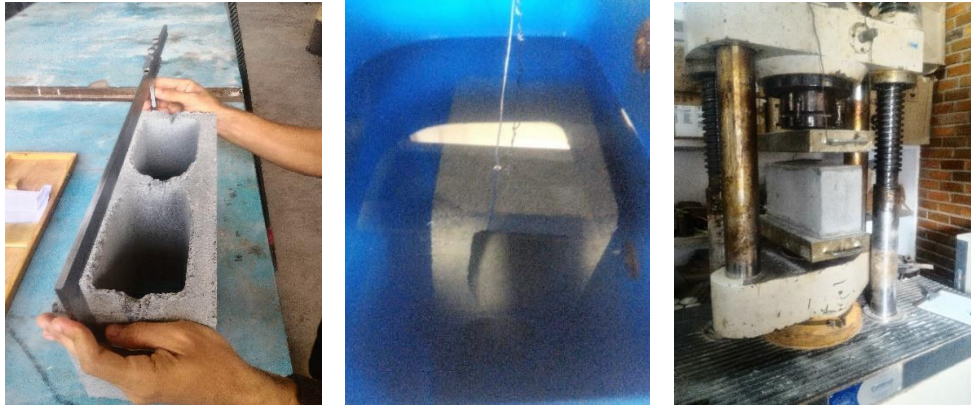
3.2. Métodos

Para a análise comparativa proposta nesse estudo, foram realizados os seguintes ensaios:

3.2.1. Caracterização física e mecânica dos blocos de alvenaria estrutural

Após a inspeção inicial, os ensaios, para caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto, seguiram as prescrições das normas ABNT NBR 12118:2013 e ABNT NBR 6136:2014. As características físicas analisadas nesse estudo foram: largura, comprimento, altura e área líquida dos blocos e meio blocos de concreto (Figura 20 i, ii). A característica mecânica analisada foi a resistência a compressão axial dos blocos (Figura 20, iii). A Tabela 4 apresenta as propriedades avaliadas, bem como a quantidade de blocos da amostra de cada ensaio.

Figura 20: i - Medição com paquímetro; ii – Determinação da área líquida; iii - Bloco na prensa hidráulica.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 4: Propriedades avaliadas dos blocos de concreto

Propriedades avaliadas	Número de blocos da amostra	
	Bloco	Meio –bloco
Dimensões efetivas	6	6
Área líquida	3	2
Resistência à compressão	3	2

Fonte: Autoria própria

A determinação das dimensões efetivas (comprimento, largura e altura) foi realizada com um paquímetro, de precisão 0,01mm, em blocos e meio-blocos retirados aleatoriamente do lote, conforme prescrição da ABNT NBR 12118:2013, e realizando-se medições em três pontos distintos de cada face da largura, da altura e do comprimento.

A área bruta dos blocos foi obtida por meio do produto entre a largura e o comprimento, e a área líquida foi obtida considerando-se o peso submerso do bloco e do consequente cálculo do empuxo produzido, ou seja, volume de líquido deslocado, Equação (5). A divisão entre o volume de líquido deslocado e a altura do bloco fornece a área líquida média. Nesse estudo, só foi realizada a medição do peso seco do bloco e o peso submerso, então para a obtenção do peso saturado foi utilizada a média de absorção de água de 6,92 % segundo Oliveira (2014), dado pela Equação (6).

$$A_{liq} = \frac{m_u - m_a}{\gamma * H} \quad (5)$$

$$Absorção = \frac{m_u - m_s}{m_s} \quad (6)$$

Em que:

A_{liq} - Área líquida do bloco, em cm²;

m_s - Massa do bloco saturado, em g;

m_u - Massa do bloco saturado, em g;

m_a - Massa aparente do bloco, em g;

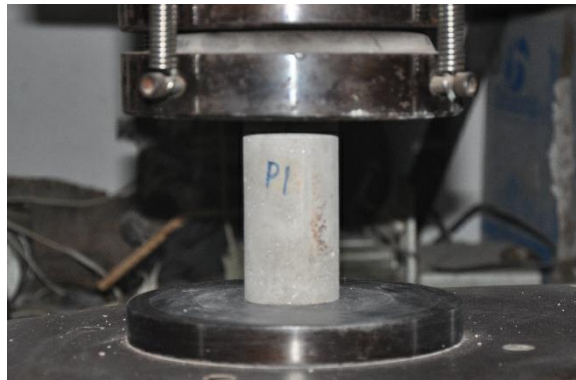
H - Altura do bloco, em cm;

γ - Massa específica da água, tomada como 1, em g/cm³.

3.2.2. Ensaio de compressão da argamassa

A determinação da resistência à compressão foi realizada com base na ABNT NBR 15961-2:2011, apesar da norma citada prescrever o ensaio para compressão axial, os moldes necessários eram prismáticos algo de que não se dispunha no laboratório, por isso se optou por moldes cilíndricos com 5cm de diâmetro por 10cm de altura, seguindo a norma ABNT NBR 7215. A Figura 21 mostra o corpo de prova de argamassa posicionado na prensa.

Figura 21: Corpo de prova de argamassa na prensa.



Fonte: Autoria própria.

3.2.3. Ensaio de compressão de prismas

Os ensaios para determinação da resistência à compressão dos prismas seguiram as recomendações da ABNT NBR 15961-2:2011. Os prismas utilizados nesse estudo foram de dois blocos. A Figura 22 mostra o prisma posicionado na prensa para o ensaio.

Figura 22: Prisma posicionado na prensa para ensaio.



Fonte: Autoria própria.

3.2.4. Ensaio de compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural e de *LSF*

Para o referido ensaio, seguiram-se as prescrições da norma brasileira ABNT NBR 16522:2016 que estabelece o procedimento de preparo e métodos de ensaio de elementos em alvenaria construídos com blocos de concreto. Seguindo esses procedimentos, foram realizados ensaios de forma a obter a carga máxima de suporte das paredes e os módulos de elasticidade das mesmas.

Como não se dispõe de norma brasileira para a realização de ensaios de compressão de pequenas paredes de *LSF*, foi utilizada a mesma norma que para realização de ensaio de paredes de blocos de concreto. Objetivando comparar a resistência à compressão de paredes de alvenaria com as paredes de *Steel Frame*. Foi realizado ainda um estudo comparativo verificando a força limite de ruptura e os encurtamentos verticais do modelo.

Os equipamentos necessários para o ensaio estão descritos a seguir:

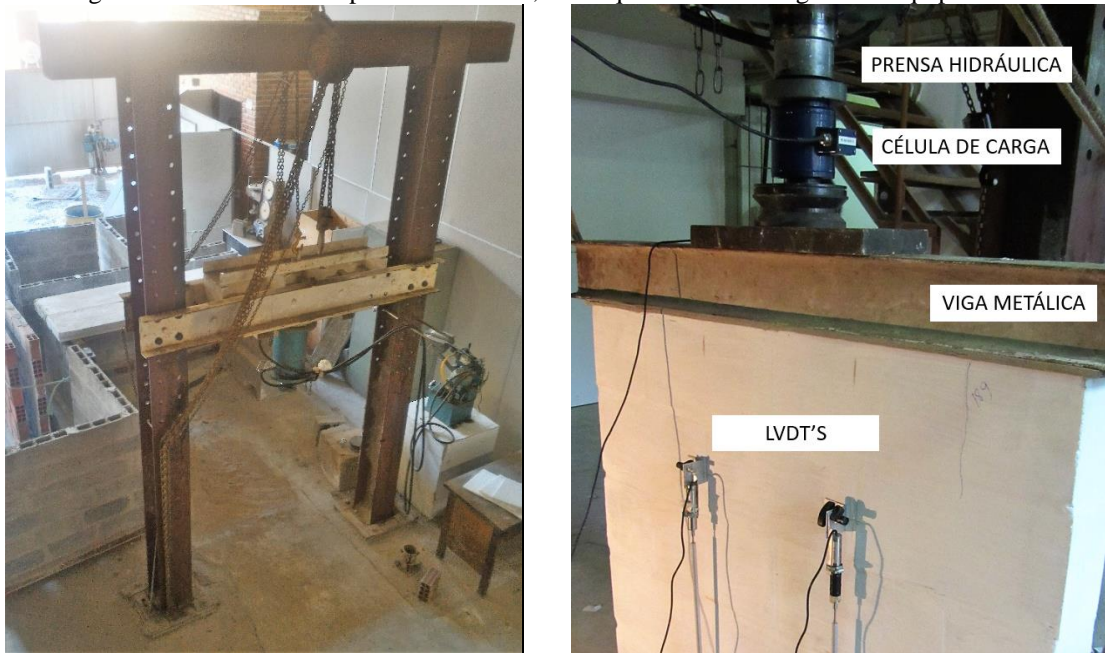
- a-) Prensa, ou pórtico de reação: conjunto formado por um mecanismo hidráulico instalado em um pórtico devendo permitir espaço suficiente para a acomodação dos corpos de prova;
- b-) LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*): aparelhos instalados nas laterais das paredes, com o objetivo de medir a deformação das pequenas paredes, também chamados nesse texto de transdutores de deslocamento;
- c-) Célula de Carga: aparelho instalado na ponta da prensa hidráulica, com função de medir a força aplicada ao corpo de prova;
- d-) Viga de aço: necessária para proporcionar uma melhor distribuição dos esforços provindos da prensa hidráulica, visto que a prensa utilizada produz apenas uma carga concentrada;
- e-) *Data Logger*: aparelho necessário para o registro sincronizado dos dados de deslocamento e carga aplicados nas pequenas paredes.

A Figura 23 ilustra os equipamentos utilizados, bem como a sua montagem.

Para uma melhor comparação entre os dois sistemas de paredes, uma alteração foi realizada no comprimento das hastes diferindo do que está prescrito na norma, visto que no modelo da norma, os apoios das hastes estariam colocados nos pontos de contraventamento das paredes de *Steel Frame*. Logo, os comprimentos foram acrescidos de cinco centímetros, em direção ao topo da parede e a sua base, sendo realizado este procedimento também para as paredes de alvenaria.

A fixação das hastes para medição dos deslocamentos ocasionados pela aplicação das cargas nas paredes, foi realizada por meio de parafusos com buchas de diâmetro de 5mm nas paredes de alvenaria estrutural, enquanto nas paredes de *LSF* foram feitas diretamente nos montantes por meio da colagem das peças com cola Super Bonder® e Araudite®.

Figura 23: i - Pórtico com prensa hidráulica, ii - Esquema de montagem dos equipamentos.



Fonte: Autoria própria.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

A partir dos ensaios apresentados no item anterior e com o intuito de analisar a resistência dos dois sistemas de paredes, alvenaria estrutural e *LSF*, fizeram-se os ensaios de caracterização física e mecânica dos componentes das paredes de alvenaria estrutural, sendo eles: os blocos, primas e argamassa, e o ensaio de compressão axial para as pequenas paredes dos dois sistemas.

Todas as paredes de alvenaria estrutural foram construídas fora do local do ensaio, pelo fato de que não seria possível realizar os ensaios no tempo de pesquisa devido ao tempo de cura do concreto, então a fim de facilitar o traslado para o pórtico do ensaio, devido ao seu grande peso, elas foram construídas sobre peças de madeira com dimensões similares ao comprimento dos painéis. O deslocamento das paredes de alvenaria foi feito de forma muito cuidadosa devido à sua grande esbelteza, e o fato do concreto ser um material frágil.

Ao final da construção das paredes, era realizado a confecção de um prisma e de um corpo de prova de argamassa para serem testados a compressão no mesmo dia em que as paredes fossem rompidas, apenas na última parede não foi realizado a confecção de um prisma, devido à falta de material. O fato dos primas e corpos de prova de argamassa serem confeccionados ao fim, é de que se houvesse alguma perda de resistência da argamassa durante o tempo de realização das paredes, dessa forma, obteríamos os resultados mais desfavoráveis, sendo assim a favor da segurança. Para melhor visualização das fissuras pintou-se todos os prismas e parede de branco.

Os ensaios foram realizados com uma idade mínima de cura de 15 dias, devido as dificuldades encontradas na montagem do ensaio, alguns ensaios foram realizados com mais dias de cura.

A confecção dos painéis de *Light Steel Frame* foi realizada diretamente na empresa que fez a doação deles. As paredes de *LSF* foram pintadas de branco de forma a visualizar melhor os pontos onde as fibras da placa de OSB começassem a se descolar ou romper.

4.1. Ensaio de caracterização

- Caracterização física e mecânica dos blocos de alvenaria estrutural

Da Tabela 5 à Tabela 8 são apresentados os valores da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação das leituras realizadas das caracterizações físicas e mecânicas dos blocos e meio blocos.

Tabela 5: Dimensões efetivas dos blocos

BLOCO	COMPRIMENTO (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)
Média	39,14	14,06	19,40
Desvio padrão	0,04	0,05	0,14
Coefficiente de variação	0,11%	0,39%	0,73%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6: Caracterização dos blocos

BLOCO	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA / ÁREA BRUTA	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
Média	550,44	303,32	0,55	2,94
Desvio padrão	2,28	5,79	0,01	0,66
Coefficiente de variação	0,41%	1,91%	1,91%	22,40%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 7: Dimensões efetivas dos meio blocos

MEIO BLOCO	COMPRIMENTO (cm)	LARGURA (cm)	ALTURA (cm)
Média	19,12	14,06	18,98
Desvio padrão	0,20	0,05	0,13
Coefficiente de variação	1,05%	0,36%	0,66%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8: Caracterização dos meio blocos

MEIO -BLOCO	ÁREA BRUTA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA (cm ²)	ÁREA LÍQUIDA / ÁREA BRUTA	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
Média	268,83	165,75	0,62	4,40
Desvio padrão	2,92	0,56	0,002	0,71
Coefficiente de variação	1,09%	0,34%	0,34%	16,03%

Fonte: Autoria própria.

Todas as dimensões efetivas se enquadraram nos valores de tolerância estabelecidos pela ABNT NBR 6136:2014, as quais são $\pm 0,2$ cm para a largura e $\pm 0,3$ cm para altura e comprimento.

Como a razão entre a área líquida e a área bruta dos blocos apresentou valor médio menor do que 75%, mesmo utilizando um valor de absorção médio, percebe-se que eles estão distantes do limite. Portanto, os mesmos podem ser classificados com blocos vazados de acordo com a norma ABNT NBR 6136:2014.

Um fator que deve ser observado a partir dos resultados apresentados em relação à resistência à compressão axial é a grande variabilidade de resistência, mostrando que a qualidade dos materiais pode mudar muito, podendo acarretar uma perda na resistência do sistema, sendo que esse comportamento de grande variação se repete nos demais corpos de prova de alvenaria estrutural.

A média da resistência a compressão dos blocos apresentou baixo valor, não enquadrando-se na Classe C onde o f_{bk} (resistência característica à compressão axial do bloco) maior igual à 3 MPa e menor que 4 MPa de acordo com a norma ABNT NBR 6136:2014, ainda segundo a norma para blocos com largura igual a 14 cm, podem ser utilizados com função estrutural para prédios de até 5 (cinco) pavimentos. O f_{bk} , segundo a ABNT NBR 15961-2, é limitado inferiormente pela multiplicação do menor valor de resistência do bloco, no nosso caso, 2,56 MPa, por um fator ϕ que depende da quantidade de amostras, para o nosso caso, ϕ é igual à 0,80, então teremos f_{bk} igual à 2,04 MPa.

Apesar dos blocos, segundo este ensaio, não terem alcançado valor de resistência necessário para se enquadrar na função estrutural, perceberemos que por meio de equações empíricas a sua resistência deveria ser superior, de acordo com os valores das resistências das pequenas paredes e prismas que serão apresentados nesse trabalho. Portanto, indicando alguma falha na leitura ou defeito nos blocos analisados. Como podemos ver na Figura 24, a ruptura do bloco ocorreu por esfacelamento e esmagamento. Segundo Mohamad (2007), esse modo de ruptura é gerado pelo deslocamento restringido produzido pelo atrito entre a chapa e o bloco.

Figura 24: Bloco após o ensaio de compressão:



Fonte: Autoria própria.

- Ensaio de compressão da argamassa

Os resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova de argamassa se encontram na Tabela 9, bem como a quantidade de dias de cura de cada corpo de prova. Os números dados

às argamassas indicam a qual pequena parede ela pertence. Os ensaios das argamassas foram realizados no mesmo dia em que as respectivas paredes foram ensaiadas.

Apesar das resistências das argamassas serem bem maiores que a resistência apresentada pelos blocos, segundo Santos *et al.* (2014), argamassa com resistência acima de 70% em relação ao bloco influencia pouco na resistência do prisma, não ultrapassando 85% da relação entre a resistência do bloco e do prisma. A Figura 25 ilustra o corpo de prova de argamassa após o ensaio realizado.

Tabela 9: Resistência à compressão dos corpos de prova de argamassa

	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	DIAS DE CURA
Argamassa 1	10,83	17
Argamassa 2	12,14	17
Argamassa 3	11,29	19
Argamassa 4	10,51	20
Argamassa 5	12,64	19
Argamassa 6	10,50	20
Média (MPa)	11,32	
Desvio padrão	0,89	
Coefficiente de variação	7,90%	

Fonte: Autoria própria.

Figura 25: Corpo de prova de argamassa após ruptura.



Fonte: Autoria própria.

- Ensaio de compressão de prismas

A Tabela 10 mostra o resultado do ensaio à compressão axial dos prismas, bem como a quantidade de dias de cura de cada um, os números dados aos prismas representam a qual parede eles representam. Os ensaios de compressão dos prismas foram realizados no mesmo dia em que as paredes foram ensaiadas.

Tabela 10: Resistência à compressão dos prismas

	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	DIAS DE CURA
Prisma 1	3,37	17
prisma 2	3,06	17
Prisma 3	2,68	19
Prisma 4	3,58	20
Prisma 5	2,73	19
Média	3,09	
Desvio padrão	0,39	
Coefficiente de variação	12,66%	

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a norma ABNT NBR 15812-2, podemos obter o f_{pk} pela equação (7).

$$f_{pk} = 2 * \left(\frac{f_{e(1)} + f_{e(2)} + \dots + f_{e(i-1)}}{i - 1} \right) - f_{ei} \quad (7)$$

Sendo:

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar.

Onde:

f_{pk} é a resistência característica do prisma;

$f_{e(1)}, f_{e(2)}, \dots, f_{ei}$ são os valores de resistência à compressão individual dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é o número de corpos de prova da amostra.

Dessa forma, tem-se f_{pk} igual à 2,64 MPa.

A partir dos resultados podemos constatar que a média da resistência dos prismas apresentou um valor maior que a resistência dos blocos, sendo isso contrário à literatura, comprovando a possibilidade de falha na leitura da resistência dos blocos, ou defeito nos blocos, ensaiados, mostrando que a resistência alcançada não se estendia para todo o lote de blocos. Pois, segundo Santos et al. (2014), mesmo para argamassas com resistência superior à do bloco, a resistência do prisma atinge no máximo 85% do valor da resistência do bloco, como já havia sido dito. Considerando o valor máximo da relação entre as resistências do prisma e do bloco obtido por Santos et al. (2014), temos que a resistência do bloco deveria ser de 3,10 MPa, mostrando assim que o bloco deveria ter apresentado resistência suficiente para se enquadrar

na Classe C de blocos estruturais. A Figura 26 mostra as formas de ruptura dos prismas ensaiados.

Figura 26: Formas de ruptura dos prismas



Fonte: Autoria própria.

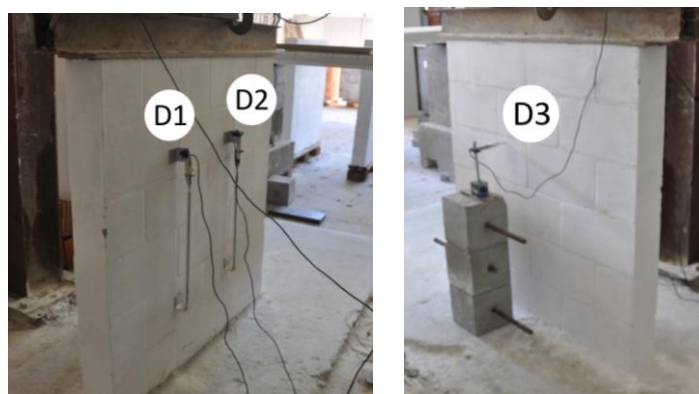
4.2. Ensaio de compressão axial de pequenas paredes

No ensaio de compressão axial com os dados obtidos, a resistência última dos sistemas de paredes bem como o deslocamento provocado pelas cargas, foi possível analisar de modo comparativo o comportamento dos sistemas sobre compressão.

Para não danificar os transdutores de deslocamento, a sua retirada era realizada pouco antes da tensão de ruptura, pois, próximos a essa tensão, nas paredes de *LSF* o descolamento das placas de OSB podiam arremessar o aparelho, e nas paredes de alvenaria além do fato de poder ser arremessado na ruptura, partes do corpo de prova podiam cair sobre o aparelho.

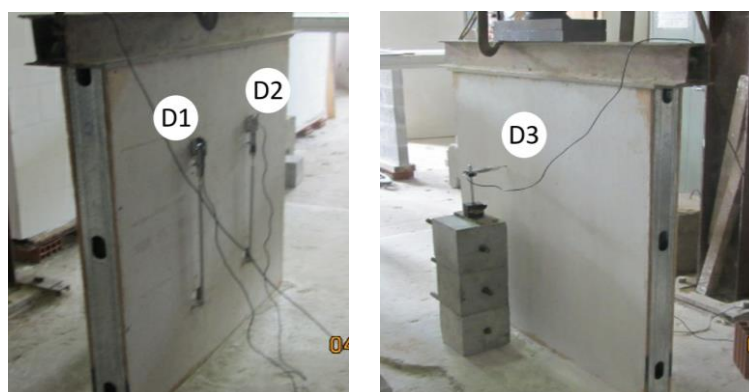
Para todas as paredes, usou-se a configuração dos LVDT's indicada nas figuras, tomando como base a norma. Então, dois LVDT's foram posicionados com uma distância de 40 cm de cada borda (Figura 27,i e Figura 28,i), formato esse que garante pouca influência da restrição superior e inferior das pequenas paredes bem como os seus efeitos de borda. Adicionalmente foi acrescentado um LVDT para medir o deslocamento horizontal dos corpos de prova (Figura 27,ii e Figura 28,ii), visando auxiliar a percepção de possibilidade de desaprumo e dessa forma prever o tombamento.

Figura 27: Posicionamento dos LVDT das paredes de alvenaria - i parte frontal; ii parte traseira



Fonte: Autoria própria.

Figura 28: Posicionamento dos LVDT's das paredes de LSF - i parte frontal; ii - parte traseira.



Fonte: Autoria própria.

Os transdutores de deslocamento posicionados na parte frontal foram nomeados da seguinte forma, o mais próximo denominado de D1 e o mais distante de D2. E o terceiro LVDT situado na parte traseira foi denominado de D3.

Para a determinação da tensão de ruptura fez-se uso da seguinte formulação:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Onde: F está em kN e A em cm²

Devido à grande quantidade de dados de cada parede, os dados estão distribuídos em tópicos.

Vale salientar que conforme mencionado do estudo de Neto (2015), a distribuição feita pela viga, mesmo com grande rigidez da mesma, não é totalmente uniforme, apresentando um comportamento sazonal. Mas para efeitos de cálculo, neste estudo, será desprezado esse efeito, considerando-se uma distribuição uniforme.

4.2.1. Ensaio de pequenas paredes de alvenaria estrutural

Foi realizada a previsão de carga de paredes de alvenaria estrutural para determinar o valor de carga no qual seriam retirados os LVDT's, se o pórtico suportaria a carga empregada, e qual célula de carga utilizada, sendo duas disponíveis, uma de 500 kN e outra de 1000 kN. Para esse cálculo, foi considerada a equação (1), utilizando a resistência do bloco que foi fornecida pela empresa, sendo assim $f_{bk} = 4,5$ MPa. Assim, temos:

$$f_k = 0,9 * 0,7 * 4,5 = 2,83 \text{ MPa}$$

Multiplicando esse valor pela área bruta transversal da parede, temos que a previsão de carga será de 475,44 kN, sendo essa resistência inferior a suportada pelo pórtico, 750 kN, por sua proximidade de 500 kN, preferiu-se usar a célula de carga 1000 kN.

- Resistência à compressão

A Tabela 11 mostra os valores das cargas últimas resistidas pelas paredes de alvenaria estrutural bem como a tensão resultantes dessas cargas e a idade de cura das paredes quando foram ensaiadas. Nesta tabela as paredes são representadas por PBC e um número correspondente a sequência cronológica dos ensaios.

Tabela 11: Resistência a compressão axial das paredes de alvenaria estrutural

	Carga última (kN)	Resistência à compressão (Mpa)	DIAS DE CURA
PBC 01	439,70	2,57	17
PBC 02	374,70	2,22	17
PBC 03	394,30	2,33	19
PBC 04	295,60	1,73	20
PBC 05	351,50	2,07	19
PBC 06	333,00	1,95	20
Média	364,80	2,15	
Desvio padrão	50,11	0,29	
Coeficiente de variação	14%	14%	

Fonte: Autoria própria.

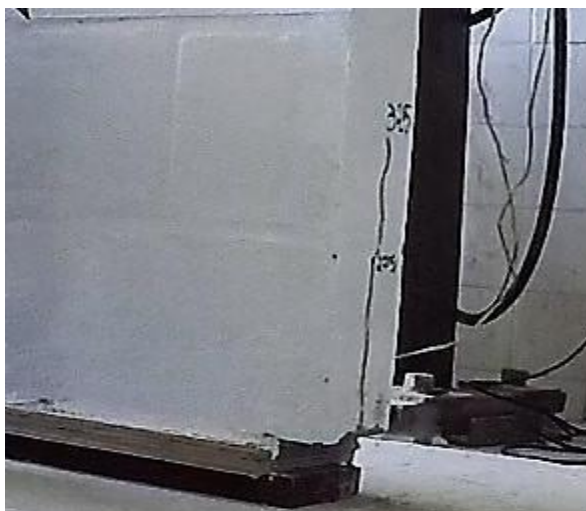
A Parede 1 foi a única submetida ao ensaio em cima do suporte onde foi levantada, as demais foram retiradas do apoio e colocadas diretamente no piso. A diferença nos dias de cura das paredes foi devido a disponibilidade do laboratório e dificuldades na montagem do sistema para o ensaio. Outro fator que pode ter alterado consideravelmente a resistência das paredes foi a descentralização da carga aplicada.

- Modos de ruptura

Para PBC 01 observou-se que não houve várias fissuras antes da ruptura da parede. Ao analisar como o carregamento procedia, foi observado que a primeira fissura se formou na carga

de 275 kN e começou a se propagar na carga de 325 kN (Figura 29) ao longo de sua face lateral, ocorrendo uma divisão dos das unidades através dos septos, até essa carga não havia mais fissuras. Depois disso, as fissuras começaram a se propagar por toda a parede, chegando assim a maior carga última obtida em todos os ensaios, com uma ruptura brusca.

Figura 29: Primeiras fissuras em PBC 01



Fonte: Autoria própria.

No experimento com a PBC 02, a fissura inicialmente observada foi no lado direito da parede onde se encontra o transdutor D2 (Figura 30,i), que se estendia verticalmente e depois praticamente só foi formada mais uma fissura que se estendia de um lado a outro da parede, e ocorrendo assim um descolamento da parte superior no lado oposto da fissura, representando assim uma descentralização de carga (Figura 30,ii).

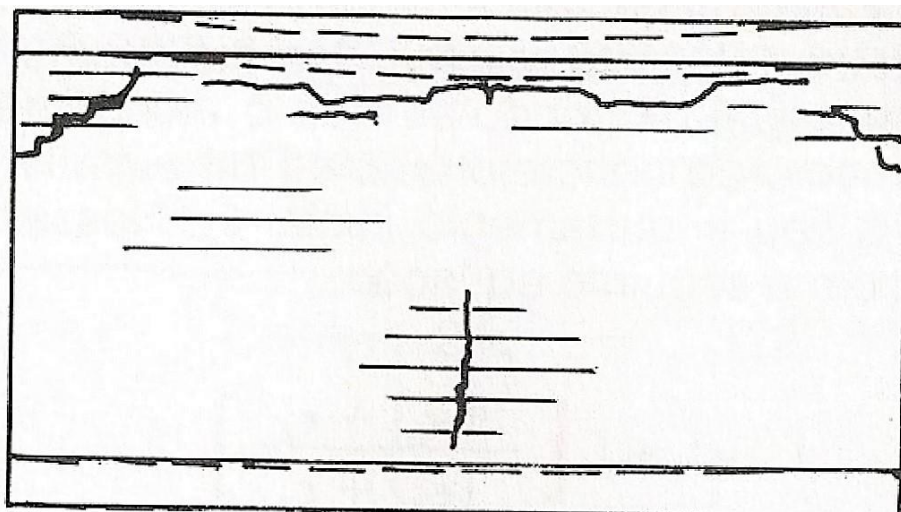
Uma analogia pode ser feita com um modelo de Valle (2008), onde é tratado quando o componente de apoio se deforma menos que o componente superior, então onde há uma maior deformação (mais esforço) forma-se uma fissura horizontal na parte superior e onde se deforma menos (menos esforço) é formada uma fissura vertical, a Figura 31 ilustra esse comportamento.

Figura 30: i - Primeira fissura na PBC 02, ii - Momento de ruptura da parede PBC 02.



Fonte: Autoria própria.

Figura 31: Trincas em paredes alvenaria



Fonte: Valle

Diferentemente das duas paredes anteriores, na PBC 03, observou-se que houve uma quantidade razoável de fissuras concentradas na parte inferior do corpo de prova antes da ruptura da parede, levando-a a romper na parte inferior.

Analisando os efeitos do carregamento, foi observado que a primeira fissura (Figura 32,i) se formou na carga de 150 kN nos dois lados inferiores da parede. Logo em seguida, as fissuras começaram a aumentar sua espessura ao longo de sua face lateral, ocorrendo uma divisão das unidades através dos septos, mas, diferentemente da PBC 01, esta parede simplesmente cedeu quando a parte inferior grande separação dos blocos lateralmente (Figura 32,ii) ao invés de uma ruptura brusca como a primeira parede ensaiada.

Figura 32: i - Primeiras fissuras em PBC 03, ii - Modo de ruptura da PBC 03.



Fonte: Autoria própria.

No ensaio da PBC 04, observou-se que as fissuras estavam concentradas no lado direito do corpo de prova antes da ruptura da parede, ou seja, do D2. Com uma análise posterior, observou-se que a primeira fissura se formou na carga de 189 kN, mas não foi essa que levou a ruptura, outras que surgiram depois dos 200 kN, foram as que formaram a linha de ruptura. Como se pode observar pela Figura 33, a ruptura se forma apenas de um lado da parede, analisando como a ruptura se deu, pode-se inferir que houve descentralização de carga.

Figura 33: i - Primeiras fissuras em PBC 04, ii - Modo de ruptura da PBC 04.



Fonte: Autoria própria.

Diferentemente das outras pequenas paredes na PBC 05, as fissuras se concentraram na parte superior do corpo de prova antes da ruptura da parede. Foi observado que as primeiras fissuras se formaram quando a carga atingiu 233 kN, uma apenas na parte superior de um lado e outra se estendendo na altura da parede (Figura 34,i). Ao final, a ruptura deu-se na parte superior da parede com o rompimento dos blocos superiores (Figura 34,ii), esse tipo de ruptura pode mostrar também a possível deficiência de resistência dos blocos superiores devido à grande variabilidade na resistência dos blocos.

Figura 34: i - Primeiras fissuras em PBC 05, ii - Modo de ruptura da PBC 05.



Fonte: Autoria própria.

Igualmente a PBC 04, a PBC 06 apresentou fissuras concentradas em apenas um lado do corpo de prova antes da ruptura da parede, ou seja, do lado de D2. As primeiras fissuras se formaram na carga de 127 KN (Figura 35,i), do lado onde estava localizado o D2. Ao final, a ruptura foi lateral ocorrendo um descolamento dos blocos no lado oposto ao que foram formadas as fissuras (Figura 35,ii), podendo assumir com esse comportamento, uma descentralização de carga.

Figura 35: i - Primeiras fissuras em PBC 06, ii - Modo de ruptura da PBC 06

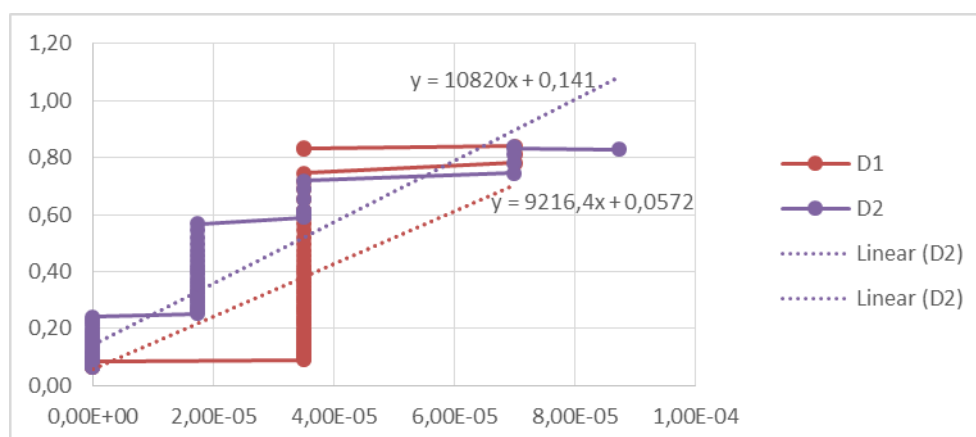


Fonte: Autoria própria.

- Tensão x Deformação

Para a PBC 01, os dados da Figura 36 mostram que a parede teve pequenas deformações, enquanto apresentava apenas microfissuras até a carga de 275 kN, apresentando grande rigidez, o que pode explicar o seu comportamento frágil, caracterizado pela sua ruptura brusca.

Figura 36: Gráfico Tensão X Deformação, PBC 01

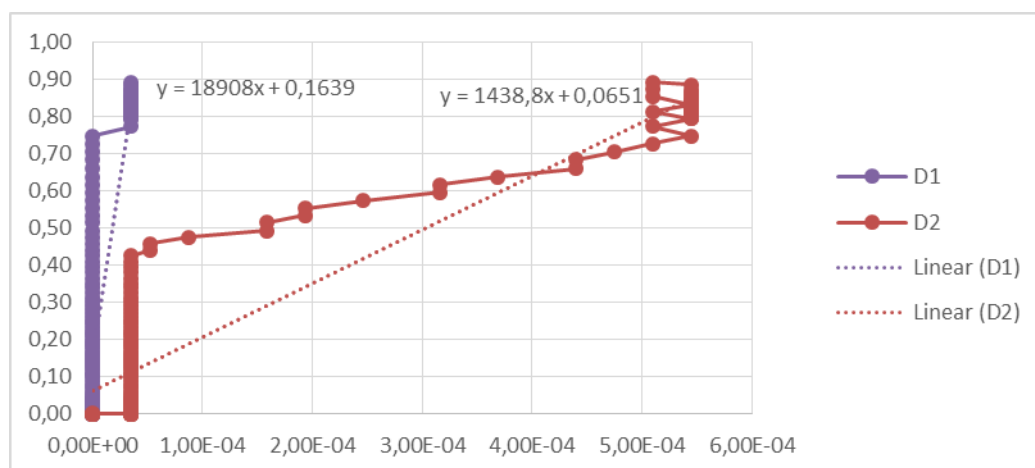


Fonte: Autoria própria.

Devido à falha nos arquivos referentes aos deslocamentos na PBC 02, não foi possível gerar o gráfico de tensão x deformação dessa parede.

A Figura 37 mostra os resultados das deformações devido as cargas empregadas na PBC 03. Uma vez que as leituras só ocorreram após uma grande carga imposta, supõe-se que os transdutores de deslocamento não obtiveram dados concretos. Isto pode ser observado no gráfico (Figura 37) onde verifica-se que inicialmente no carregamento, não foi registrado nenhum deslocamento, provavelmente devido à acomodação destes equipamentos.

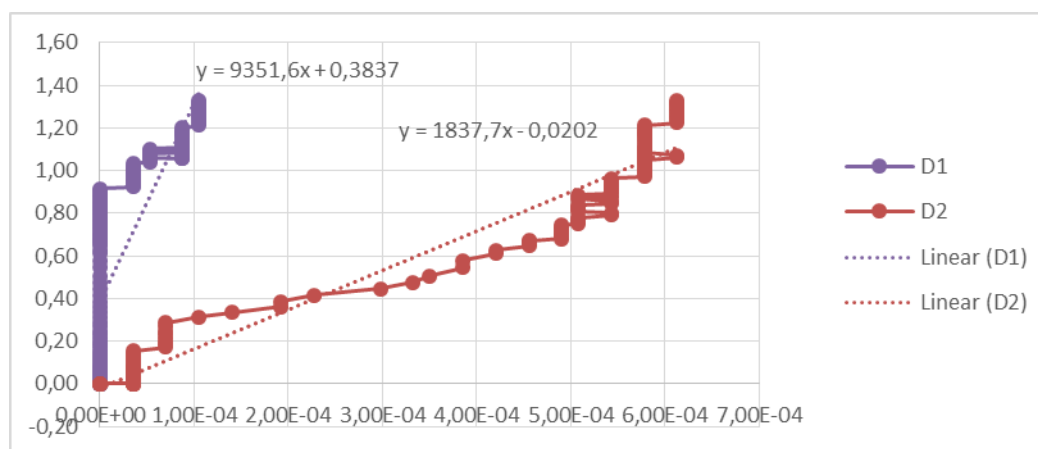
Figura 37: Gráfico Tensão X Deformação, PBC 03



Fonte: Autoria Própria.

Para a PBC 04, os resultados da Figura 38 em que os LVDT's apontaram uma descentralização de carga, devido a diferença de deformação entre os dois transdutores de deslocamento, comprovando o que pode ser observado na ruptura da mesma.

Figura 38: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 04

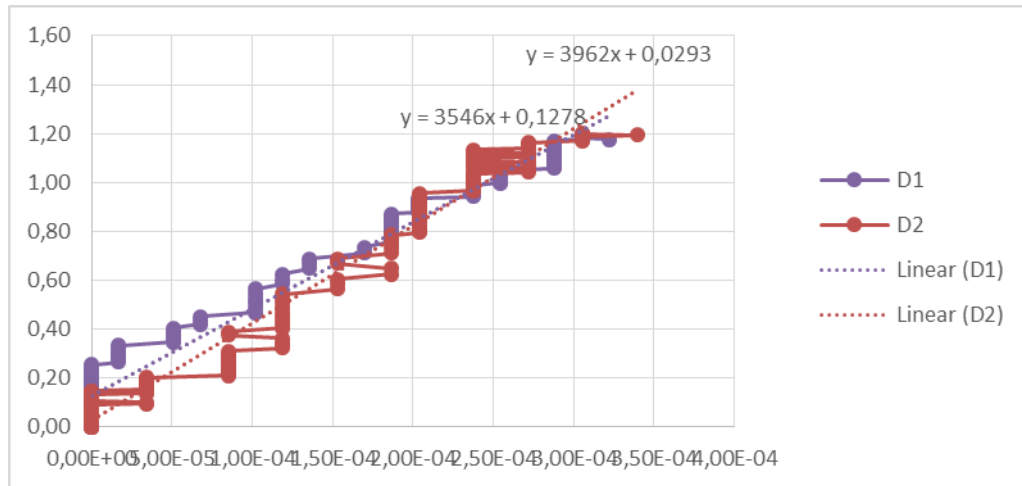


Fonte: Autoria própria.

No ensaio da pequena parede PBC 05, os resultados da deformação expostos no gráfico (Figura 39) mostram uma distribuição uniforme das cargas ao longo da pequena parede,

apresentando resultados próximos de deformação, indo de acordo com o que foi observado no modo de ruptura da mesma.

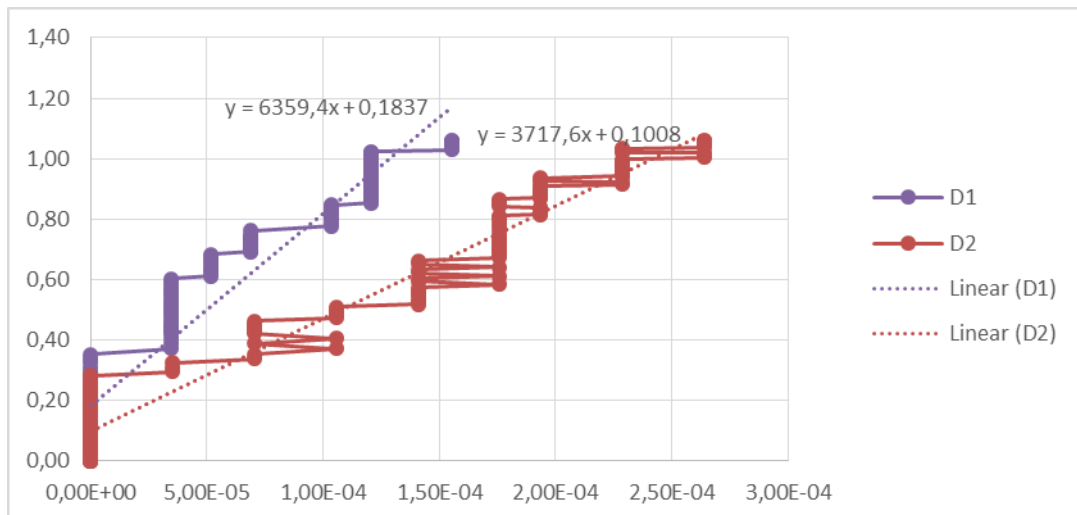
Figura 39: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 05



Fonte: Autoria própria.

Na sexta parede ensaiada, apesar das observações feitas em relação a ruptura da mesma, os resultados dos LVDT's mostram que a descentralização de carga não foi tão grande, mostrando deformações similares nos dois lados (Figura 40).

Figura 40: Gráfico Tensão-Deformação, PBC 06



Fonte: Autoria própria.

4.2.2. Ensaio de pequenas paredes de *Light Steel Frame*

Foi a previsão de carga de paredes *LSF* com o mesmo intuito que foi para o cálculo para as de alvenaria. Para esse cálculo, foi considerada a equação (2), utilizando os dados de um exemplo de dimensionamento de Rodrigues (2006) com o mesmo perfil utilizado nesse estudo, foi considerado $\rho = 1$ e a área efetiva calculada foi igual à 1,25 cm² por cada montante, e como já foi informado nosso f_y é igual à 23 kN/cm².

$$N_c = 1 * 1,25 * 23 = 28,75 \text{ KN}$$

Multiplicando esse valor pela quantidade de montantes, temos que a previsão de carga será de 115,00 kN, mas ainda céticos em relação a esse valor utilizamos a área bruta, 1,68 cm², obtendo assim 154, 56 kN, mas mesmo assim um valor muito inferior aos valores de resistência do pórtico e capacidade de medição da célula de carga de 500 kN, os quais puderam ser utilizados normalmente.

- Resistência à compressão

A Tabela 12 mostra os valores das cargas últimas resistidas pelas paredes de alvenaria estrutural bem como a tensão resultantes dessas cargas. Nesta tabela as paredes são representadas por PSF e um número correspondente a sequência cronológica dos ensaios.

Tabela 12: Resistência à compressão axial das paredes de *LSF*

	Carga última (kN)	Resistência à compressão (Mpa)
PSF 01	127,00	1,16
PSF 02	148,00	1,37
PSF 03	126,70	1,17
PSF 04	178,20	1,63
Média	144,98	1,33
Desvio padrão	24,29	0,22
Coeficiente de variação	16,76%	16,64%

Fonte: Autoria própria.

No experimento com a PSF 04, inicialmente a mesma apresentou um grande desaprumo, fazendo-se optar por retirar os aparelhos e recomeçar novamente o ensaio após uma nova verificação de prumo. Sendo essa a parede com maior carga última, que pode ser devido à acomodação da estrutura na primeira tentativa do ensaio. E como nas paredes de alvenaria, A descentralização de carga deve ter sido um fator para a variação dos valores de resistência das paredes.

- Modos de ruptura

No ensaio da PSF 01, foi possível notar os efeitos do carregamento devido ao envelopamento dos montantes pelas placas de OSB apenas próximo a carga última, havendo somente uma pequena ruptura no OSB e um alargamento da parte inferior do corpo de prova, havendo flambagem local na mesa dos montantes na parte inferior da parede, a Figura 41 ilustra a parede após a sua ruptura.

Figura 41: i -PSF 01 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 01.



Fonte: Autoria própria.

Para PSF02, foi observado que durante o carregamento, houve um maior destacamento das placas de OSB um pouco antes da sua ruptura (Figura 42,i), mostrando um alargamento maior das peças do montante e, dessa vez, sendo observado na mesa e na alma dos perfis dos montantes, flambagem local (Figura 42,ii). Pode-se inferir também, pela Figura 42 que o parafuso puxado pelo OSB, contribuiu no alargamento da peça após a ocorrência da flambagem local, aumentando assim o dano residual que foi observado na inspeção da peça.

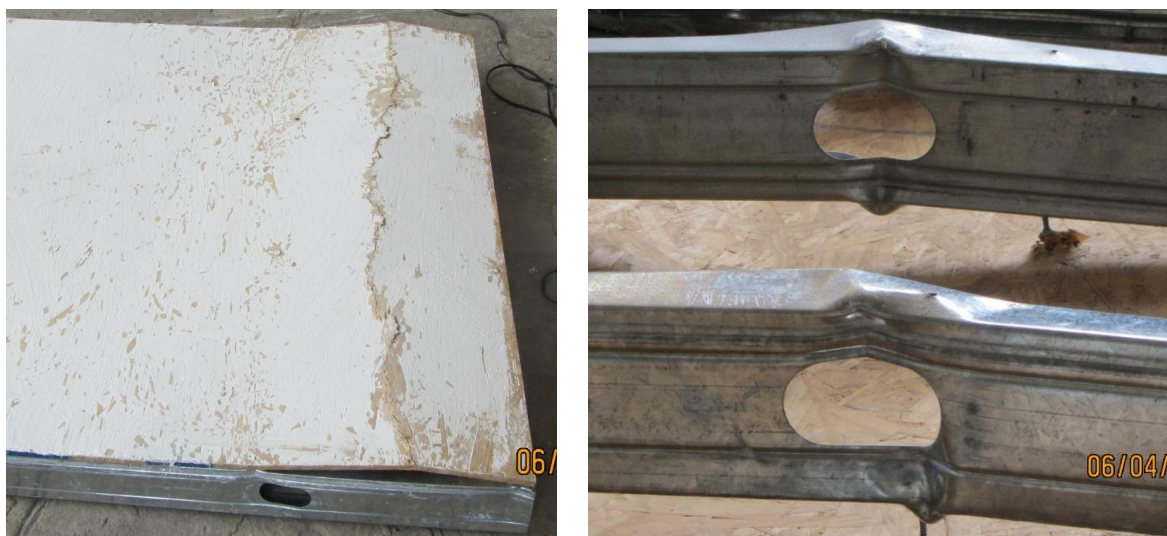
Figura 42: i - PSF 02 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 02



Fonte: Autoria própria.

Durante o ensaio da PSF 03, foi constatado que houve um maior destacamento das placas de OSB dos dois lados (Figura 43,i), ao inspecionar a parede, percebeu-se que houve flambagem local na mesa e na alma dos perfis dos montantes na parte média do corpo de prova (Figura 43,ii), mantendo a parte superior e inferior praticamente intacta. E da mesma forma que na parede PSF 02, o parafuso, sendo puxado pelo OSB, pode ter contribuído na diminuição de resistência do corpo de prova.

Figura 43: i - PSF 03 após ruptura, ii - Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 03.



Fonte: Autoria própria.

Foi constatado que a PSF 04 teve o maior dano (Figura 44,i), concentrado na parte inferior da parede com destacamento das chapas de OSB dos dois lados, apresentando flambagem local na mesa e na alma bastante acentuadas (Figura 44,ii). Esse maior dano deve estar relacionado ao fato de que esse corpo de prova apresentou o maior esforço resistente, portando sofrendo tensões maiores. Dessa forma, maiores danos podem ser observados.

Figura 44: i - PSF 04 após ruptura, ii- Detalhe dos efeitos do carregamento em PSF 04.

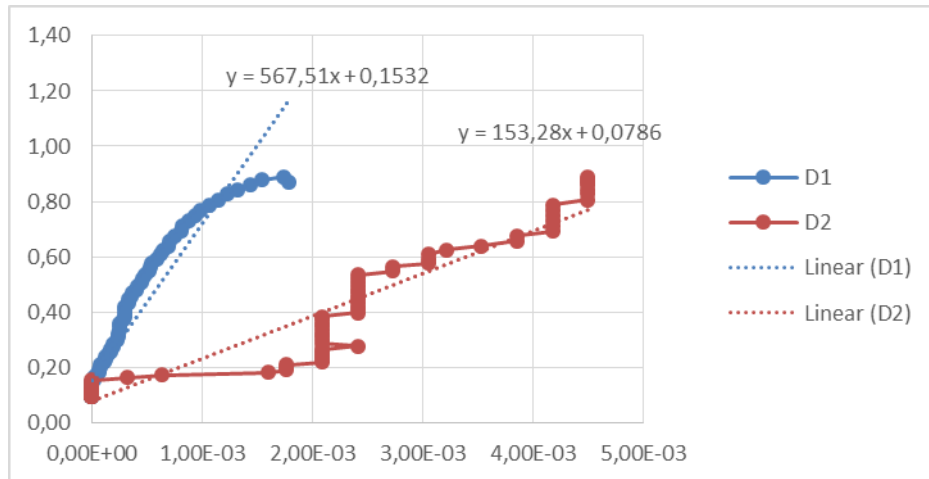


Fonte: Autoria própria.

- Tensão x Deformação

Os dados referentes a relação entre tensão e deformação da PSF 01, como pode-se observar na Figura 45, os resultados dos transdutores de deslocamento mostram que as deformações se concentraram no lado do LVDT D2 (Figura 41,ii), sendo confirmado pelo maior alargamento nos montantes desse lado, estando em conformidade com o que foi observado no ensaio.

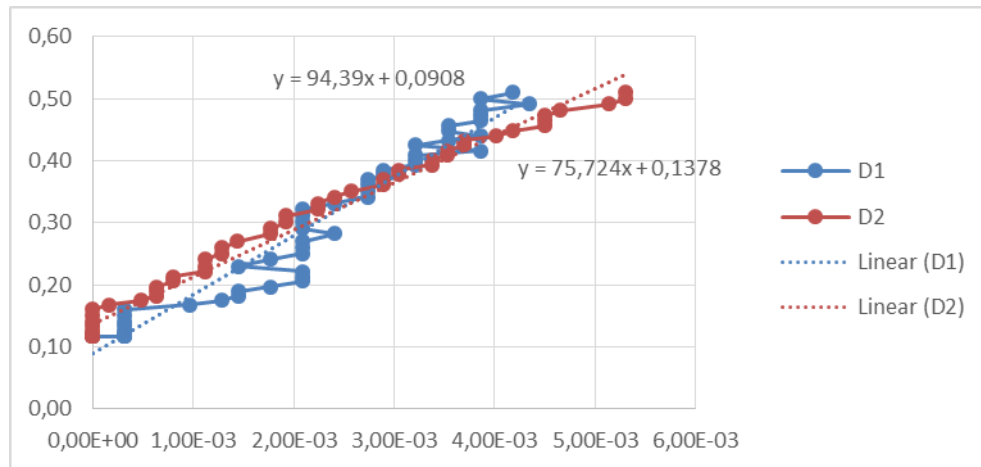
Figura 45: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 01



Fonte: Autoria própria.

No ensaio da PSF 02, os resultados dos transdutores mostrados na Figura 46 mostram uma considerável distribuição uniforme dos esforços, sendo reforçados pela distribuição dos danos similarmente entre os quatro montantes verificados com uma inspeção após a ruptura.

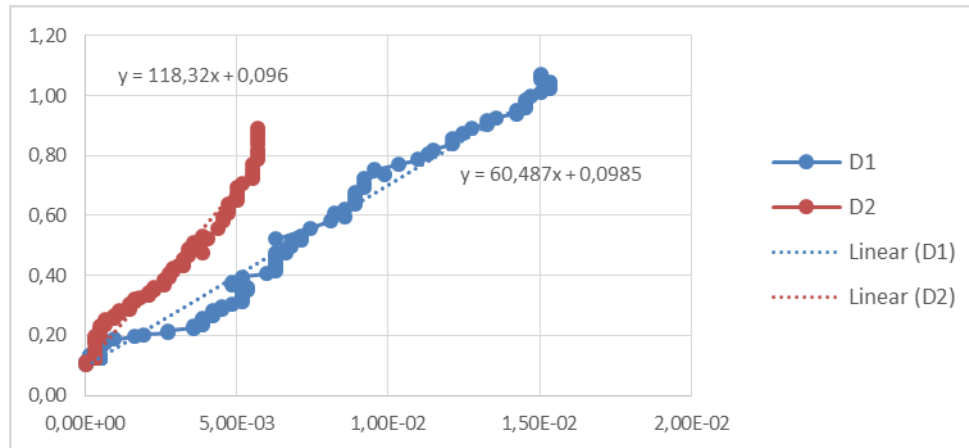
Figura 46: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 02



Fonte: Autoria própria.

Em relação à PSF 03, pelo resultado apresentado na Figura 47, é possível notar que os deslocamentos se concentraram mais para um lado, o do D2, algo possível de se observar pelo maior desgaste desse lado, que pode ser decorrente de uma excentricidade de carga.

Figura 47: Gráfico Tensão-Deformação, PSF 03



Fonte: Autoria própria.

Devido a uma falha nos arquivos do ensaio da PSF 04, não foi possível obter o gráfico tensão-deformação.

4.3 Comparação entre *LSF* e alvenaria estrutural

A Tabela 13 mostra o resumo dos resultados para as paredes de alvenaria estrutural bem como a média, desvio padrão e Coeficiente de variação. Para a obtenção dos módulos de elasticidade foi considerada uma regressão linear dos resultados obtidos dos LVDT's, obtendo os valores apresentados na Tabela 11. Para o cálculo do Módulo de Elasticidade médio ($E_{\text{médio}}$) foram considerados apenas aqueles em que não houve variação maior que o dobro do menor valor, estando os valores que não obedeceram esse critério representados com um asterisco. Os valores de E que não foram possíveis de se obter devido a falha nos arquivos também estão indicados com asteriscos. O mesmo se aplica para os valores da Tabela 14 em relação as paredes de *LSF*.

Tabela 13: Resumo dos resultados para as paredes de alvenaria estrutural

	Carga última (kN)	Resistência à compressão (MPa)	E_{D1} (MPa)	E_{D2} (MPa)	$E_{\text{médio}}$ (MPa)
PBC 01	439,70	2,57	9216,40	10820,00	10018,20
PBC 02	374,70	2,22	*	*	*
PBC 03	394,30	2,33	18908,00	1438,80	*
PBC 04	295,60	1,73	9351,60	1837,70	*
PBC 05	351,50	2,07	3546,00	3962,00	3754,00
PBC 06	333,00	1,95	6359,40	3717,60	5038,50
Média	364,80	2,15	9476,28	4355,22	6270,23
Desvio padrão	50,11	0,29	5786,27	3781,47	3308,76
Coeficiente de variação	13,74%	13,73%	61,06%	86,83%	52,77%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 14: Resumo dos resultados para as paredes de *LSF*

	Carga última (kN)	Resistência à compressão (Mpa)	E_{D1} (MPa)	E_{D2} (MPa)	E_{médio} (MPa)
PSF 01	127,00	1,16	567,51	153,28	*
PSF 02	148,00	1,37	94,39	75,72	85,06
PSF 03	126,70	1,17	60,48	118,32	89,40
PSF 04	178,20	1,63	*	*	*
Média	144,98	1,33	240,79	115,77	87,23
Desvio padrão	24,29	0,22	283,45	38,84	3,07
Coeficiente de variação	16,76%	16,64%	117,72%	33,55%	3,52%

Fonte: Autoria própria.

A partir de medições realizadas no laboratório, observamos que o peso médio das pequenas paredes de *LSF* foi de 30,92 kg, e as de alvenaria 219,06 kg, portanto dividindo a carga última média dessas paredes por esses pesos teríamos a relação de 4,68 para *LSF* e 1,66 para alvenaria. Mostrando que analisando a resistência em relação ao peso, o sistema de *LSF* apresenta quase o triplo da resistência, sendo muito mais vantajoso que a alvenaria nesse sentido, mostrando ser mais eficiente. Inferindo-se disso, uma maior agilidade no transporte de materiais e estruturas menos robustas para o mesmo tipo de construção.

Em relação aos resultados dos módulos de elasticidade, não podemos afirmar que conseguimos dados concretos, pois apenas um corpo de prova de cada sistema apresentou valores bem similares de deslocamento, indicando descentralização de cargas nos outros corpos de prova ou falha na leitura dos deslocamentos pelos equipamentos, mas em relação ao sistema de alvenaria, o sistema de *LSF* apresentou resultados mais confiáveis pelo fato de ter neste estudo um coeficiente de variação mais que 10 vezes menor que o do outro sistema, de acordo com as Tabela 13 e Tabela 14.

Diante dos resultados apresentados, ainda podemos afirmar pelo que foi observado que as paredes de *LSF* apresentam um módulo de elasticidade bem menor que o de alvenaria, sendo assim bem dúctil enquanto a alvenaria apresenta comportamento frágil. A vantagem apresentada pelo sistema *LSF* quanto a esse comportamento é a maior facilidade de percepção dos danos antes do colapso da estrutura devido os grandes deslocamentos ocorridos antes da ruptura, possibilitando a adoção de medidas de segurança mais efetivas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos resultados obtidos nos ensaios experimentais realizados nesta pesquisa para pequenas paredes de alvenaria estrutural e *Light Steel Frame*, pode-se atentar para as considerações a seguir:

Ao analisar apenas a carga de ruptura média dos sistemas, seria lógico concluir que uma vez que a média de resistência das paredes de alvenaria estrutural sendo quase o dobro daquelas obtidas para o sistema de *Framing*, as paredes de blocos de concreto apresentam definitivamente um melhor desempenho com relação a esse aspecto.

No entanto, esse pensamento não leva em consideração outros fatores como o alívio que o peso do *LSF* pode trazer para a estrutura, por ser muito menor que os de paredes de alvenaria, que representam grande parte do peso de prédio que utiliza esse sistema. Nesse estudo, foi possível observar que na relação força/peso, o sistema de *LSF* apresentou quase o triplo da resistência em relação a alvenaria estrutural, possibilitando uma maior agilidade no transporte de materiais e estruturas menos robustas para o mesmo tipo de construção. Vale ressaltar que os valores dessa relação força/peso podem ser alterados dependendo dos materiais empregados, mas neste estudo foi considerado a classe mais baixa de resistência estrutural da alvenaria e o perfil com menor área utilizado para *LSF*, então comparamos os dois mínimos praticáveis dos dois sistemas.

Em relação aos módulos de elasticidade obtidos para as paredes, apenas poucos resultados puderam ser utilizados devido a problemas na leitura ou cargas excêntricas produzindo resultados inconsistentes, necessitando de mais estudos, com um aumento na quantidade de corpos de prova para poder apresentar valores mais confiáveis. Nota-se, no entanto, que para o sistema de *LSF* os resultados apresentaram valores mais consistentes com coeficiente de variação de apenas 3,52% enquanto a alvenaria estrutural apresentou 52,77% para o coeficiente de variação, podendo significar que o sistema trabalha melhor na distribuição de cargas.

Com relação ao aspecto econômico, a partir das informações encontradas no trabalho de Lourenço (2015), ao se analisar o orçamento de uma casa, por exemplo, se construída com o sistema *LSF* apresentaria um custo 6,36% inferior em relação ao sistema de alvenaria estrutural, indicando uma vantagem da utilização do *LSF*. Ainda em relação as considerações finais desse trabalho, deve-se observar a vantagem no comportamento útil observado no sistema de *Light Steel Frame* que facilita a percepção de danos da estrutura, possibilitando adotar as medidas de segurança cabíveis de forma mais racional.

As conclusões apresentadas neste trabalho não são definitivas quanto ao desempenho do *LSF*, pois neste estudo foi analisada apenas uma característica desse sistema, a resistência a compressão axial, mas outros estudos podem ser realizados como conforto térmico e acústico, resistência ao cisalhamento. Portanto, apesar deste estudo apresentar dados que podem ser utilizados na disseminação do sistema na Paraíba, ainda faltam muitas propriedades a serem estudadas.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos a serem desenvolvidos a partir deste, tem-se a realização de ensaios com um número maior de corpos de prova, obtendo assim dados mais precisos e representativos. Sugere-se ensaios de caracterização de outros materiais, (montantes, guias e *OSB*) como também com diferentes características dos materiais já estudados como diferentes tipos de argamassa (diferentes traços, diferentes resistências de bloco) para obter resultados mais precisos e abrangentes. Indica-se também estudar os efeitos da pré-compressão para analisar efeitos causados pela acomodação da estrutura.

É proposta a utilização de mais de uma carga pontual para a realização dos ensaios, de modo a distribuir mais uniformemente a carga.

Recomenda-se também a realização de experimentos com painéis de alvenaria estrutural feita de blocos cerâmicos, visando representar esse outro sistema bastante utilizado em nosso estado.

Sugere-se também a realização de ensaios com paredes de *LSF* sem as placas de *OSB*, de forma a analisar os efeitos da retirada desse fechamento, de forma a analisar as alterações na resistência da estrutura desse sistema.

Indica-se experimentos com *strain gauges*, conseguindo assim deslocamento até a tensão de ruptura, pois são descartáveis, não havendo assim uma preocupação com danos que possam ser gerados aos equipamentos.

Também se indica que seja realizada uma modelagem numérica com o problema abordado, a fim de comparar os resultados obtidos em laboratório com os esperados gerados pela modelagem, possibilitando uma nova correção das hipóteses.

Finalmente, recomenda-se um estudo financeiro comparativo com outros sistemas na Paraíba, de forma a obter valores precisos para comparar custos referentes a utilização desses sistemas em nosso estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15961-2: Alvenaria estrutural – Blocos de concreto parte 2. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16522: Alvenaria de blocos de concreto – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

CAMACHO, J. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. Universidade Estadual Paulista – Núcleo de ensino e pesquisa da alvenaria estrutural. Ilha Solteira, São Paulo. 2006.

CENTRO BRASILEIRO DA CONTRUÇÃO EM AÇO. Construção em aço/estatísticas. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-estatisticas.php>>. Acesso em: Maio 2017.

CONSTRUSECO. Sistema *Light Steel Frame*. Disponível em: <<http://www.construseco.com.br/sistemas.html>>. Acesso em: Maio 2017.

CONSTRUTORA SEQUÊNCIA. Portifólio. Disponível em: <<http://www.construtorasequencia.com.br/new/portfolio1>>. Acesso em: Maio 2017.

FIGUEIRÓ, L. C.; Wendell, O. Racionalização do processo construtivo de edifícios em alvenaria estrutural. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2009.

GOMES, C. E. M; VIVAN, A. L; SICHIERI, E. P. E; PALIARI, J. C. *Light Steel Frame* na Produção de moradias no Brasil. IX Congresso de Construção metálica e Mista & I congresso Luso-Brasileiro de Construção Metálica e Sustentável. 2013.

HALLIDAY, D.; RESNIK ROBERT, K.; DENNETH, S. Física 2, volume 1, 5 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

INTERBLOCK. Fit jardim botânico, 200-. Disponível em: <<http://www.interblock.ind.br/wp-content/gallery/fit-jardim-botanico/001a-301c8490a0.jpg>>. Acesso em: Maio 2017.

LOURENÇO, Claydmar Hudson; GOURLAT, Fabiane; Assis, Marcios; MERCEDO, Alan. Análise comparativa dos sistemas construtivos: *Light Steel Frame* e alvenaria estrutural. Revista Pensar Engenharia. Jan. 2015.

CARREGARI, LUANA. Disseminação do *LSF*. Aecweb. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/light-steel-frame-garante-obras-rapidas-e-limpas_13620_10_0>. Acesso em: Maio 2017.

MACHADO, Alan Paskievski; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos cerâmicos estruturais. Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. 2015.

MASTERWALL. Acervo fotográfico. Disponível em: <<http://masterwall.com.br/wp/wp-content/uploads/2016/03/DSC00788.jpg>>. Acesso em: Maio 2017.

MATA, R. C. Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de primas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Mar 2006.

MOHAMAD, G., Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão, Tese, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2007.

NETO, E. L. Análise da distribuição da carga pontual aplicada em uma viga de aço sobre uma parede de alvenaria de blocos de terra comprimida com janela. Monografia. Universidade Federal da Paraíba-UFPB. João pessoa. 2015.

OLIVEIRA, Luciane Marcela Filizola. Estudo teórico e experimental do comportamento das interfaces verticais de paredes interconectadas de alvenaria estrutural. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2014.

PESTANA, E. H. A.; MASCARENHAS, K. M.; PINHEIRO, L. H. S.; QUEIROZ, M. G. S.; SOUZA, W. A alvenaria estrutural e seu desenvolvimento histórico: Materiais e sistemas estruturais. Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Maranhão – IFMA. 2014.

PLACO. GUIA – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS. 2014. Disponível em: <http://www.placo.com.br/sites/gypsum.eeap.placo.br/files/content/files/guia_placo.pdf>. Acesso em: Maio 2017.

PRUDÊNCIO, Luiz R.; OLIVEIRA, Alexandre L., BEDIM, Carlos A. Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto Florianópolis, 2002.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. Projeto de edifícios de alvenaria estrutural. São Paulo. Pini, 2003. p169.

REZENDE, P. V. M. Uso de perfis de *Light Steel Frame* como estrutura mista. Depoimento. Banca examinadora do trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

RODRIGUES, Francisco Carlos. *Steel Framing*: Engenharia. IBS/CBCA. Rio de Janeiro, 2006.

SABBATINI, Fernando Henrique. ALVENARIA ESTRUTURAL – Materiais, execução da estrutura e controle tecnológico. Diretoria de parcerias e apoio ao desenvolvimento urbano, Caixa Econômica Federal. Mar. 2003.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. Steel framing: arquitetura. Instituto Aço Brasil/CBCA. Rio de Janeiro. 2012.

SANTOS, W. J.; BARBOSA, F. F.; BARBOSA R. A. Avaliação da influência da resistência da argamassa de assentamento na resistência de prisma de alvenaria estrutural. 21° CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Curitiba, MT. 2014.

SOARES, G. A. A. A utilização de vedação de tijolo cerâmico e painéis de vedação de concreto armado in loco nas habitações de interesse social na cidade de João Pessoa. ISSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - Edição nº 10 Vol. 01/ 2015. Dez 2015.

VALLE, Juliana Borges de Senna. Patologia das alvenarias – Causa/Diagnóstico/Previsibilidade. Monografia. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2008.

ZARYA. *Light Steel Frame*. Disponível em: < <http://www.zarya.com.br/light-steel-frame/>>. Acesso em: Maio 2017.