



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FELIPE ALVES MOURA

**DESEMPENHO MECÂNICO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM FUNÇÃO  
ESTRUTURAL**

JOÃO PESSOA  
2015

FELIPE ALVES MOURA

**DESEMPENHO MECÂNICO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM FUNÇÃO  
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Departamento de Engenharia de Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo.

JOÃO PESSOA  
2015

**FOLHA DE JULGAMENTO**

**FELIPE ALVES MOURA**

**ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM FUNÇÃO  
ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido em 26/02/2015 perante a seguinte Banca Julgadora:

---

Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo – Orientador  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

---

Prof. Dr. Roberto Leal Pimentel  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

---

Prof. Dr. Paulo Germano Toscano Moura  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

---

Profa. Dra. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Civil

## **AGRADECIMENTOS**

Estes cinco anos de curso foram, sem dúvida, um dos períodos mais importantes da minha vida, nos quais o aprendizado e o amadurecimento foram constantes. Foi uma trajetória com muitos obstáculos e privações, porém com grandes conquistas e realizações. Conheci muitas pessoas nesse percurso, muitas delas sem as quais não teria conseguido terminar esta jornada.

Minha satisfação pelo diploma de Engenheiro Civil se torna ainda mais gratificante pelo fato de, no passado, terem ocorrido algumas decepções acadêmicas.

Por isso tudo, agradeço à minha amada família, bem como meus amigos, que me apoiaram e sem os quais eu não teria concluído esta jornada.

## RESUMO

Os blocos cerâmicos de vedação com funções estruturais estão sendo largamente utilizados nos dias atuais, principalmente em construções de pequeno porte. Muitas vezes essa utilização se dá apenas pelas práticas adquiridas ao longo do tempo pelo responsável pela obra em questão, sem qualquer comprovação técnica. Apesar de inúmeras casas terem sido construídas dessa forma, houve uma necessidade de comprovar ou condenar a eficácia dessa utilização. O presente trabalho analisou a resistência à compressão axial, bem como a flambagem da alvenaria de blocos cerâmicos dispostos com o furo na horizontal. Os testes foram feitos em três painéis, apresentando dimensões de 100 x 100 cm. Toda a execução e os aparatos necessários foram feitos e fornecidos pelo Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas (Labeme). Os resultados obtidos foram comparados com valores em uma análise crítica de ruptura para residência contendo apenas pavimento térreo e para residência apresentando um pavimento superior. Os dados obtidos foram expressos em forma de gráficos, relacionando a carga pelo deslocamento (encurtamento). No caso da análise (a flambagem), o dado analisado foi por meio de gráficos carga x flecha. Com todas essas informações, foi possível identificar a solicitação máxima e o motivo pelo qual o painel foi rompido, de modo a assegurar o uso dessa prática tão utilizada atualmente. Além disso, outro ponto relevante foi verificar o quanto a altura pode mudar esses resultados, tendo como parâmetros painéis feitos anteriormente, além de uma simples comparação de resultados, complementando o trabalho anterior.

**Palavras-chave:** Alvenaria. Compressão axial. Carga de ruptura.

## ABSTRACT

Ceramic sealing blocks with structural functions are being widely used today, especially in small buildings. Often such use occurs only by practices acquired over time by the responsible for building in question, without any technical evidence. Although many houses have been built that way, there was a need to prove or condemn the effectiveness of such use. This study analyzed resistance, axial compression and buckling of masonry of ceramic blocks arranged with horizontal hole. Tests were made in three panels, with dimensions of 100 x 100 cm. All implementation and necessary apparatus was made and provided by Testing Laboratory of Materials and Structures (Labeme). Results were compared with values in a critical analysis of breaking for residence containing only ground floor and residence with an upper floor. Data were expressed in graphs, relating load by shifting (shortening). In the analysis (buckling), the data analyzed was using graphs load x lateral displacement. With all this information, it was possible to identify the maximum request and the reason why the panel was broken, so as to ensure the use of this practice so used currently. Also, another important point was to determine how much height can change these results, having as parameters panels made previously, and a simple comparison of outcomes, complementing previous work.

**Keywords:** Masonry. Axial compression. Breaking load.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal.....	12
Figura 2 – Execução de uma casa em alvenaria de vedação .....	14
Figura 3 – Detalhe de equipamentos e etapa da elevação de uma alvenaria.....	16
Figura 4 – Componentes básicos da alvenaria estrutural .....	18
Figura 5 – Funcionamento de aderência argamassa-bloco.....	21
Figura 6 – Resistência à compressão da alvenaria em função da resistência da argamassa .....	23
Figura 7 – Configuração típica de trincas devido ao excesso de carga .....	24
Figura 8 – Configurações típicas de fissuras provenientes do excesso de cargas compressivas....	24
Figura 9 – Fissuras em aberturas de portas e janelas.....	25
Figura 10 – Aparelhagem utilizada no ensaio. ....	27
Figura 11 – Croqui dos elementos presentes em uma residência unifamiliar de pavimento térreo .....	28
Figura 12 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool.....	29
Figura 13 – Distribuição de carga da cobertura de madeira em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool .....	29
Figura 14 – Croqui dos elementos presentes em uma residência unifamiliar com o primeiro pavimento .....	30
Figura 15 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool.....	31
Figura 16 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool.....	31
Figura 17 – Distribuição de carga da cobertura de madeira em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool .....	31
Figura 18 – Pannel de alvenaria pronto para realização do ensaio.....	33
Figura 19 – Primeira fissura verificada .....	34
Figura 20 – Má qualidade do tijolo utilizado .....	34
Figura 21 – Gráfico (corpo de prova 1) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4.....	35
Figura 22 – Representação de D1 e D2 .....	35
Figura 23 – Representação de D3 e D4 .....	35
Figura 24 – Gráfico (corpo de prova 1) – carga x deslocamento lateral – D3 .....	36
Figura 25 – Esmagamento completo da última fiada .....	37
Figura 26 – Gráfico (corpo de prova 2) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4.....	37
Figura 27 – Gráfico (corpo de prova 2) – carga x deslocamento lateral – D3 .....	38
Figura 28 – Esmagamento completo da primeira fiada e fissuração na última.....	39
Figura 29 – Gráfico (corpo de prova 3) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4.....	40
Figura 30 – Gráfico (corpo de prova 3) – carga x deslocamento lateral – D3 .....	40
Figura 31 – Gráfico – carga x encurtamento – D1 .....	45
Figura 32 – Gráfico – carga x encurtamento – D2 .....	45
Figura 33 – Gráfico – carga x encurtamento – D3 .....	46
Figura 34 – Gráfico – carga x encurtamento – D4 .....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagens de economia em um sistema de alvenaria estrutural .....	20
Tabela 2 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 1 .....	33
Tabela 3 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 2 .....	36
Tabela 4 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 3 .....	39
Tabela 5 – Dimensionamento de laje treliçada.....	47



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	10
1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	10
1.3	JUSTIFICATIVA .....	10
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1	ASPECTOS GERAIS .....	11
2.2	ALVENARIA DE VEDAÇÃO .....	14
2.3	ALVENARIA ESTRUTURAL .....	17
2.4	ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO.....	20
2.5	PATOLOGIAS EM ALVENARIAS.....	22
<b>2.5.1</b>	<b>Tipos de patologias .....</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO ANTERIOR SOBRE O USO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM FUNÇÕES ENTRUTURAIS .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>27</b>
4.1	MATERIAIS E APARELHOS UTILIZADOS NO ENSAIO .....	27
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
5.1	TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA A QUE SÃO SUBMETIDAS AS ALVENARIAS.....	28
5.2	DESCRIÇÃO E PREPARAÇÃO DO ENSAIO .....	32
<b>5.2.1</b>	<b>Ensaio do corpo de prova 1 em 27/01/2015 .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Ensaio do corpo de prova 2 em 28/02/2015 .....</b>	<b>36</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Ensaio do corpo de prova 3 em 29/02/2015 .....</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>42</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>45</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alvenaria pode ser definida, segundo Yazigi (2009), como o “conjunto de paredes, muros e obras similares, composto de pedras naturais e/ou blocos ou tijolos artificiais, ligados ou não por argamassa.” A alvenaria de vedação, simplificada, é conceituada como o tipo de alvenaria que não tem funções estruturais, ou seja, não tem função de receber cargas. Dentre algumas funções, Nascimento (2001) cita as seguintes: isolamento térmico e acústico, segurança para usuários e ocupantes, adequar e dividir ambientes, entre outras.

O uso da alvenaria iniciou-se desde a Antiguidade. Contrariando o conceito de alvenaria de vedação previamente descrito, as alvenarias antigas tinham funções estruturais, pois eram dispostas para suportar, além do seu peso próprio, cargas de laje e sobrecargas (NASCIMENTO, 2001).

Mesmo com a existência de teorias matemáticas sobre o comportamento dos elementos estruturais, as construções eram feitas empiricamente, baseadas em técnicas passadas de geração em geração. Os erros não se repetiam e os acertos eram adotados como verdades para poder produzir estruturas cada vez mais resistentes e duráveis (FRANCO, 2012). Um dos exemplos mais marcantes, construído entre 1889 e 1891, foi o Monadnock Building, edificação feita em Chicago, apresentando 65 m de altura, dividida em 16 andares e possuía paredes com 1,80 m de espessura no andar térreo.

No início do século XX, com o surgimento do concreto armado, desenvolvimento das siderúrgicas e maior ênfase nesses materiais (FRANCO, 2012), essa prática foi sendo abandonada e negligenciada, e as alvenarias começaram a ter funções meramente vedativas (RAZENTE; RAMALHO, 2008).

Houve uma reviravolta no mercado, e desde e nos últimos anos o uso da alvenaria estrutural está de volta ao mercado com promessa de mais praticidade e economia. Eliminação de formas, redução do volume de concreto e aço, espessuras mínimas de revestimento e maior produtividade construtiva são alguns fatores apresentados por (LANNA, 2010) que proporcionaram o retorno do uso dessa prática. Além disso, as constantes atualizações nas normas, aplicações em diferentes tipos de obras, entre outros fatores fizeram com que houvesse uma maior exploração e utilização dessa técnica (FRANCO, 2012).

No desenvolvimento deste trabalho, as alvenarias que teoricamente são utilizadas como vedação foram testadas com funções estruturais. A necessidade deste estudo se deu principalmente pelo crescimento da construção de habitações unifamiliares facilitadas pelo projeto do governo Minha Casa Minha Vida. Em vários casos, as sobrecargas, principalmente

oriundas da laje de cobertura, são transferidas diretamente sobre os tijolos/blocos. Ao final deste trabalho pretendeu-se garantir a segurança de tal prática.

### 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo analisar, através do ensaio de compressão axial, o comportamento mecânico em painéis de alvenaria de vedação com função estrutural, cuja composição é feita de blocos cerâmicos dispostos na horizontal.

### 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O estudo buscou verificar o comportamento da alvenaria quando submetida a uma simulação de carga compressiva, seja ela no aspecto de sua capacidade estrutural como no de sua instabilidade lateral. Além disso, os testes podem trazer no futuro uma correlação entre diferentes alturas de alvenaria com suas respectivas cargas de ruptura, comparando com pesquisas presentes na literatura. Finalmente, esse estudo pode trazer parâmetros que possam garantir com total conforto e segurança a sua utilização.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica pela análise de possíveis riscos pelo fato da alvenaria de vedação ser utilizada com funções estruturais.

Vale salientar que foram utilizados blocos cerâmicos com disposição dos furos na horizontal. Além disso, os testes podem trazer no futuro uma correlação entre diferentes alturas de alvenaria com suas respectivas cargas de ruptura, comparando com pesquisas presentes na literatura. Finalmente, esse estudo pode trazer parâmetros que possam garantir com total conforto e segurança a sua utilização.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS

Segundo Azeredo (1977), “alvenaria é toda obra constituída de pedras naturais, tijolos ou blocos e concreto, ligados ou não por meio de argamassas, e comumente deve oferecer condições de resistência e durabilidade e impermeabilidade.” As alvenarias podem ser classificadas de várias maneiras. Conforme Franco (2012), as paredes de alvenaria podem ser classificadas, de acordo com o material, em:

- a) Alvenaria de bloco de concreto;
- b) Alvenaria de bloco cerâmico;
- c) Alvenaria de bloco sílico-calcário;
- d) Alvenaria de bloco de concreto celular;
- e) Alvenaria de bloco e tijolo de solo-cimento; e
- f) Alvenaria de pedra.

Conforme Alves (2008), a alvenaria pode ser empregada na produção de vários elementos construtivos, podendo ter função estrutural ou de vedação, tais como: paredes, abóbodas entre outros.

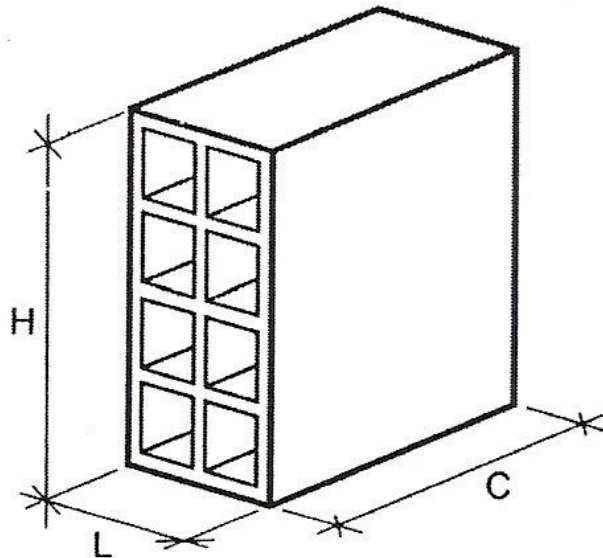
No desenvolvimento deste trabalho são explicitados o conceito de alvenaria de vedação feito a partir de blocos cerâmicos, que é o objetivo do estudo.

Segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005), “os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte”. A matéria-prima para a produção do bloco cerâmico é a argila. De acordo com a qualidade da argila, um material de boa ou má qualidade pode ser produzido. Rizzati (2003) salienta que a argila para produção dos blocos deve apresentar certa plasticidade quando misturado com água, o suficiente para que ocorra uma boa distribuição do material na forma. Além disso, os blocos devem apresentar uma resistência a tração para se manterem moldados e capacidade de fundir partículas quando queimados a altas temperaturas.

Os produtos cerâmicos muitas vezes são produzidos sem um controle de qualidade adequado, no qual utilizam procedimentos empíricos para dosagem e fabricação, os quais podem afetar as características das obras e o atendimento às normas. Segundo Dias, Toledo e

Alexandre (2007), irregularidades e falta de uniformidade dos blocos de alvenaria são fatores que provocam perda comuns em obras, comprometendo a qualidade da alvenaria. Moraes e Sposto (2006) afirmam que podem existir problemas, como trincas devido à retração, devido à própria matéria-prima, na conformação, secagem ou queima das peças.

**Figura 1 – Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal**



Fonte: ABNT (2005).

Com relação às dimensões do bloco, a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) cita as dimensões de fabricação e as divide em: largura (L), altura (H) e comprimento (C) (Figura 1).

As dimensões mais utilizadas nos blocos em furo horizontal são: 9 x 19 x 19 cm, 9 x 19 x 39 cm e 9 x 19 x 9 cm. A norma também faz referência à espessura das paredes externas, cujo valor deve ser no mínimo de 7 mm. A resistência mínima à compressão dos blocos depende da disposição dos furos, sendo no mínimo de 1,5 MPa para furos na horizontal e 3 MPa para furos na vertical.

Segundo Azeredo (1997), os tijolos cerâmicos podem ser dos tipos: comum, laminado, refratários baianos, furado com quatro, seis ou oito furos, entre outros.

Santos e Stumm (2014) dizem que, no geral, tijolos cerâmicos possuem vantagens:

- a) Leveza;
- b) Isolamento térmico e acústico;
- c) Possibilidade de construção racionalizada;
- d) Diminuição do desperdício dos materiais (componente, argamassa de assentamento e reboco);

- e) Decréscimo na espessura de revestimento (emboço ou reboco);
- f) Canteiro de obra menos congestionado e espaço mais limpo;
- g) Facilita a prumada das paredes;
- h) Permite a utilização de componentes pré-moldados (vergas, contravergas etc.); e
- i) Facilita a execução das instalações hidrosanitárias e elétricas, no caso de blocos especiais.

Outro aspecto levantado pelos mesmo autores e também visto na NBR 15270-1 (ABNT, 2005) são citados abaixo como índice de análise dos blocos:

- a) Regularidade de formas e dimensões;
- b) Arestas vivas e cantos resistentes;
- c) Inexistência de fendas, trincas, cavidades etc. (massa homogênea);
- d) Cozimento uniforme (produzir som metálico quando percutido);
- e) Facilidade de corte (grãos finos e cor uniforme);
- f) Índice de absorção de água; e
- g) Resistência mecânica.

De todas as vantagens acima citadas, os blocos cerâmicos podem apresentar algumas particularidades entre si, abaixo enumeradas:

- a) **Tijolo maciço, à vista, comum ou de barro cozido:** gasto com argamassa relativamente alto, devido à sua área de aplicação. A produtividade da execução do tijolo maciço é baixa, no entanto suas pequenas dimensões permitem uma maior precisão de nivelamento e prumo (SILVA, 2004).
- b) **Tijolo de furo ou tijolo baiano:** apresenta rachaduras na área porção externa e furos na interna. Possui baixo custo, porém seu alto índice de desperdício negativa um pouco o fator econômico. Devido às suas características dimensionais, possui um desempenho térmico superior aos tijolos comuns (AZEREDO, 1997).
- c) **Tijolo laminado:** geralmente utilizado em alvenaria aparente, possui uma superfície lisa que proporciona melhor acabamento e, por esse mesmo motivo, não é aconselhado o uso de revestimento, pela sua falta de aderência. Apresenta alta resistência em relação aos outros tijolos, tendo como ponto negativo seu custo,

além do fato da sua dureza dificultar possíveis rasgos nas paredes (AZEREDO, 1997; MARINOSK, 2011).

- d) Tijolo refratário:** materiais como óxido de alumínio (alumina), silicone (silicone) e magnésio (magnésia) proporcionam ao tijolo características refratárias. Isso quer dizer que esse tijolo mantém suas propriedades normais, como, por exemplo, a resistência mecânica, exposto a altas temperaturas. Funciona bem como isolante térmico mas exige técnicas especiais de aquecimento que assegurem seu desempenho (OLIENICK, 2010).

## 2.2 ALVENARIA DE VEDAÇÃO

Segundo o IPT (2009):

As alvenarias de vedação são aquelas destinadas a compartimentar espaços, preenchendo os vãos de estruturas de concreto armado, aço ou outras estruturas. Assim sendo, devem suportar tão somente o peso próprio e cargas de utilização, como armários, rede de dormir e outros. Devem apresentar adequada resistência às cargas laterais estáticas e dinâmicas, advindas, por exemplo, da atuação do vento, impactos acidentais e outras.

**Figura 2 – Execução de uma casa em alvenaria de vedação**



**Fonte:** Fabric Construções (2014).

A alvenaria, quando projetada com finalidade de vedação, sem função estrutural, deve possuir características técnicas e exigências, dentre as quais Ching e Adams (2001) destacam:

- a) Divisão, vedações e proteção;
- b) Isolamento térmico;
- c) Isolamento acústico;
- d) Segurança ao contato;
- e) Estética;
- f) Solidez e praticidade de manutenção.

As alvenarias de vedação utilizadas em edifícios de estrutura de concreto armado não têm função estrutural, mas de qualquer modo estão sujeitas às cargas acidentais devido às deformações da estrutura do concreto, aos recalques de fundações e às movimentações térmicas (MARINOSKI, 2011).

Téchne (2006 *apud* THOMAZ *et al.*, 2009) comenta que a alvenaria de vedação tradicional comumente utilizada nas edificações apresenta algumas características práticas:

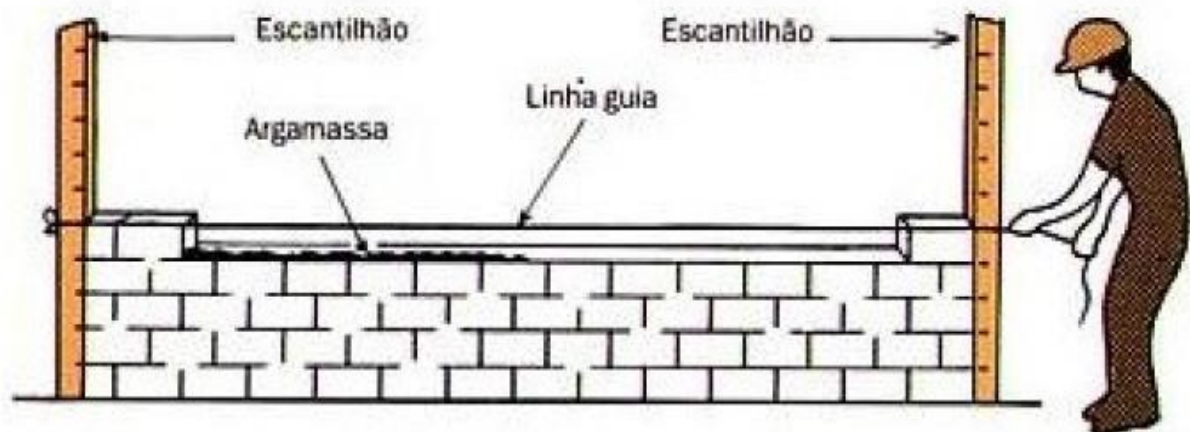
- a) **Mão de obra:** pouca qualificação pode acarretar em retrabalho e influenciar diretamente na qualidade do produto final.
- b) **Retrabalho:** pode ocorrer em diversas situações. Uma alvenaria má assentada e fora de prumo, por exemplo, pode fazer com que tempo seja perdido no reassentamento. Outro ponto muito comum é a passagem das instalações, que muitas vezes é deixada para o final do processo, quando a necessidade de rasgos implica em atraso na execução.
- c) **Desperdício de materiais:** como citado no item anterior, o rasgo em paredes e as correções devido à má qualidade da alvenaria são pontos que geram desperdícios. Além disso, quebra de peças associada ao transporte e armazenamento também podem ser citados como fatores preponderantes para a perda de material.
- d) **Falta de controle na execução:** está ligada à fiscalização do serviço, podendo estar associada com os itens anteriores. A conferência de prumo e o nivelamento apenas no fim da tarefa fazem com que paredes de má qualidade sejam levantadas. Situação comum, na prática, seria a correção desses problemas usando grandes quantidades de argamassa.

De acordo com Souza (2006), o operário que trabalha no serviço de elevação de alvenaria de vedação precisa completar as seguintes etapas para gerar o seu produto de maneira mais correta e conforme o projeto de arquitetura:



- a) Iniciar o serviço pelos cantos destacando a primeira fiada depois de colocado em posição o escantilhão;
- b) Subir então a alvenaria pelos cantos sempre com o uso do prumo de pedreiro para o alinhamento vertical;
- c) Nivelar com o uso de uma linha de nylon esticada entre os dois cantos já levantados, para que se tenha um bom alinhamento horizontal como mostrado na Figura 3;
- d) Com a argamassa, o tijolo é assentado com sua face rente à linha, sempre batendo com a colher de pedreiro para que se faça o alinhamento final;
- e) Após mais ou menos 1,50 m de alvenaria, pode-se incluir andaimes para que se continue a elevação em um segundo plano (nível mais alto).

**Figura 3 – Detalhe de equipamentos e etapa da elevação de uma alvenaria**



Fonte: JCMUG (2010 *apud* HERCULANO, 2010).

Deve-se levar em consideração alguns cuidados especiais para a boa produção das alvenarias. Além da marcação e do assentamento propriamente dito, o encunhamento deve ser bem realizado, além dos cuidados com vãos de aberturas e passagens das instalações (YAZIGI, 2009).

O encunhamento é uma etapa muito importante, pois é nela que se dá o ligamento entre a alvenaria e a estrutura. A argamassa utilizada nessa etapa deve ser feita de forma a adquirir uma melhor plasticidade e baixo módulo de elasticidade, para que dessa forma consiga absorver cargas das deformações da estrutura (MILITO, 2009).

Com relação às aberturas, deve-se existir um elemento estrutural que proporcione rigidez e uniformize as tensões ali impostas. Segundo Yazigi (2009), as contravergas são utilizadas apenas em vãos de janela, e as vergas são utilizadas tanto para portas como janelas.

Segundo a NBR 8545 (ABNT, 1984), as vergas e contravergas devem ultrapassar a largura do vão em pelo menos 20 cm de cada lado e devem ter altura mínima de 10 cm. Quando os vão forem próximos, deve-se utilizar uma única verga/contraverga.

Conforme Yazigi (2009), a instalação das tubulações elétricas tem que ser executada de forma a evitar rasgos e conseqüentemente reparos, que implicarão em perda de tempo e dinheiro. A melhor maneira é executá-la simultaneamente embutindo as tubulações nos furos dos blocos.

### 2.3 ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural pode ser definida como um sistema de construção onde as paredes e as lajes funcionam estruturalmente de forma a suportar as cargas em substituição às vigas e pilares utilizados nas construções tradicionais, sendo assim dimensionadas segundo métodos de cálculos racionais e de confiabilidade determinável. Vale salientar que nem todas as paredes que constituem a edificação precisam ser obrigatoriamente estruturais (ROMAN, 2014).

As alvenarias estruturais podem ser divididas basicamente em quatro tipos, mas no geral todas apresentam entidades básicas em comum. Essas entidades são componentes que compõem a estrutura, sendo os principais: blocos, ou unidades; argamassa; graute e armadura. Os elementos são uma parte da estrutura que será formada por mais de dois componentes anteriormente citados, por exemplo: paredes, pilares, cintas, vergas etc. (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

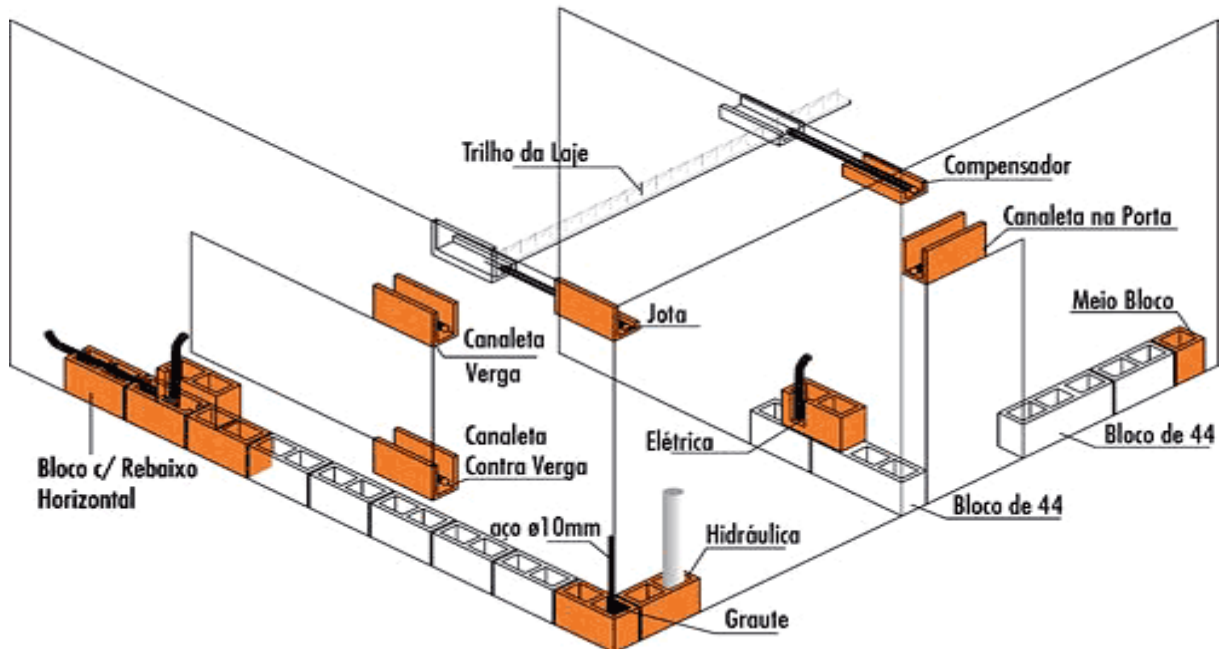
O desempenho de uma parede depende da qualidade da argamassa de assentamento, da qualidade e aplicação correta do graute, da forma da aplicação da argamassa, do projeto da alvenaria, da capacidade profissional da mão de obra (FARIA, 2011).

As alvenarias portantes, segundo Franco (2012), podem ser dividida como:

- a) **Alvenaria estrutural não armada:** são as alvenarias simples, compostas basicamente por componentes + argamassa.
- b) **Alvenaria estrutural armada:** alvenaria reforçada por uma armadura passiva de fios, barras ou telas de aço, e todo o ferro utilizado participa no dimensionamento.
- c) **Alvenaria parcialmente armada:** por motivos construtivos ou apenas de amarração, esse tipo de alvenaria compõe uma parcela mínima de ferro com o intuito de evitar fissuras por movimentações internas, para evitar ruptura frágil etc.

- d) **Alvenaria protendida:** mesmo sistema da alvenaria estrutural armada, com a diferença apenas de apresentar armaduras ativas ao invés das passivas.

**Figura 4 – Componentes básicos da alvenaria estrutural**



Fonte: Cerâmica Salema (2015).

Na execução de uma estrutura de alvenaria estrutural, alguns parâmetros devem ser considerados no sistema (RAMALHO; CORRÊA, 2003):

- a) **Altura da edificação:** Considerando parâmetros do Brasil, uma alvenaria estrutural bem dimensionada e econômica pode apresentar edifícios de no máximo 15 ou 16 pavimentos. Ultrapassando esse valor, a resistência dos blocos encontrados no mercado não acompanha toda essa carga compressiva, além do fator das forças horizontais provocadas pelo vento causar tensões de tração, onde a necessidade de reforço tornaria inviável o uso da alvenaria portantes.
- b) **Arranjo arquitetônico:** As considerações feitas anteriormente são para edificações usuais. Em relação aos arranjos arquitetônicos é importante considerar a densidade das paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Um valor razoável é que haja de 0,5 a 0,7 m de paredes estruturais por m<sup>2</sup> de pavimento. Dentro desses limites, a densidade de paredes pode ser considerada usual.
- c) **Tipo de uso:** A alvenaria estrutural é indicada para o uso residência de pequeno a médio porte. Utilizar de tal técnica, com finalidades comerciais, onde a necessidade

de vãos maiores ou até mesmo a possibilidade reformas no interior para adequar determinada empresa são mais comuns, torna tal pratica não aconselhável.

Com relação aos pontos positivos do sistema, Araújo e Costa (2010) ressaltam algumas vantagens da alvenaria estrutural em relação aos processos tradicionais:

- a) Redução no uso de armaduras e concreto, redução de formas;
- b) Redução de resíduos;
- c) Redução do tempo de execução;
- d) Integração com outros subsistemas;
- e) Flexibilidade no planejamento de execução das obras;
- f) Projetos são mais fáceis de detalhar;
- g) Possibilidade de diferentes níveis de mecanização;
- h) Ótima resistência ao fogo;
- i) Ótimas características de isolamento termoacústico; e
- j) Custos otimizados.

Com relação às desvantagens, os autores enfatizam alguns pontos:

- a) Condiciona a arquitetura;
- b) Inibe a destinação dos edifícios;
- c) Restringe a possibilidade de modificações arquitetônicas;
- d) Vãos livres limitados;
- e) Vãos em balanço; e
- f) Esbeltez.

Freitas Júnior (2013) faz uma comparação entre a alvenaria estrutural e as estruturas de concreto armado. Fazendo um paralelo com as vantagens já citadas anteriormente, o autor garante que um sistema de alvenaria estrutural proporciona:

- a) Redução de 60 a 90% nas formas (só lajes e detalhes);
- b) Redução em 50% no consumo de aço;
- c) Redução de 20% no consumo de concreto;
- d) Custo mais baixo da solução, até 20%;

- e) Maior racionalidade na construção;
- f) Vãos máximos da ordem de 4 a 5 metros;
- g) Pé direito limitado (flambagem das paredes); e
- h) Não podem sofrer reformas que removam paredes estruturais.

Já em relação à estrutura em concreto armado, os autores destacam as seguintes vantagens: maior flexibilidade arquitetônica, edifícios de maior altura e é mais fácil compatibilizar térreo, pilotis e subsolos para garagem.

Wendler (*apud* FREITAS JÚNIOR, 2013) enumera as porcentagens de economia em um sistema de alvenaria estrutural, conforme Tabela 1.

**Tabela 1 – Porcentagens de economia em um sistema de alvenaria estrutural**

Tipo de obra	%
04 pavimentos	25% a 30%
07 pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada	20% a 25%
07 pavimentos com pilotis, com alvenaria armada	15% a 20%
07 pavimentos com pilotis	12% a 20%
12 pavimentos sem pilotis	10% a 15%
12 pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	08% a 12%
18 pavimentos com pilotis, térreo e concreto armado	04% a 06%

**Fonte:** Wendler (*apud* FREITAS JÚNIOR, 2013).

## 2.4 ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO

Segundo a NBR 13281, uma argamassa pode ser definida como uma mistura de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, apresentando propriedades no estado fresco e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou serem industrializadas (ABNT, 2001).

Conhecer a fundo as propriedades de uma argamassa pode fazer com que inúmeros tipos de patologias correntes às alvenarias possam ser evitadas. Segundo Solórzano e Sabbatini (1995), apresentando em torno de 2% a 16% do volume total de alvenaria, a influência da argamassa com relação ao desempenho pode-se apresentar mais acentuada do que essa porcentagem possa mostrar.

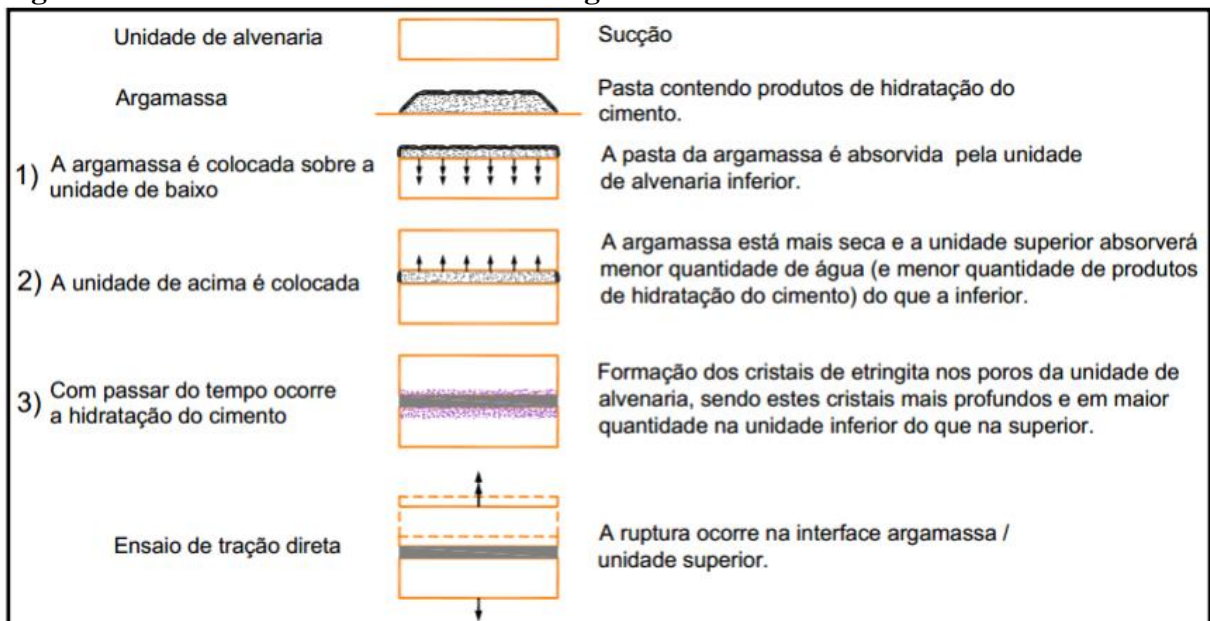
Tendo como objetivo melhorar o desempenho, a escolha da argamassa adequada para os trabalhos de execução de alvenaria se tornam cruciais. Solórzano e Sabbatini (1995) entendem que as principais funções que as argamassas de assentamento desempenham na alvenaria são:

- a) Unir as unidades de alvenaria;
- b) Resistir a esforços mecânicos;
- c) Distribuir as cargas uniformemente; e
- d) Absorver as deformações da parede de alvenaria.

Fiorito (2009) cita algumas propriedades pertinentes às argamassas de assentamento:

- a) **Trabalhabilidade:** capacidade da argamassa em se distribuir com facilidade no elemento assentado, além de conseguir preencher todos os vazios, não desagrega e consegue permanecer plástica por um bom tempo.
- b) **Retenção de água:** conceito que está relacionado com a manutenção da consistência, é o poder da argamassa em não perder a água que irá garantir a hidratação do cimento.
- c) **Aderência:** característica que não é exclusiva da argamassa, o papel principal nesse quesito se dá pelas características do bloco. A aderência é um processo mecânico, a argamassa penetra na alvenaria pelos seus poros e quanto mais rígida e lisa for bloco, menor será o grau de aderência.
- d) **Resistividade mecânica:** o esforço preponderante sofrido pela argamassa de assentamento é o de compressão. A flexão e o cisalhamento também são presentes devido aos esforços laterais nas paredes, porém em menor quantidade.

**Figura 5 – Funcionamento de aderência argamassa-bloco**



Fonte: Moraes (2015).

Complementando essas propriedades, Solórzano e Sabbatini (1995) falam da durabilidade e eficiência, do ponto de vista da produção, racionalização e economia, como características pertinentes a serem consideradas em uma argamassa de assentamento. Já Silva (2004) fala sobre a resiliência, ou seja, propriedade que está associada à capacidade de um determinado material sofrer deformações devido a uma carga aplicada, e conseguir voltar à sua inicial depois de cessada essa força.

## 2.5 PATOLOGIAS EM ALVENARIAS

Problemas patológicos são comumente encontrados em alvenarias. Marcelli (2007) lista alguns fatores que podem acarretar manifestações patológicas em alvenarias: alterações químicas, umidade, traço, espessura, aplicação, flexão, recalques de fundação, excesso de carga, aberturas, cargas diferenciadas, proximidades com árvores, deformações do apoio, rotação da estrutura.

Na maioria dos casos, todos esses fatores são evidenciados em forma de fissuras. Araújo e Costa (2010) afirmam que as trincas são os problemas mais comuns que ocorrem nas alvenarias. Suas principais causas são: excessivo carregamento de compressão, recalques nas fundações, variação de temperatura e reação química.

Essas patologias, além de provocarem desconforto ao morador, trazem um sentimento de insegurança quanto à estabilidade da edificação. Nascimento (2001) classifica as trincas da seguinte forma:

- a) **Quanto à origem:** internas: ocorrem por retração das argamassas do próprio bloco e ação de temperatura e umidade; e externas: ocorrem principalmente por causas externas (choques, cargas suspensas, transferência de cargas pela estrutura). e
- b) **Quanto à estabilização:** ativas: verificadas em painéis de alvenaria, onde ocorrem ciclos de abertura e fechamento das mesmas (efeito térmico, vibrações, trânsito etc.); e inativas: ocorrem para alívio de tensões superiores à resistência do material ou suas interfaces.

A resistência mecânica em painéis de alvenaria muitas vezes se torna negligenciada pelo simples fato e conceito de vedação. A capacidade de suportar esforços se torna cada vez mais crucial pelo fator “deformação das estruturas”. Nascimento (2001) conclui que quanto

menor for a capacidade de resistência à compressão de um bloco, mais frequente a probabilidade do surgimento de patologias nas alvenarias em um curto espaço de tempo.

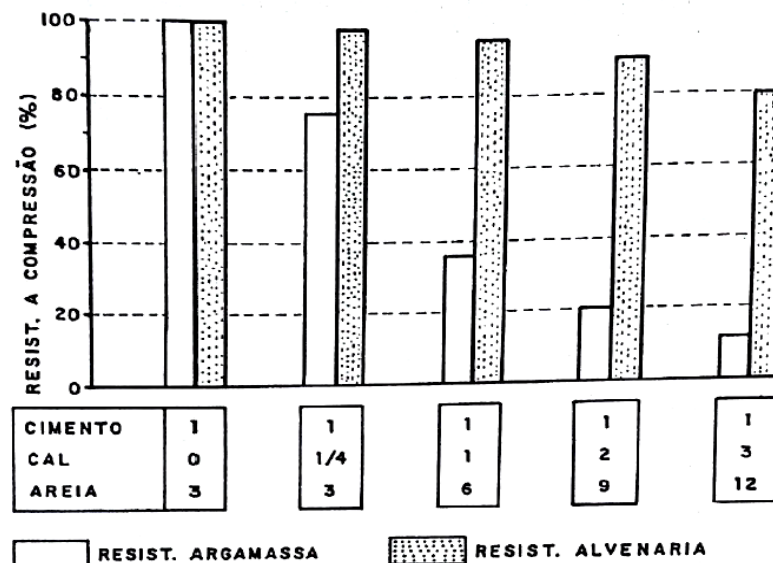
### 2.5.1 Tipos de patologias

Nas alvenarias, em função de sua heterogeneidade quanto à forma e à composição, e da diferença de comportamento entre tijolos e argamassa, são introduzidas tensões localizadas de flexão nos tijolos, podendo assim ocorrer o aparecimento de fissuras normalmente verticais (THOMAZ, 2014).

“Ao ser comprimida a argamassa deforma mais do que os tijolos, tendendo a expandir lateralmente e transmitindo tração lateral aos blocos. Esses esforços laterais de tração são responsáveis pelas fissuras verticais.” (ARAÚJO; COSTA, 2010).

Um estudo feito por Sahlin (1971), afirma que a resistência da parede, fora em situações excepcionais, ficará em torno de 25% a 50% da resistência do componente de alvenaria. Além disso, estudos realizados no *Building Research Establishment* (BRE) tomando como referência um traço de argamassa padrão 1:3, realizou teste com argamassa 90% mais fraca e obteve resultados com paredes apenas 20% menos resistentes. Conclui-se que, ao contrário do que muitos possam pensar, a influência da argamassa de assentamento é bem menos significativa. As argamassas normalmente trabalham num sistema triaxial de tensões, que resulta num aumento em sua capacidade de resistência à compressão.

**Figura 6 – Resistência à compressão da alvenaria em função da resistência da argamassa**



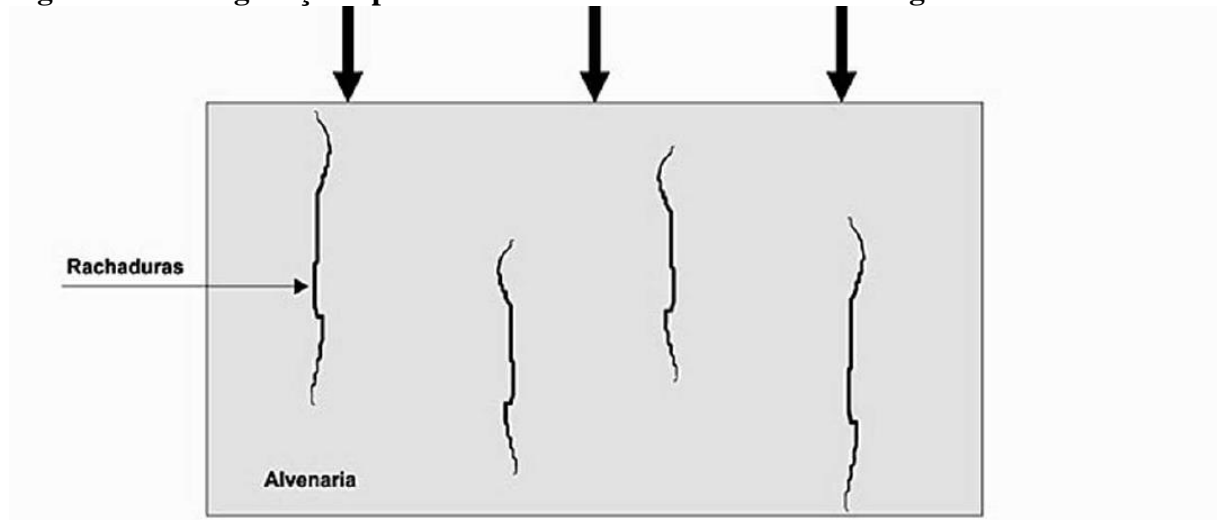
Fonte: Thomaz (2014).



Conforme estudos feitos por Silva e Pfeffermann (1978), o uso de uma taxa de armadura mínima em torno de 0,2% não proporciona um aumento significativo à resistência à compressão da parede, porém tal prática pode melhorar consideravelmente o comportamento do sistema quanto à sua fissuração, normalmente provocada pela excentricidade de carga, ocorrência de recalques diferenciados ou concentrações de tensões.

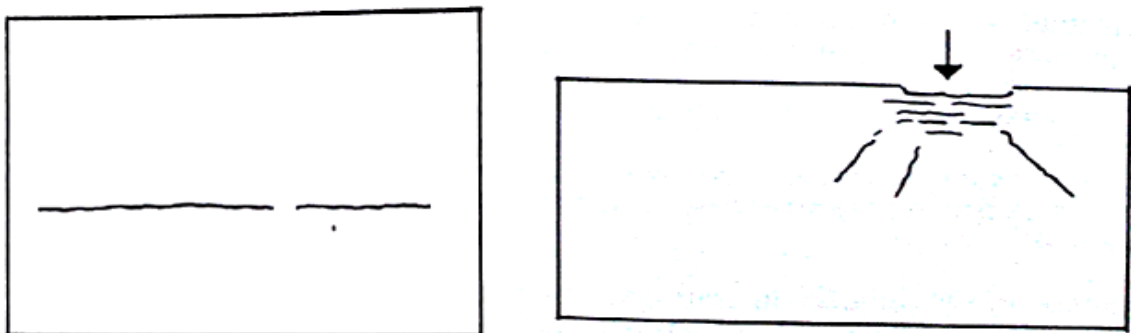
Esse tipo de fissura ocorre muito em alvenarias portantes mal dimensionadas ou quando a deformação da estrutura na parte superior é bem mais elevada do que na parte inferior (MARCELLI, 2007).

**Figura 7 – Configuração típica de trincas devido ao excesso de carga**



Fonte: Marcelli (2007).

**Figura 8 – Configurações típicas de fissuras provenientes do excesso de cargas compressivas**



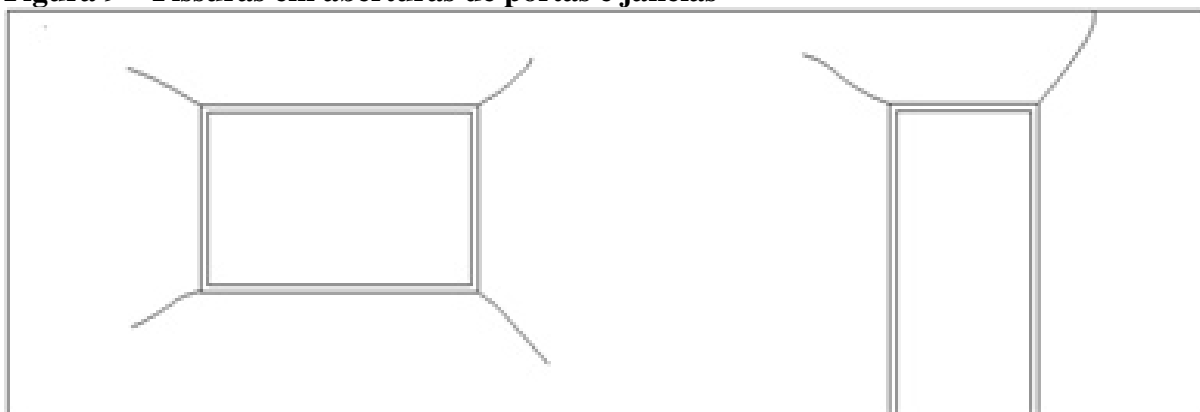
Fonte: Thomaz (2014).

Apesar de as trincas verticais apresentarem o caso mais típico, podem ainda existir as fissuras horizontais. Nesse caso a causa seria a ruptura por compressão dos componentes da alvenaria, da própria argamassa de assentamento ou ainda de solicitações de flexocompressão

da parede. Esses fatos já citados ocorrem quando existe uma distribuição uniforme de tensões. Quando há uma atuação localizada, a ruptura dos componentes de alvenaria na região se dá de forma diferente. Geralmente as fissuras se dão de forma inclinada a partir do ponto de aplicação (THOMAZ, 2014).

Complementando este tópico, Thomaz (2014) cita ainda as fissuras provocadas pelas aberturas de portas e janelas. Esse tipo de fissura tem como causa as concentrações que surgem nos vértices dos vazios. Pela falta de rigidez nessa região, a estrutura tende a trincar. Como já foi citado no decorrer do trabalho, para evitar esse tipo de problema devem-se usar vergas e/ou contravergas.

**Figura 9 – Fissuras em aberturas de portas e janelas**



**Fonte:** Werle (2012).

### **3 ESTUDO ANTERIOR SOBRE O USO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO COM FUNÇÕES ENTRUTURAIIS**

O presente trabalho pode ser dito como uma continuação do estudo de Brasil (2014), apresentando em si algumas particularidades e diferenças.

Com o mesmo objetivo de assegurar o uso da alvenaria de vedação com funções estruturais em residências unifamiliar, ensaios foram realizados no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (Labeme/UFPB) em três painéis de alvenaria, medindo a carga de ruptura e correlacionando-a com o encurtamento da alvenaria e com o deslocamento lateral.

A principal diferença foi o tamanho da alvenaria, já que no estudo de Brasil (2014) painéis de 140 x 180 cm foram construídos com o intuito de simular o tamanho real e obter valores bem aproximados da prática. Neste estudo pretendeu-se utilizar painéis menores com o intuito de evitar o efeito da flambagem e poder relacionar a carga de ruptura com a altura da alvenaria.

Outro aspecto que deve ser lembrado foi a utilização da cinta de amarração por Brasil (2014) para uniformizar as cargas impostas. No mais, o estudo apareceu de forma bem semelhante. Os resultados encontrados no ensaio de compressão axial foram de  $\sigma_{Crup01} = 1,83$  MPa,  $\sigma_{Crup02} = 0,89$  MPa,  $\sigma_{Crup03} = 1,16$  MPa e  $\sigma_{Med} = 1,29$  MPa.

## 4 METODOLOGIA

Para melhor compreensão do presente trabalho, foi necessário fazer uma fundamentação teórica com alguns conceitos sobre alvenaria, informações bem abrangentes apresentando conteúdos desde os aspectos gerais até as patologias mais recorrentes, tendo como causa o excesso das cargas compressivas. Após todo esse volume de informação pôde-se tomar iniciativa para o desenvolvimento da pesquisa. Após a montagem dos painéis, foram realizados os ensaios de resistência da alvenaria à compressão uniaxial simples, seguindo as recomendações da NBR 8949 (ABNT, 1985), norma que prescrevia esse método até 31/10/2014.

Vale salientar que algumas decisões desta pesquisa se basearam no trabalho de Brasil (2014), o qual estudou de forma análoga o comportamento da alvenaria de vedação com função estrutural. As mudanças presentes neste trabalho se deram pelo fato da necessidade de obter resultados mais precisos e abrangentes.

### 4.1 MATERIAIS E APARELHOS UTILIZADOS NO ENSAIO

Para a realização do ensaio de compressão da alvenaria, foram utilizados alguns materiais e aparelhos. Dentre os materiais utilizados, podem-se citar: cimento CPIII 40 RS de 50 kg; areia média; blocos cerâmicos de oito furos, cal. Quanto aos aparelhos, foram utilizados: dispositivo para aplicação de cargas; quatro transdutores de deslocamento e um datalogger.

**Figura 10 – Aparelhagem utilizada no ensaio.**



Fonte: Elaboração própria (2015)

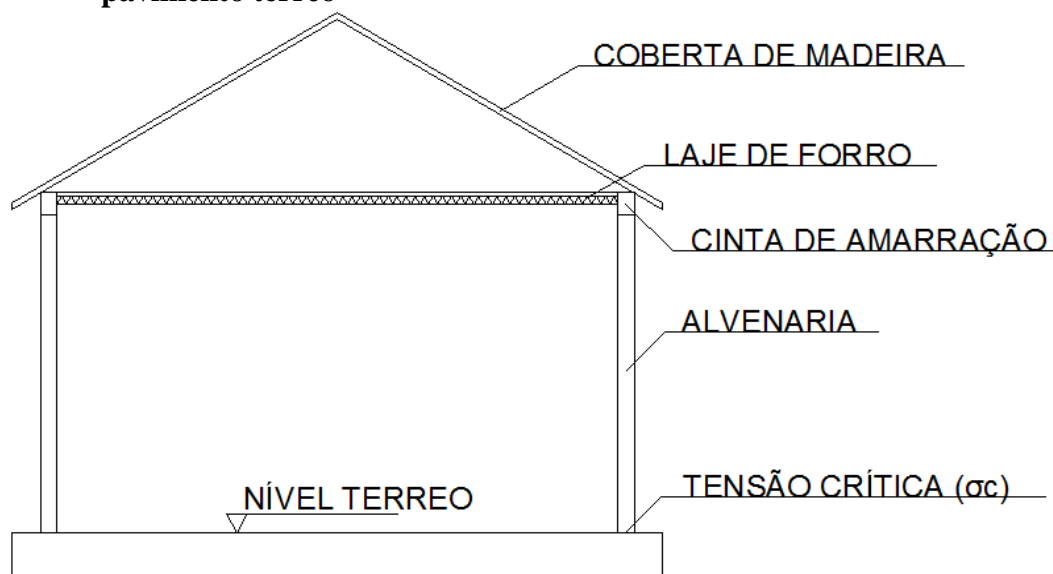
## 5 RESULTADOS

### 5.1 TENSÃO CRÍTICA DE RUPTURA A QUE SÃO SUBMETIDAS AS ALVENARIAS

Para calcular essa tensão crítica, foi necessário fazer algumas considerações sobre os elementos que apresentaram cargas significativas: cobertura de madeira, laje de forro, cinta de amarração e o peso próprio da alvenaria. Vale salientar que alguns construtores não utilizam a cinta de amarração. Apesar de o peso ao qual a alvenaria é submetida diminuir, existe uma concentração de tensão que provavelmente acarretará numa patologia de carga concentrada excessiva, como explicitado na revisão bibliográfica.

- **Residência – pavimento térreo**

**Figura 11 – Croqui dos elementos presentes em uma residência unifamiliar de pavimento térreo**



**Peso próprio da alvenaria:**

Altura da parede (H) = 2,80 m

Espessura (E) = 0,15 m

Peso específico ( $\gamma_{al}$ ) = 13 KN/m<sup>3</sup>

$q_{al}$  (carga distribuída) =  $\gamma_{al} \times H \times E = 13 \times 0,15 \times 2,80$

$q_{al} = 5,46$  KN/m

**Peso próprio da cinta de amarração:**

Altura da cinta (H) = 0,20 m

Largura (B) = 0,15 m

Peso específico  $\gamma_{ca} = 25$  KN/m<sup>3</sup>

$q_{ca} = \gamma_{ca} \times B \times H = 25 \times 0,15 \times 0,20$

$q_{ca} = 0,75$  KN/m

**Laje de forro** (laje treliçada unidirecional LT11 dimensionada pela Tabela 5 (Anexo A)):

Carga acidental = 0,5 KN/m<sup>2</sup>

Peso próprio treliça = 1,8 KN/m<sup>2</sup>

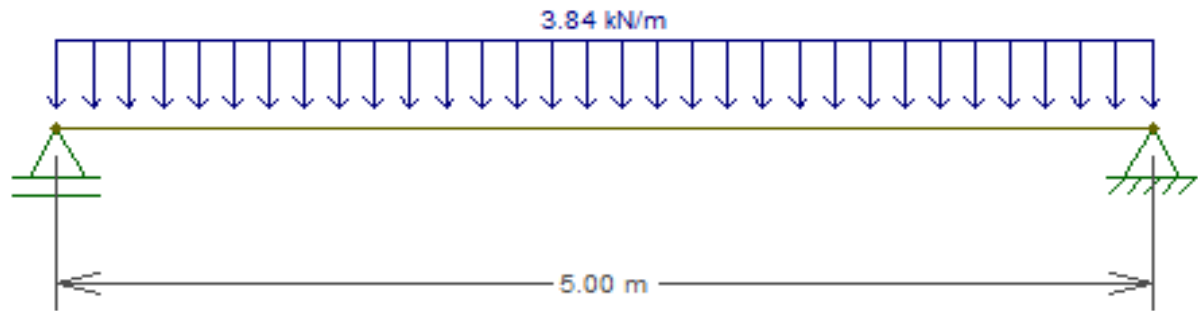
Contrapiso 0,03 x 18 = 0,54 KN/m<sup>2</sup>

Revestimento (cerâmica) = 1 KN/m<sup>2</sup>

$\Sigma 3,84$  KN/m<sup>2</sup>, considerando viga biapoiada com vão de 5 m, em faixas de 1m.

**Fonte:** Brasil (2014).

**Figura 12 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool**



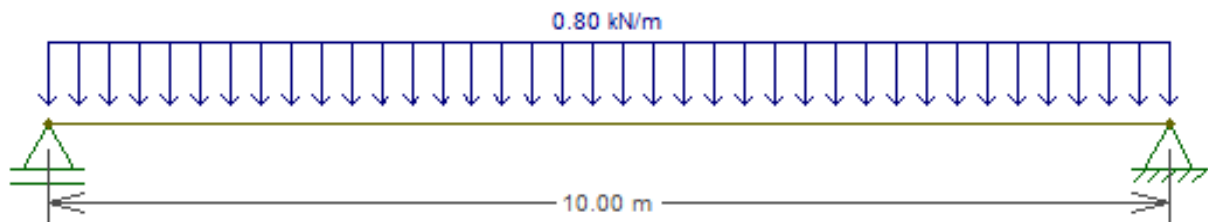
Reação de apoio =  $q_{lf} = 9,60$  KN/m.

Coberta de madeira com telha cerâmica e todos seus componentes.

Considerar telhado de duas águas com vão de 10 m. A carga estimada é de 80 kgf/m<sup>2</sup>.

Fonte: Brasil (2014).

**Figura 13 – Distribuição de carga da cobertura de madeira em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool**



Reação de apoio =  $q_{co} = 4$  KN/m

**Carga total transferida para alvenaria:**

$$q_t = q_{al} + q_{ca} + q_{lf} + q_{co} = 5,46 + 0,75 + 9,6 + 4$$

$$q_t = 19,81 \text{ KN/m}$$

**Cálculo da tensão crítica de ruptura ( $\sigma_{Crup}$ ):**

$$\sigma_{Crup} = q_t \times L / L \times b = 19810 / 0,09$$

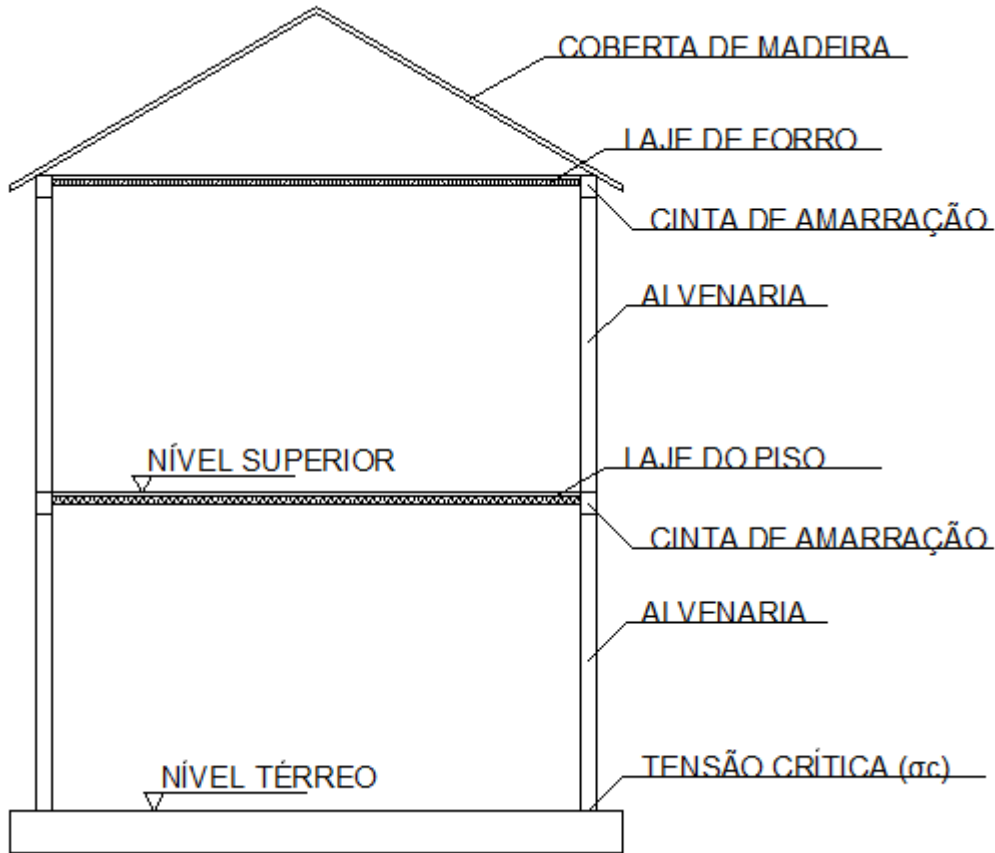
$$\sigma_{Crup} = 0,221 \text{ MPa}$$

Fonte: Brasil (2014).

- **Residência – primeiro pavimento**

Na segunda etapa foi calculada a tensão de ruptura simulando as cargas de uma edificação de primeiro andar. Assim como foi feito anteriormente, foram incluídos: o peso próprio da alvenaria, a cinta de amarração, a laje de forro, a cobertura de madeira adicionada à laje do pavimento 1.

**Figura 14 – Croqui dos elementos presentes em uma residência unifamiliar com o primeiro pavimento**



**Peso próprio da alvenaria:**

Altura da parede ( $H$ ) = 2,80 m  
 Espessura ( $E$ ) = 0,15 m  
 Peso específico ( $\gamma_{al}$ ) = 13 KN/m<sup>3</sup>  
 $q_{al} = \gamma_{al} \times H \times E = 13 \times 0,15 \times 2,80$   
 $q_{al}$  (carga distribuída térreo) = 5,46 KN/m

**Peso próprio da cinta de amarração:**

Altura da cinta ( $H$ ) = 0,20 m  
 Largura ( $B$ ) = 0,15 m  
 Peso específico  $\gamma_{ca} = 25$  KN/m<sup>3</sup>  
 $q_{ca} = \gamma_{ca} \times B \times H = 25 \times 0,15 \times 0,20$   
 $q_{ca}$  (carga distribuída térreo) = 0,75 KN/m

**Para considerar o primeiro pavimento, dobra-se esse valor:**

$q_{al}$  (carga distribuída total) = 2 x  $q_{al}$  (c. distrib. térreo)  
 $q_{al} = 10,92$  KN/m

$q_{ca}$  (carga distribuída total) = 2 x  $q_{ca}$  (c. distrib. térreo)  
 $q_{ca} = 1,50$  KN/m

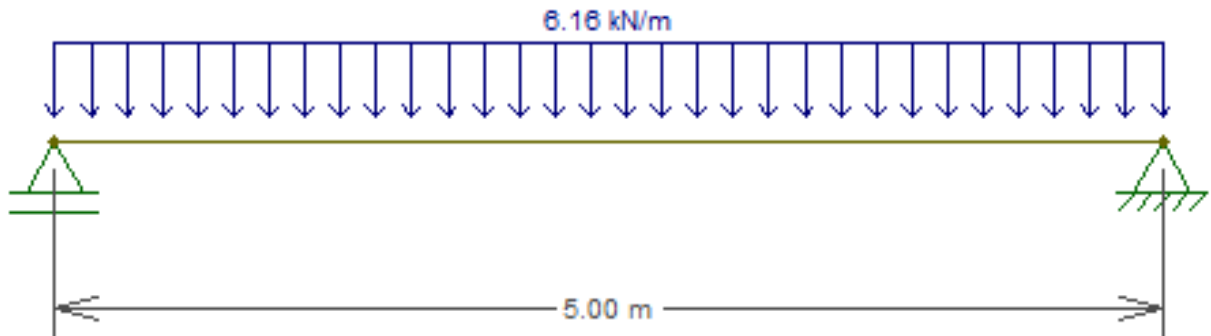
**Laje de forro** (laje treliçada unidirecional LT11 que foi dimensionada pela Tabela 5 (Anexo A)):

Carga acidental = 2 KN/m<sup>2</sup>  
 Peso próprio treliça = 2,62 KN/m<sup>2</sup>  
 Contrapiso 0,03 x 18 = 0,54 KN/m<sup>2</sup>  
 Revestimento (cerâmica) = 1 KN/m<sup>2</sup>

$\Sigma 6,16$  KN/m<sup>2</sup>, considerando viga biapoiada com vão de 5 m, em faixas de 1m.

**Fonte:** Brasil (2014).

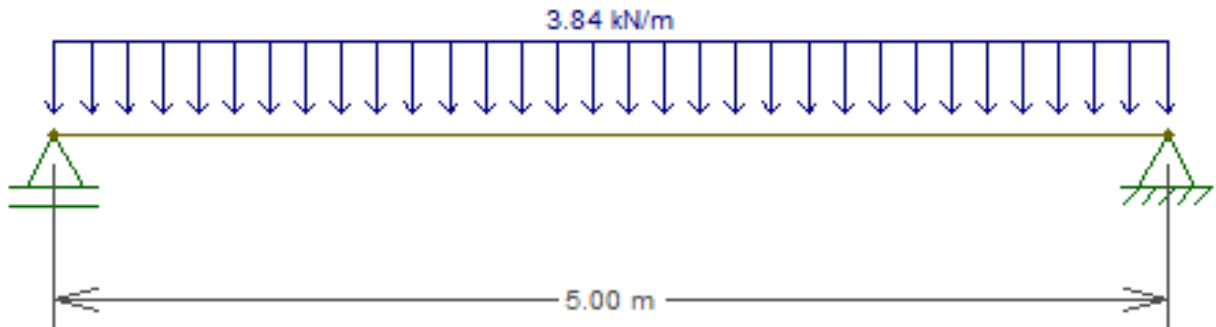
**Figura 15 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool**



Reação de apoio =  $q_{lp} = 15,40$  KN/m.  
Viga biapoiada de 1m de largura e vão de 5 m.

Fonte: Brasil (2014).

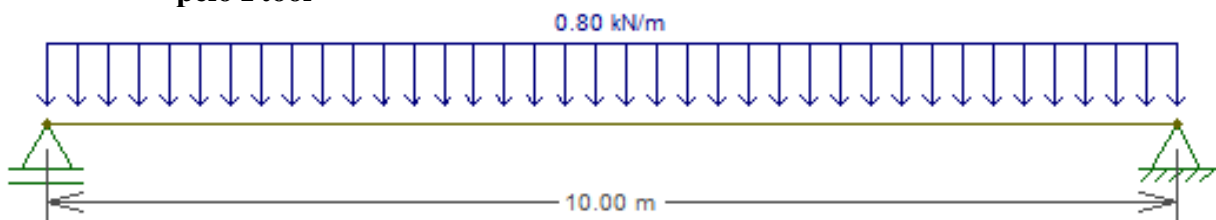
**Figura 16 – Distribuição de carga da laje em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool**



Reação de apoio =  $q_{lf} = 9,60$  KN/m.  
Coberta de madeira com telha cerâmica e todos seus componentes.  
Considerar telhado de duas águas com vão de 10 m.  
A carga estimada é de 80 kgf/m<sup>2</sup>.

Fonte: Brasil (2014).

**Figura 17 – Distribuição de carga da cobertura de madeira em uma viga biapoiada gerada pelo Ftool**



Reação de apoio =  $q_{co} = 4$  KN/m

**Carga total transferida para alvenaria:**

$$q_T = q_{al} + q_{ca} + q_{lp} + q_{lf} + q_{co} = 10,92 + 1,50 + 15,4 + 9,6 + 4$$

$$q_T = 41,42 \text{ KN/m}$$

**Cálculo da tensão crítica de ruptura ( $\sigma_{Crup}$ ):**

$$\sigma_{Crup} = q_T \times L / L \times b = 41420 \times 1,4 / 1,4 \times 0,09$$

$$\sigma_{Crup} = 0,46 \text{ MPa}$$

Fonte: Brasil (2014).



## 5.2 DESCRIÇÃO E PREPARAÇÃO DO ENSAIO

Todo o procedimento, desde a dosagem da argamassa de assentamento, bem como a montagem e ruptura dos painéis, foi realizado no Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba (Labeme/UFPB).

Para iniciar, primeiramente foi decidida a altura e a quantidade dos painéis de alvenaria. Posteriormente foi escolhido o traço da argamassa de assentamento bem como sua utilização em volume, para facilitar a construção dos painéis. Com o traço unitário em volume apresentando: 1 (cimento CII-Z 32):1,5 (cal CHD):4 (areia média)  $a/c = 0,65$ . Essas informações tiveram influência do estudo de Brasil (2014).

A alvenaria foi feita com tijolos de oito furos, sendo dispostos com furos na horizontal. Os três painéis apresentavam 100 x 100 cm cada um. Após a execução dos painéis de alvenaria, que se deu no dia 22/12/2014, esperaram-se 28 dias para a cura da argamassa. Vale salientar que a construção dos painéis foi feita por um pedreiro contratado e sua execução se deu em cima de peças de madeira de tamanhos variados, porém sempre com dimensões suficientes para acomodar a alvenaria. O uso dessas peças teve como principal objetivo facilitar a locomoção das paredes em direção à prensa.

Foi executado um capeamento com uma argamassa 1:3 sobre a superfície da parede com o intuito apenas de regularização. A distribuição dos esforços impostos pela prensa foi uniformizada para o resto da alvenaria por um alicerce posto em cima do capeamento, que no caso foi uma viga metálica. Além disso, uma camada de gesso em pó foi colocada entre essa viga e a alvenaria, com o intuito de obter um melhor acomodamento da estrutura.

Outro ponto importante foi a realização de uma cobertura de cal, que teve como finalidade obter uma maior facilidade na hora de identificar as primeiras trincas no painel e conseguir sugerir suas causas, seja ela ruptura do bloco propriamente dito, argamassa de assentamento ou flambagem local.

A carga imposta foi oriunda de uma prensa hidráulica com capacidade de 75 T, instaladas em um pórtico metálico de altura igual a 2,05 m. O carregamento das paredes só pôde ser medido devido à presença de uma célula de carga com capacidade de 1 MN. Com a parede já colocada embaixo do pórtico, os quatro defletômetros foram posicionados, três deles medindo o encurtamento da parede e um deles o deslocamento lateral.

Todo o ensaio foi acompanhado por um aparato tecnológico com dados gerados em um programa de computador. Todos esses dados puderam ser fornecidos e facilmente manipulados pelo programa da *Microsoft Office Excel 2010*.

### 5.2.1 Ensaio do corpo de prova 1 em 27/01/2015

**Tabela 2 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 1**

Carga (KN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4,7	0,49	0,00	0,10	0,45
11,3	0,93	0,00	0,10	1,05
16,1	1,23	0,00	0,10	1,44
21,5	1,49	0,00	0,17	1,79
25,2	1,63	0,00	0,22	1,95
32,1	1,87	0,00	0,36	2,31
36,5	2,01	0,00	0,44	2,51
40,5	2,12	0,00	0,51	2,68
44,9	2,22	0,00	0,58	2,75
50,1	2,33	0,00	0,65	2,91
54,8	2,43	0,00	0,72	3,08
59,8	2,54	0,00	0,81	3,18
65,4	2,65	0,00	0,93	3,28
69,4	–	0,00	–	–
74,5	–	0,00	–	–
80,5	–	0,00	–	–
85,3	–	0,00	–	–
89,5	–	0,00	–	–
<b>96,7</b>	<b>Carga de ruptura</b>			

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

**Figura 18 – Pannel de alvenaria pronto para realização do ensaio**



Fonte: Elaboração própria (2015).

Na primeira parede a ser rompida observou-se que em torno dos 50 KN de carga já se escutavam estalos. Por volta dos 60 KN surgiram algumas fissuras que ocorreram no sentido horizontal e na última fiada de tijolos. Sugere-se um diagnóstico onde essas fissuras foram oriundas da má qualidade dos tijolos, além de um inadequado assentamento. A parede apresentou um desaprumo inicial de pouco mais de 1 cm, valor que pode ser considerado alto, se considerada a dimensão do pano de alvenaria.

A carga de ruptura foi de 96,7 KN e se deu por esmagamento da última fiada seguindo de uma brusca ruptura da segunda, mantendo quase todo o resto da parede sem apresentar qualquer tipo de fissuração.

Na Figura 19, observa-se a representação da primeira fissura verificada no painel, já na Figura 20 pode-se ver evidências da má qualidade dos tijolos.

**Figura 19 – Primeira fissura verificada**



**Fonte:** Elaboração própria (2015).

**Figura 20 – Má qualidade do tijolo utilizado**

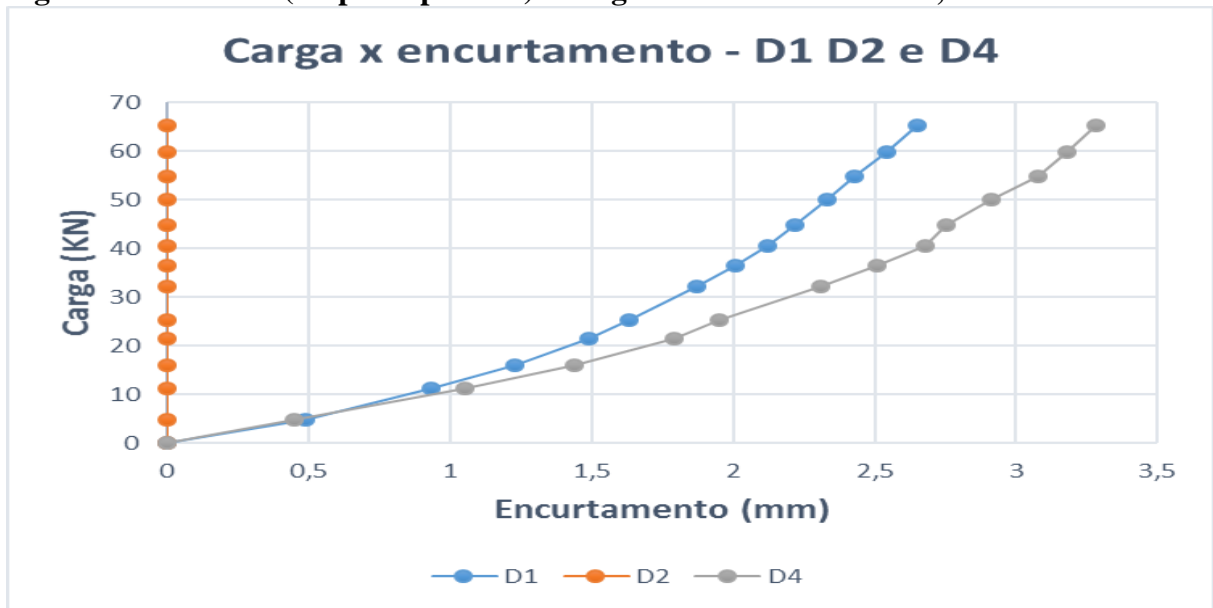


**Fonte:** Elaboração própria (2015).

Patologia recorrente a materiais cerâmicos, o “coração negro” foi identificado na forma de manchas escuras no interior da secção da massa cerâmica mal queimada.

A Figura 21 apresenta o gráfico com curva relacionando carga x encurtamento. Verificou-se má funcionamento no D2 durante esse ensaio, presumido pelo comportamento da curva que relaciona esse defletômetro. Com a divergência de valores entre os encurtamentos D1 e D4, concluiu-se que houve uma heterogeneidade da alvenaria, seja ela devido ao assentamento, à posição no pórtico ou pelos tijolos propriamente ditos. As posições dos defletômetros em todos os testes se dispuseram da mesma maneira. A Figura 22 está representando D1 e D2, e a Figura 23 representando D3 e D4.

**Figura 21 – Gráfico (corpo de prova 1) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4**



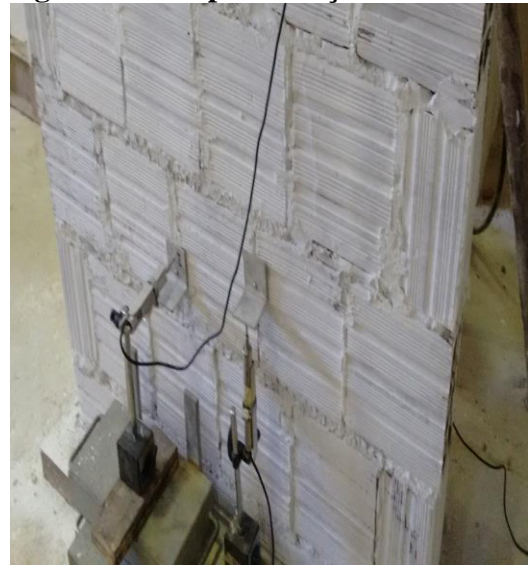
Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 22 – Representação de D1 e D2**



Fonte: Elaboração própria (2015).

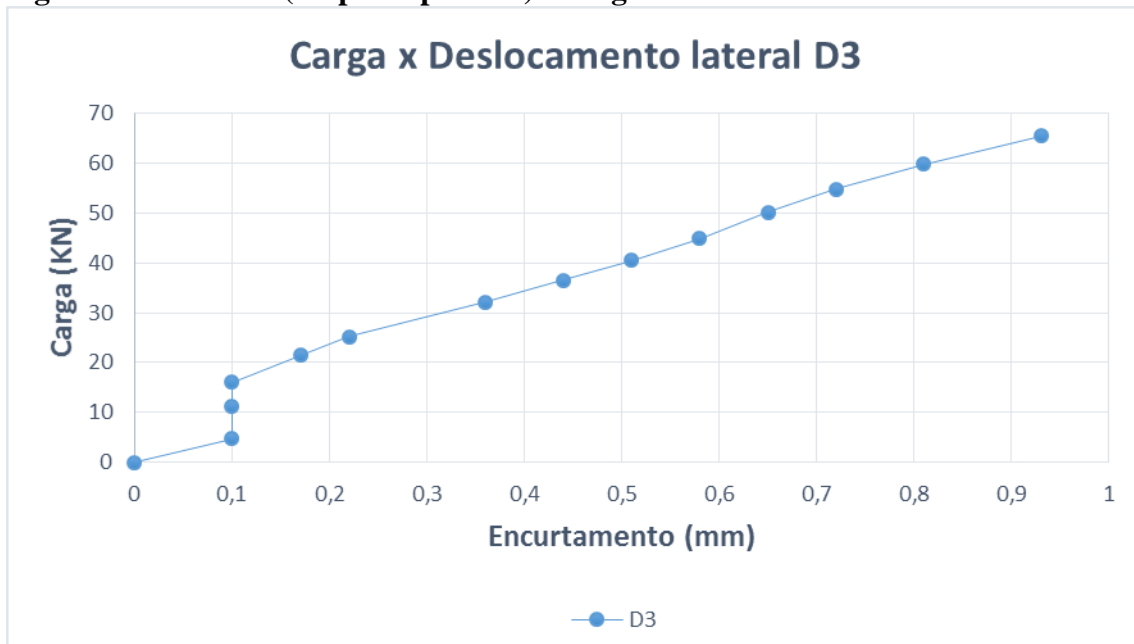
**Figura 23 – Representação de D3 e D4**



Fonte: Elaboração própria (2015).

Outro estudo feito foi relacionar a carga com o deslocamento lateral da parede (Figura 24). Estalos ouvidos podem ser traduzidos pela acomodação do painel sob o carregamento. Em torno de 25 KN percebeu-se um certo equilíbrio.

**Figura 24 – Gráfico (corpo de prova 1) – carga x deslocamento lateral – D3**



Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 1:  $\sigma_{rup} = F_{rup}/A$ .

Onde:  $F_{rup}$  = Carga máxima de ruptura do corpo de prova 1 (kN);  $A$  = Área (m<sup>2</sup>).

Sendo:  $F_{rup} = 96,7$  kN; Área = 0,09 m<sup>2</sup>.

$\sigma_{rup} = 96,7/0,09$ ;  $\sigma_{rup} = 1,07$  MPa.

**Fonte:** Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

### 5.2.2 Ensaio do corpo de prova 2 em 28/02/2015

**Tabela 3 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 2**

Carga (kN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
5,0	0,02	0,34	0,21	0,37
10,0	0,05	1,06	0,33	0,55
14,9	0,09	1,04	0,40	0,60
20,0	0,16	1,10	0,47	0,73
25,2	0,21	1,22	0,50	0,78
29,9	0,25	1,16	0,54	0,82
34,9	0,30	1,28	0,54	0,91
39,7	0,36	1,32	0,54	0,96
45,3	0,43	1,38	0,54	1,02
50,2	0,42	1,42	0,56	1,17
55,0	0,45	1,47	0,62	1,21
59,9	0,49	1,52	0,72	1,29
64,8	0,53	1,59	0,81	1,33
69,7	0,55	1,66	0,90	1,45
76,8	–	–	–	–
79,9	–	–	–	–
85,2	–	–	–	–
90,2	–	–	–	–
95,3	–	–	–	–
<b>97,2</b>	<b>Carga de ruptura</b>			

**Fonte:** Dados da pesquisa (2015).

O segundo ensaio realizado seguiu os mesmos moldes do primeiro. Atingiu uma carga de ruptura de 97,2 KN, valor um pouco superior ao anteriormente atingindo. As primeiras fissuras ocorreram em torno de 60 KN e se deu completamente por esmagamento da primeira fiada, como pode se verificar na Figura 25.

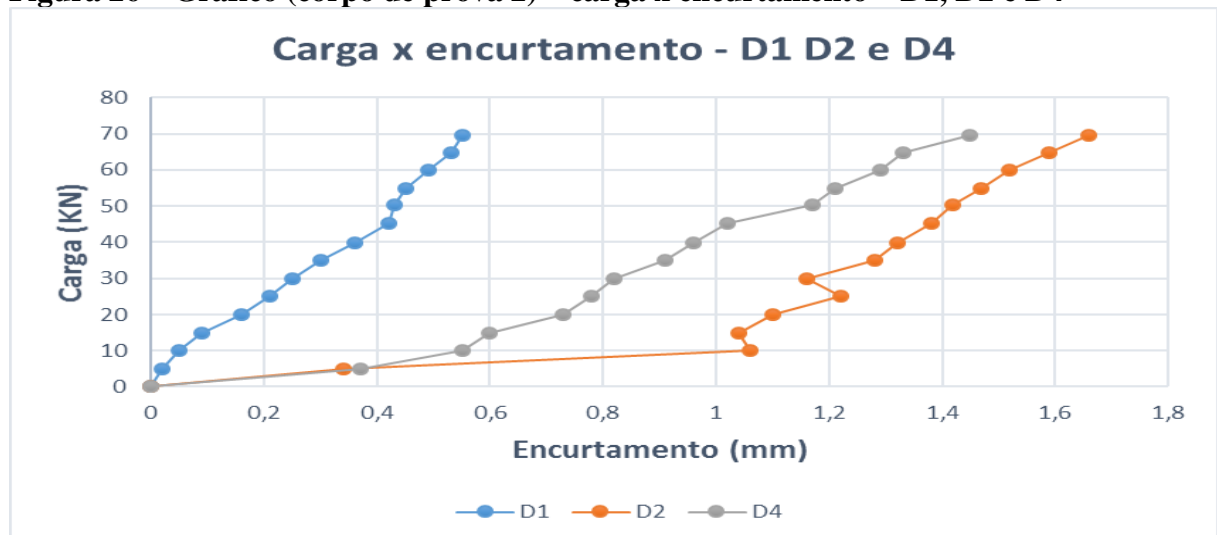
**Figura 25 – Esmagamento completo da última fiada**



Fonte: Elaboração própria (2015).

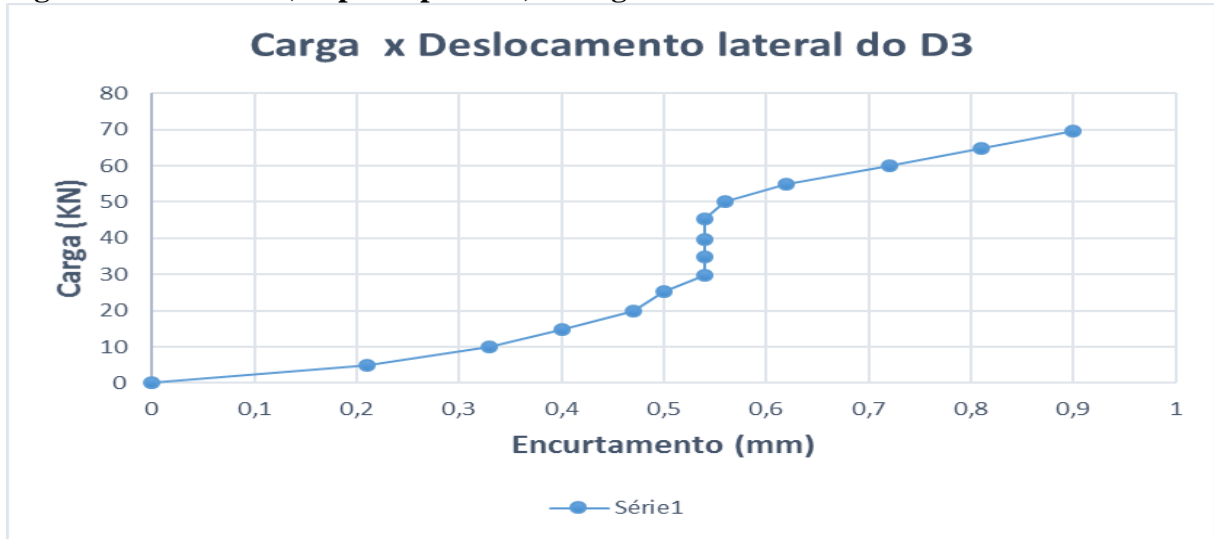
O gráfico apresentado na Figura 26 mostra que a parede se apresentou irregular, já que os defletômetros apresentaram uma divergência de valores relativamente alta. Outro ponto que se manteve foi a má qualidade do tijolo. O desaprumo medido girou em torno de 1,2 cm.

**Figura 26 – Gráfico (corpo de prova 2) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4**



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 27 – Gráfico (corpo de prova 2) – carga x deslocamento lateral – D3**



Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 2:  $\sigma_{rup} = Frup/A$ .

Onde:  $Frup$  = Carga máxima de ruptura do corpo de prova 2 (KN);  $A$  = Área ( $m^2$ ).

Sendo:  $Frup = 97,2$  KN; Área =  $0,09$   $m^2$ .

$\sigma_{rup} = 97,2/0,09$ ;  $\sigma_{rup} = 1,08$  MPa.

**Fonte:** Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

### 5.2.3 Ensaio do corpo de prova 3 em 29/02/2015

O último ensaio realizado teve como característica peculiar uma execução extremamente lenta, com o objetivo de verificar se houve um aumento na carga de ruptura. Assim como as outras paredes rompidas, novamente a típica fissura horizontal na última fiada de tijolos foi verificada. Além dela, também foi possível identificar uma brusca ruptura de um tijolo da primeira fiada.

Outra característica comum a todos os ensaios foi a má qualidade dos tijolos assentados, além do desaprumo inicial em torno de 1,2 cm.

**Figura 28 – Esmagamento completo da primeira fiada e fissuração na última**

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Tabela 4 – Resultados da carga e deslocamento do ensaio no corpo de prova 3**

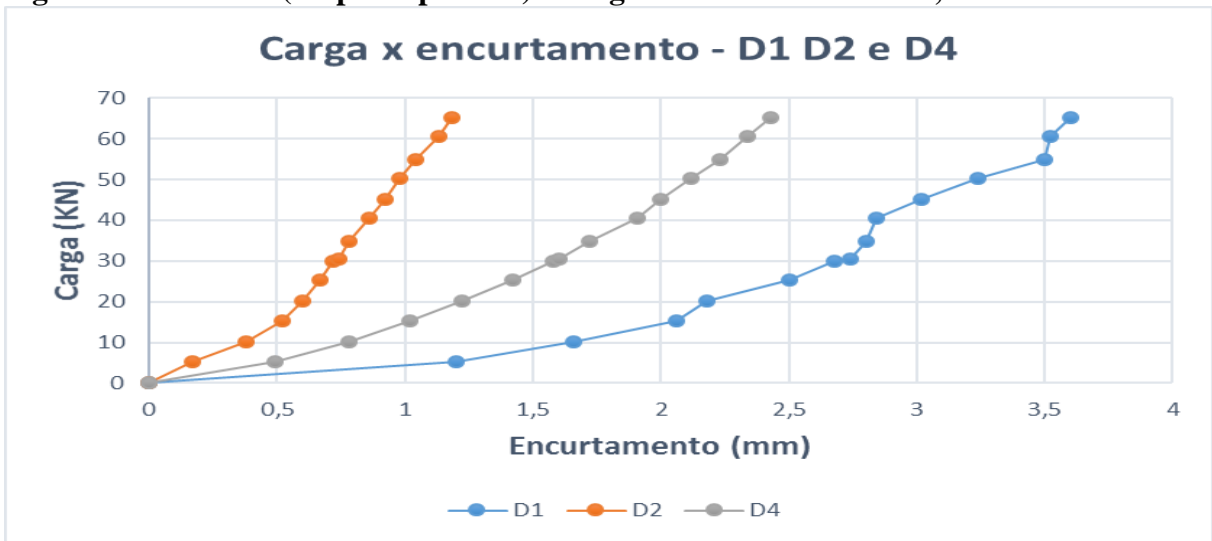
Carga (KN)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
5,2	1,20	0,17	0,11	0,49
10,2	1,66	0,38	0,22	0,78
15,3	2,06	0,52	0,28	1,02
20,3	2,18	0,60	0,39	1,22
25,2	2,50	0,67	0,42	1,42
29,9	2,68	0,72	0,50	1,58
30,5	2,74	0,74	0,51	1,60
34,9	2,80	0,78	0,57	1,72
40,5	2,84	0,86	0,64	1,91
45,1	3,02	0,92	0,73	2,00
50,3	3,24	0,98	0,93	2,12
55,0	3,50	1,04	1,05	2,23
60,7	3,50	1,13	1,12	2,34
65,1	3,50	1,18	1,17	2,43
70,5	–	–	–	–
75,6	–	–	–	–
80,5	–	–	–	–
85,1	–	–	–	–
89,8	–	–	–	–
90,5	–	–	–	–
<b>91,3</b>	<b>Carga de ruptura</b>			

Fonte: Dados da pesquisa (2015).

As curvas no gráfico da Figura 29 mostram uma completa heterogeneidade da parede em questão. Valores completamente discrepantes confirmam a falta de uniformidade da parede. A carga de ruptura foi de 91,3 KN, curiosamente o menor valor obtido comparando-se aos outros dois testes. Esse fato pode ter como influência esse encurtamento extremamente diferente entre os defletômetros.

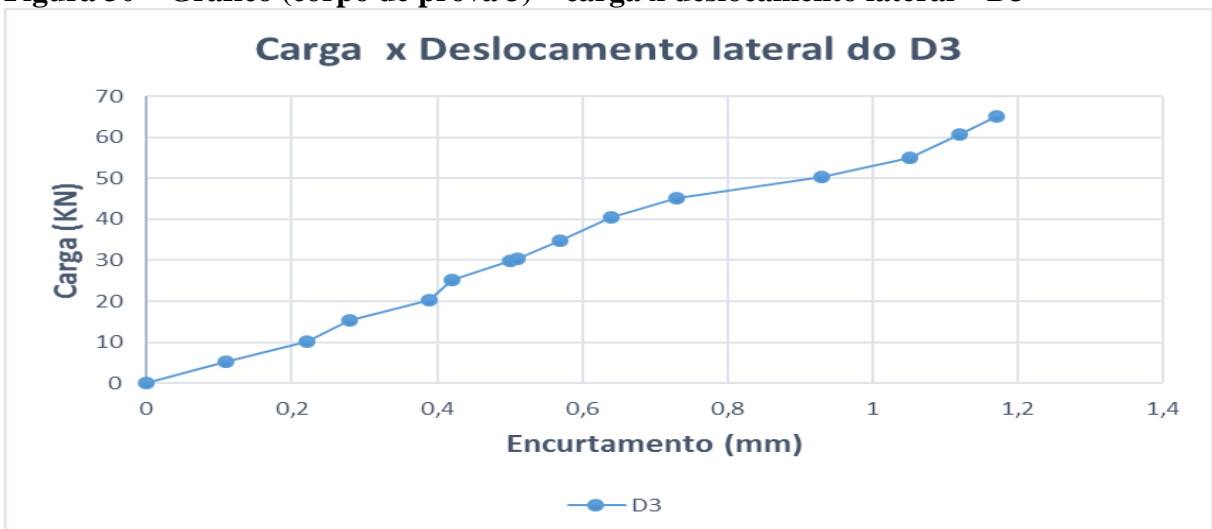


**Figura 29 – Gráfico (corpo de prova 3) – carga x encurtamento – D1, D2 e D4**



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 30 – Gráfico (corpo de prova 3) – carga x deslocamento lateral – D3**



Tensão crítica de ruptura do corpo de prova 1:  $\sigma_{rup} = F_{rup}/A$ .

Onde:  $F_{rup}$  = carga máxima de ruptura do corpo de prova 3 (KN);  $A$  = Área ( $m^2$ ).

Sendo:  $F_{rup} = 96,7$  KN; Área =  $0,09$   $m^2$ .

$\sigma_{rup} = 90,5/0,09$ ;  $\sigma_{rup} = 1,05$  MPa.

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve fundamental importância para comparar o comportamento da alvenaria quanto à sua carga de ruptura à compressão axial, deflexões laterais e encurtamento. Apresentando resultados de  $\sigma_{Crup01} = 1,07$  MPa,  $\sigma_{Crup02} = 1,08$  MPa,  $\sigma_{Crup03} = 1,01$  MPa e  $\sigma_{Med} = 1,05$  Mpa, foi unanimidade que em todos os três ensaios a ruptura da alvenaria se deu por esmagamento da última fiada de tijolos. Pôde-se concluir, principalmente devido à má qualidade dos tijolos, que a carga imposta não era totalmente transferida para a alvenaria como um todo, e se notou que quando a última fiada de tijolos era esmagada, o resto da alvenaria apresentava-se praticamente intacta.

Outro ponto crucial para os resultados foi o má assentamento da parede. Desaprumos iniciais, além da própria heterogeneidade da parede, puderam ser comprovadas nos resultados dos defletômetros.

Fazendo um paralelo com o estudo de Brasil (2014), verificou-se que o valor médio obtido de  $\sigma_{Med} = 1,35$  MPa apresentou certa divergência. Considerando que naquele estudo houve o uso de uma cinta de amarração com o intuito de uniformizar a carga, os resultados se tornaram um pouco mais coerentes. Vale ressaltar que as alturas dos panos de alvenaria eram diferentes, e devido a problemas quanto à qualidade dos tijolos e assentamento, como já dito, ficou inviável uma comparação da resistência com relação à altura.

Mesmo com valores de cargas relativamente pequenos, se comparados com os resultados obtidos analiticamente, ficou provado que a alvenaria de vedação pode ser utilizada com função estrutural se considerada uma residência de até um pavimento superior.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8545**: execução de alvenaria sem função estrutural de tijolos e blocos cerâmicos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 8949**: paredes de alvenaria estrutural: ensaio à compressão simples: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: parte 1: blocos cerâmicos para alvenaria de vedação: terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

ALVES, Nilton César Mendes Correia. **Princípios construtivos para edifícios**: edifícios em betão armado. 58 f. Monografia (Graduação em Engenharia da Construção Civil) – Universidade Jean Piaget de Cabo Verde, Santiago, Cabo Verde, 2008.

ARAÚJO, Josemar; COSTA, Paulo. **Alvenaria estrutural e suas anomalias**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <[http://www.demc.ufmg.br/dalmo/08\\_Alvenaria Estrutural/ALVENARIA ESTRUTURAL E SUAS PATOLOGIAS rev5.ppt](http://www.demc.ufmg.br/dalmo/08_Alvenaria%20Estrutural/ALVENARIA%20ESTRUTURAL%20E%20SUAS%20PATOLOGIAS%20rev5.ppt)>. Acesso em: 20 out.2014.

AZEREDO, Hélio Alves de. **O edifício e sua cobertura**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

BRASIL, Kildeny Rany Mendes. **Análise de resistência da alvenaria de vedação para uso como alvenaria estrutural**. 2014. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

CERÂMICA SALEMA. **Produtos**: alvenaria estrutural. Disponível em: <<http://ceramicasalema.com.br/produtos/alvenaria-estrutural/>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

CHING, Francis D. K.; ADAMS, Cassandra. **Técnicas de construção ilustradas**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

DIAS, F. S.; TOLEDO, R.; ALEXANDRE, J. Avaliação do impacto no custo de edificações devido a blocos cerâmicos não normatizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51., 2007, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: ABC, 2007.

FABRIC CONSTRUÇÕES. **Vedação**. Disponível em: <<http://fabricconstrucoes.com.br/vedacao.php>>. Acesso em: 10 out. 2014.

FARIA, Márcio Santos. Alvenaria estrutural com blocos de concreto. **Comunidade da Construção**, 2011. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/229/anexo/matercomp.pdf>>. Acesso em: 16 dez.2014.

FIORITO, Antonio J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

FRANCO, Luiz Sérgio. **Inovação tecnológica na construção civil**. Salvador, 2012. Disponível em: <[http://www.gerenciamento.ufba.br/Esp\\_disciplina\\_Inovacao\\_Tecnologica.html](http://www.gerenciamento.ufba.br/Esp_disciplina_Inovacao_Tecnologica.html)>. Acesso em: 8 dez. 2014.

FREITAS JÚNIOR, José de Almendra. **Construção civil II: alvenaria estrutural**. Curitiba: UFPR, 2013. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025\\_Alvenaria\\_estrutural\\_A\\_x.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/7/70/TC025_Alvenaria_estrutural_A_x.pdf)>. Acesso em: 4 fev. 2015.

HERCULANO, Marcus Teixeira. **Produtividade em alvenaria de vedação de blocos cerâmicos: análise comparativa**. 2010. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISA TÉCNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Parede de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT, 2009.

LANNA, Carlos André Fois. **Alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos**. Rio de Janeiro: Anicer, 2010. Disponível em: <[http://www.wp.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Palestra\\_Anicer-1.pdf](http://www.wp.feb.unesp.br/pbastos/alv.estrutural/Palestra_Anicer-1.pdf)>. Acesso em: 1 nov. 2014.

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: Pini, 2007.

MARINOSKI, Deivis. **Alvenarias: conceitos, alvenaria de vedação, processo executivo**. (Slides Aula 2). Florianópolis, 2011. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula 2- Alvenarias\\_introducao+vedacao.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula%20-%20Alvenarias_introducao+vedacao.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2014.

MILITO, Jose Antônio. **Técnicas de construção civil**. Sorocaba, 2009. Disponível em: <<http://demilito.com.br/apostila.html>>. Acesso em: 25 out. 2014.

MORAES, Mayara. Argamassas de revestimento e assentamento. Disponível em: <<http://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-civil-ii-1/argamassas-de-revestimento-material-auxiliar>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

MORAIS, Dirceu Medeiros de; SPOSTO, Rosa Maria. Propriedades tecnológicas e mineralógicas das argilas e suas influências na qualidade de blocos cerâmicos de vedação que abastecem o mercado do Distrito Federal. **Cerâmica Industrial**, v. 11, n. 5-6, p. 35-38, set./dez. 2006.

OLIENICK, Eduardo. **Materiais refratários**. Curitiba: LaMaTS/UFPR, 2010. Disponível em: <[http://demec.ufpr.br/pesquisas/superficie/material%20didatico/tm815\\_Materiais\\_alta\\_temperatura/2010/Materiais\\_Refratarios\\_Eduardo.pdf](http://demec.ufpr.br/pesquisas/superficie/material%20didatico/tm815_Materiais_alta_temperatura/2010/Materiais_Refratarios_Eduardo.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2014.

PFEFFERMANN, O.; BATY, P. La maçonnerie armée. **CSTC Revue**, Bruxelles, n. 1, mar. 1978.

RAMALHO, Márcio Antonio; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAZENTE, Júlio Antônio; RAMALHO, Marcio Antonio. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. São Carlos, v. 10, n. 47, p. 1-15, 2008. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova\\_versao/pdf/cee47.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee47.pdf)>. Acesso em: 01 nov. 2014.

RIZZATI, E. **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão**. 2003. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROMAN, Humberto; PARIZOTTO FILHO, Sérgio. **Manual de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABGP8AF/manual-alvenaria-estrutural>>. Acesso em: 20. out. 2014.

SAHLIN, Sven. **Structural masonry**. New Jersey: Prentice Hall, 1971.

SANTOS, Ivana Suelly Soares dos; STUMM, Paulo. **Blocos cerâmicos**. Disponível em: <<http://www.anicer.com.br/manuais/bloco.rtf>>. Acesso em: 1 nov. 2014.

SILVA, Angelo Just da Costa e. **Alvenaria**. Recife: UFPE, 2004. Disponível em: <[http://www.tecomat.com.br/angelo/arquivos/alvenaria\\_apostila.pdf](http://www.tecomat.com.br/angelo/arquivos/alvenaria_apostila.pdf)>. Acesso em: 15 dez.2014.

SOLÓRZANO, Marcelo Giovanni Palacios; SABBATINI, Fernando Henrique. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutura de blocos de concreto**. São Paulo: Epusp, 1995. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/141).

SOUZA, Ubiraci E. Lemes de. **Como aumentar a eficiência da mão de obra**. São Paulo: Pini, 2006.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini: IPT: Epusp, 2014.

\_\_\_\_\_; MITIDIÉRI FILHO, Cláudio Vicente; CLETO, Fabiana da Rocha; CARDOSO, Francisco Ferreira. **Código de práticas nº 1: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos**. São Paulo: IPT, 2009.

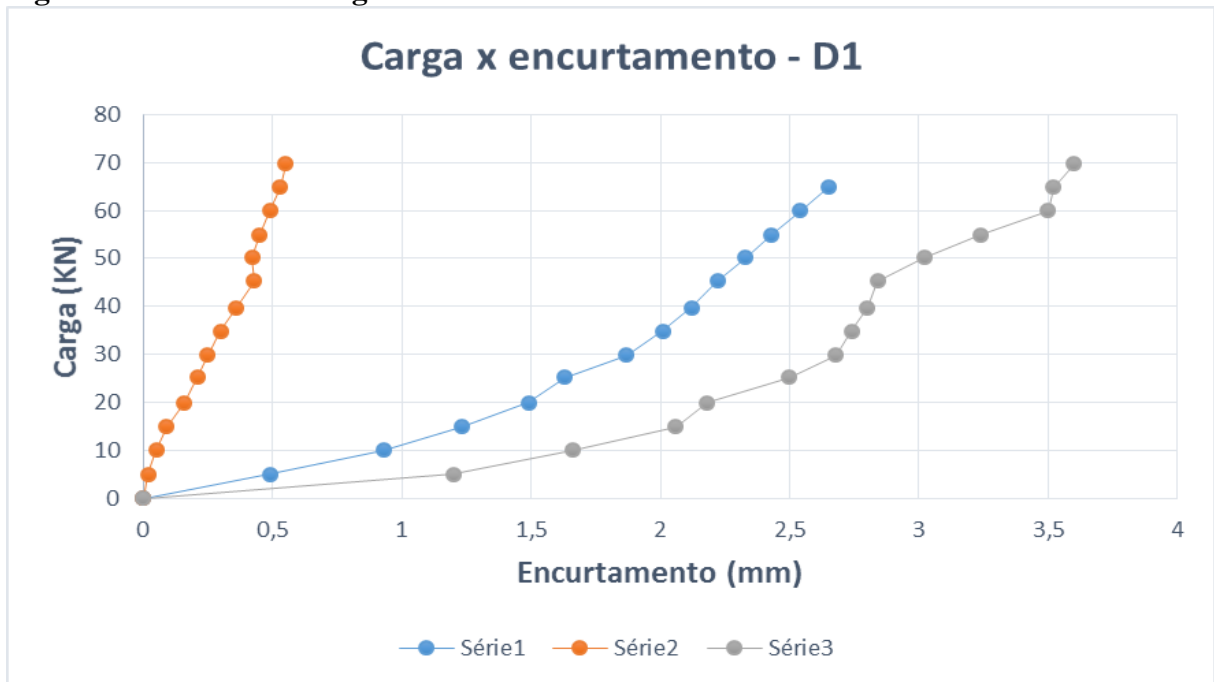
WERLE, Aldo. Patologia em alvenaria estrutural: fissuração. **Blog Aldo Werle**, 1 ago. 2012. Disponível em: <<http://aldowerle.blogspot.com.br/2012/08/patologia-em-alvenaria-estrutural.html>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. 10. ed. São Paulo: Pini: SindusCon, 2009.

## APÊNDICE A – Comparação dos defletômetros entre si

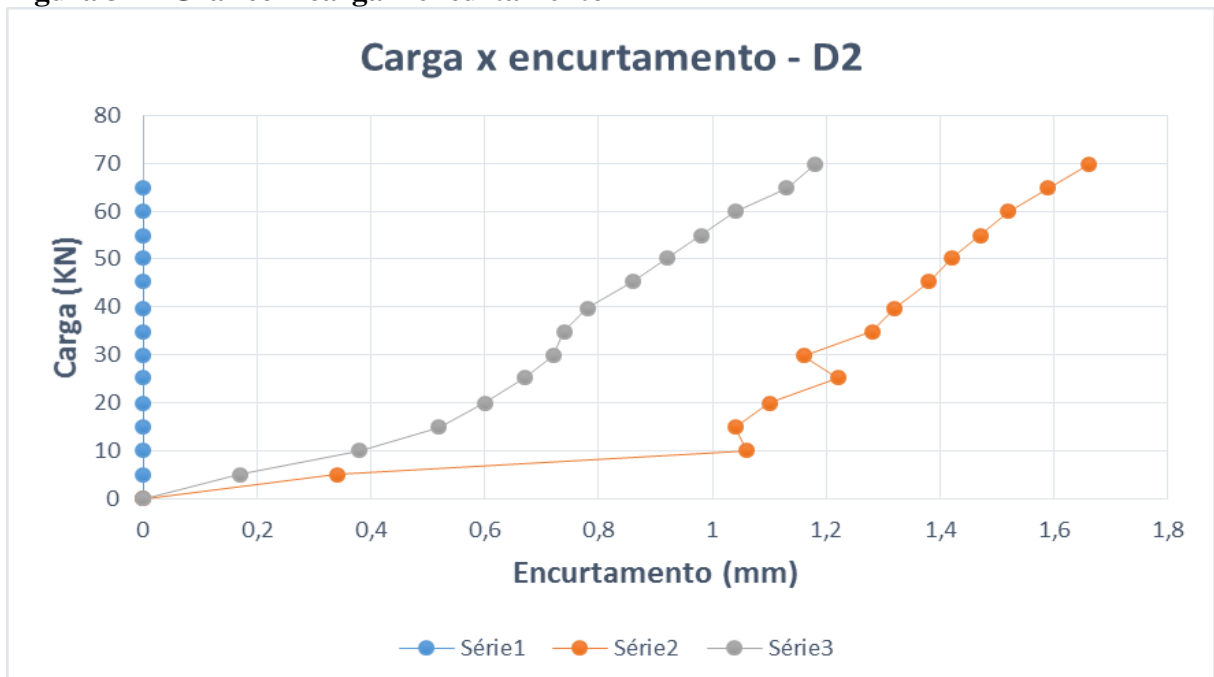
A análise dos defletômetros comparados entre si servirão para uma possível análise futura. A série 1 implica o defletômetro do painel 1, a série 2 do painel 2 e a série 3 do painel 3.

**Figura 31 – Gráfico – carga x encurtamento – D1**



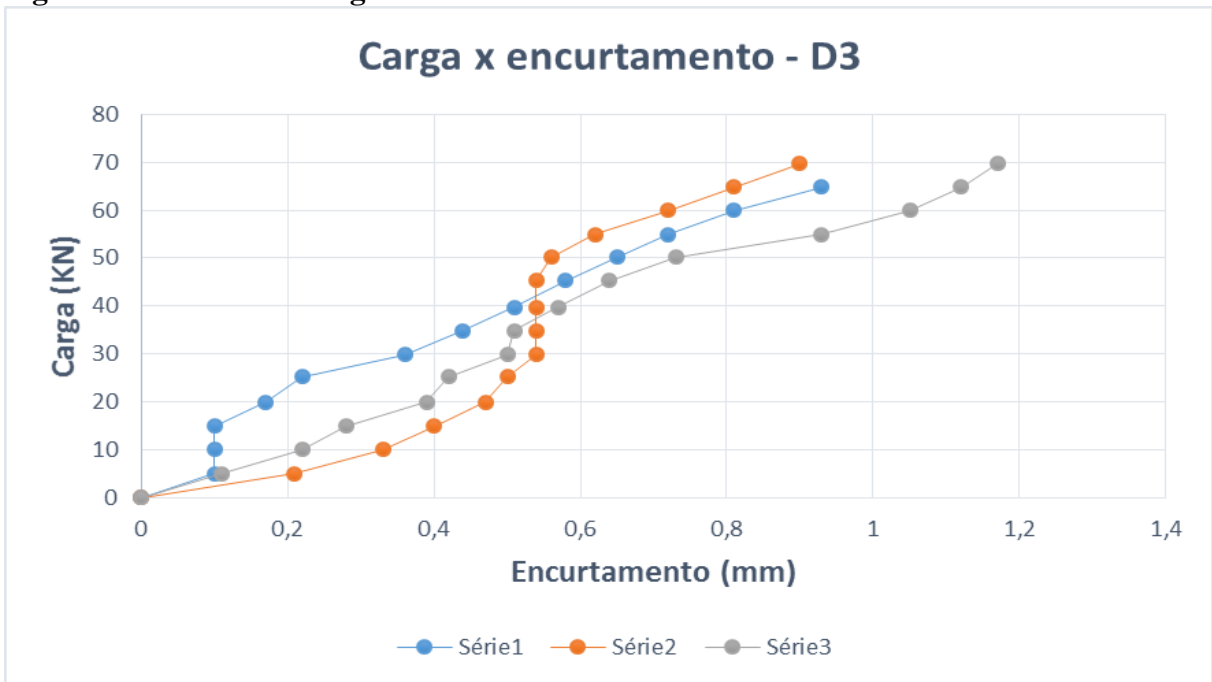
Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 32 – Gráfico – carga x encurtamento – D2**



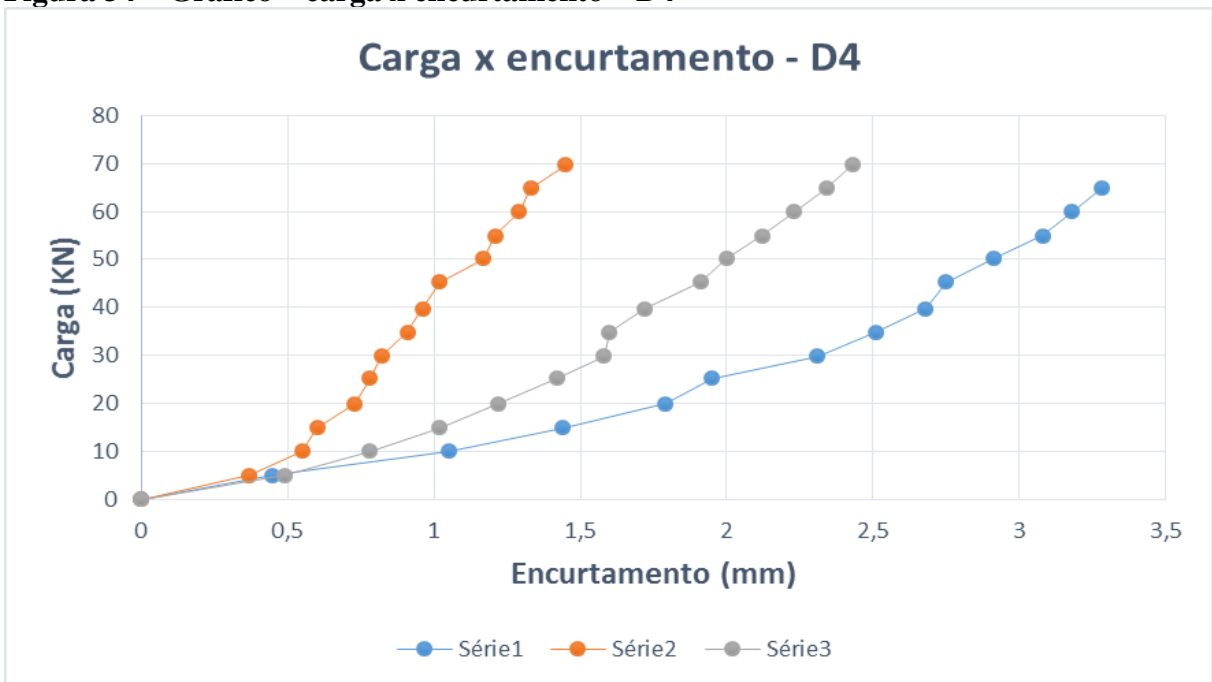
Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 33 – Gráfico – carga x encurtamento – D3**



**Fonte:** Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

**Figura 34 – Gráfico – carga x encurtamento – D4**



**Fonte:** Elaboração própria, com base nos dados da pesquisa (2015).

## ANEXO A – Dimensionamento de laje treliçada

**Tabela 5 – Dimensionamento de laje treliçada**

Laje treliçada unidirecional (sobrecarga x vão livre x reação nos apoios) – apoio simples									
Especificação da laje	Bloco cerâmico								
	LT 11 (7 + 4) = $\beta$			LT 16 (11 + 5) = $\beta$			LT 20 (15 + 5) = $\beta$		
$\beta$ – altura	11,00 cm			16,00 cm			20,00 cm		
Capa	4,00 cm			5,00 cm			5,00 cm		
Consumo	51,00 t/m <sup>2</sup>			76,00 t/m <sup>2</sup>			87,00 t/m <sup>2</sup>		
Peso	180,00 kgf/m <sup>2</sup>			262,16 kgf/m <sup>2</sup>			308,00 kgf/m <sup>2</sup>		
Intereixo	48 cm			48 cm			48 cm		
Sobrecarga (kgf/m <sup>2</sup> )	100,00	300,00	500,00	100,00	300,00	500,00	100,00	300,00	500,00
Vãos (m)	Cargas nos apoios (kg/m)								
2,00	280,01	480,01	680,01	362,16	562,16	762,16	408,00	608,00	808,00
2,50	350,01	600,01	850,10	451,70	702,70	952,70	510,00	760,00	1010,00
3,00	420,02	720,02	1020,02	543,24	843,24	1143,24	612,00	912,00	1212,00
3,50	490,02	840,02	1190,02	633,78	983,78	1333,78	714,00	1064,00	1414,00
4,00	560,02	960,02	1360,02	724,32	1124,32	1524,32	816,00	1216,00	1616,00
4,50	630,02	1080,02	–	814,86	1264,86	1714,86	918,00	1368,00	1818,00
5,00	700,03	–	–	905,40	1405,40	1905,40	1020,00	1520,00	2020,00
5,50	–	–	–	995,94	1545,94	–	1122,00	1672,00	2222,00
6,00	–	–	–	1086,48	–	–	1224,00	1824,00	–
6,50	–	–	–	–	–	–	1326,00	–	–

**Fonte:** Botelho e Marchetti (2013 *apud* BRASIL, 2014).