

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANGELICA GARCIA SOUZA
PRISCILA PEREIRA NUNES**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS DE
CONCRETO COM VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS JUNTAS
DE ARGAMASSA**

**ANÁPOLIS / GO
2015**

**ANGELICA GARCIA SOUZA
PRISCILA PEREIRA NUNES**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS DE
CONCRETO COM VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS JUNTAS
DE ARGAMASSA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: PROFESSOR DOUTOR MARCUS VINICIUS
SILVA CAVALCANTI**

**ANÁPOLIS / GO
2015**

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, ANGELICA GARCIA; NUNES, PRISCILA PEREIRA;

Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa.

68 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| 1. Bloco de concreto | 2. Resistência à Compressão |
| 3. Alvenaria | 4. Construção |
| I. ENC/UNI | II. Título (Série) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, A. G.; NUNES, P. P. Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa em alvenaria estrutural. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 68 p. 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Angelica Garcia Souza, Priscila Pereira Nunes

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2015

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Angelica Garcia Souza
E-mail: angelicaggsouza@gmail.com

Priscila Pereira Nunes
E-mail: priscilap_n@hotmail.com

**ANGELICA GARCIA SOUZA
PRISCILA PEREIRA NUNES**

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE PRISMAS DE BLOCOS DE
CONCRETO COM VARIAÇÃO DA ESPESSURA DAS JUNTAS
DE ARGAMASSA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**MARCUS VINICIUS SILVA CAVALCANTI, Doutor, (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)**

**JULLIANA SIMAS RIBEIRO, Mestra, (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADORA INTERNA)**

**ELIVANETE ALVEZ DE JESUS, Doutora (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADORA INTERNA)**

DATA: ANÁPOLIS/GO, 26 de NOVEMBRO de 2015.

A Deus, por ser essencial em nossa vida: autor do nosso destino, nosso guia e socorro presente na hora da angústia.

Aos nossos pais e irmãs pelo incentivo e paciência.

A nossa família por todo apoio e dedicação.

Aos amigos pelo incentivo e motivação.

Aos professores pelo conhecimento transmitido.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve sempre conosco, fortalecendo nossa fé e renovando nossa vida para a busca dessa conquista, e a Nossa Senhora, nossa mãe, por nos ouvir e ser nossa intercessora junto ao Pai.

Aos nossos pais, que em todos os momentos nos passavam forças para continuar no caminho que escolhemos. As nossas irmãs, pelas mais sábias palavras de motivação e superação, pela confiança nas decisões mais importantes dessa caminhada.

A todos os amigos, pelo apoio, pelo companheirismo, pelos aprendizados, pela confiança, e acima de tudo, pela verdadeira amizade. Vocês contribuíram grandemente, incentivando-nos na formação de Engenheiras Civis.

Ao nosso orientador, professor Dr. Marcus Vinicius, pela dedicação e total apoio para a realização deste trabalho.

A Universidade Estadual de Goiás – UEG, pela disponibilidade do laboratório para nosso experimento, e especialmente ao técnico Agnaldo e seus estagiários, por nos ajudarem diariamente na conclusão da nossa pesquisa.

A empresa Vibracon pela doação dos blocos para a execução dos ensaios.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UniEVANGÉLICA pela contribuição a nossa formação acadêmica.

A todos, o nosso muito obrigada!

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo largamente utilizado em vários países, que possibilita a utilização das paredes como elementos portantes. O presente trabalho, analisou o comportamento do conjunto bloco-argamassa na indução de ruptura da alvenaria, a partir do conhecimento dos materiais e dos seus componentes. Considerando o comportamento de prismas com três blocos de concreto, com diferentes espessuras das juntas da argamassa de assentamento, avaliando a influência na resistência à compressão de prismas de blocos de concreto. Foram utilizados para a realização desta pesquisa 30 prismas de blocos de concreto, assentados com 4 espessuras de argamassa diferentes: 10, 15, 20 e 25 mm. Os prismas foram submetidos ao ensaio à compressão a fim de entender a influência da variação da junta de assentamento na resistência final dos mesmos. Este estudo foi realizado com a intenção de auxiliar o desenvolvimento do método construtivo através de um melhor entendimento comportamental da alvenaria estrutural. Os estudos demonstram que a junta de assentamento tem influência direta na resistência dos prismas, comprovando a necessidade de um maior número de pesquisas na área para aperfeiçoar a utilização deste sistema construtivo.

Palavras-chave: Alvenaria Estrutural; Juntas de Assentamento; Prismas; Resistência à Compressão.

ABSTRACT

The masonry construction system is widely used in various countries, which enables the use of the walls as bearing elements. This paper examined the block-mortar set behavior in masonry break induction, from the knowledge of materials and components. Considering the behavior of prisms with three concrete blocks with different thicknesses of the mortar joints of evaluating the influence on the compressive strength of concrete blocks prisms. Were used for this research 30 prisms of concrete blocks, mortar seated with 4 different thicknesses: 10, 15, 20 and 25 mm. The prisms were subjected to testing to compression in order to understand the influence of variation of the settlement joint on the final strength thereof. This study was designed to aid the development of the construction method by better understanding of behavioral masonry. Studies show that the laying joint has a direct influence on the prisms resistance, proving the need for more research in the area to improve the use of this construction system.

Keywords: Structural Masonry; Settlement joints; Prisms; Compressive Strength.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Grande Pirâmide de Gizé	16
Figura 2 – Parthenon na Grécia.....	17
Figura 3 – Coliseu em Roma.....	17
Figura 4 – Monadnock Building, Chicago.....	18
Figura 5 – Estado de tensões considerado no modelo de Hamid e Drysdale	23
Figura 6 – Gráfico da resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas.....	30
Figura 7 – Distribuição das tensões na interface bloco-argamassa	31
Figura 8 – Tipos de ruptura obtido em ensaios de prismas de blocos de concreto verificado por Khalaf <i>apud</i> Mohamad (1998).....	32
Figura 9 – Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, constituída com blocos vazados	33
Figura 10 – Aferição das medidas dos blocos de concreto com paquímetro	38
Figura 11 – Capeamento dos blocos com gesso	39
Figura 12 – Regularização com a folha de cortiça	39
Figura 13 – Materiais utilizados na fabricação da argamassa.....	40
Figura 14 – Montagem dos corpos de prova.....	40
Figura 15 – 12 corpos de prova para ensaio.....	41
Figura 16 – Corpo de prova na prensa para ensaio.....	41
Figura 17 – Gabaritos para montagem dos prismas.....	42
Figura 18 – Bloco umedecidos com água.....	43
Figura 19 – Assentamento dos prismas.....	43
Figura 20 – Quebra do capeamento de gesso.....	44
Figura 21 – Bloco com capeamento retirado.....	44
Figura 22 – Todos os prismas utilizados no ensaio.....	45
Figura 23 – Prisma envolto em plástico para proteção.....	45
Figura 24 – Utilização da folha de cortiça e chapa de aço no rompimento.....	46
Figura 25 – Ruptura do Bloco, fissura longitudinal.....	48
Figura 26 – Ruptura do Bloco, fissura vertical na face frontal.....	48
Figura 27 – Ruptura do prisma, fissura vertical.....	54
Figura 28 – Ruptura do prisma, fissura vertical frontal.....	55

Figura 29 – Ruptura do prisma, fissura vertical e longitudinal no bloco.....	55
Figura 30 – Gráfico comparativo entre os valores de Oliveira (2014) e o presente trabalho.....	61
Figura 31 – Gráfico comparativo entre os valores de Oliveira (2014) e a hipótese do presente trabalho.....	64

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 – Comparação entre espessuras de 15mm e 20mm.....	26
Tabela 2 – Propriedades mecânicas das argamassas obtidas do estudo de Khalaf e Fairbain.....	29
Tabela 3 – Influência da espessura da junta na resistência do prisma	34
Tabela 4 – Resultados obtidos do estudo de Cheema e Klingner	35
Tabela 5 – Tolerâncias máximas de fabricação de blocos de concreto	38
Tabela 6 – Área líquida dos blocos	47
Tabela 7 – Resultado da carga de ruptura e tensão dos blocos ensaiados	47
Tabela 8 – Resistência a compressão da argamassa.....	49
Tabela 9 – Características dimensionais dos prismas com junta de 10 mm.....	50
Tabela 10 – Características dimensionais dos prismas com junta de 15 mm.....	50
Tabela 11 – Características dimensionais dos prismas com junta de 20 mm.....	51
Tabela 12 – Características dimensionais dos prismas com junta de 25 mm.....	51
Tabela 13 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 10mm.....	52
Tabela 14 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 15 mm.....	52
Tabela 15 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 20 mm.....	53
Tabela 16 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 25 mm.....	53
Tabela 17 – Comparação entre as juntas de 10mm e 15mm	56
Tabela 18 – Comparação entre as juntas de 10mm e 20mm	57
Tabela 19 – Comparação entre as juntas de 10mm e 25mm.....	57
Tabela 20 – Comparação entre as juntas de 15mm e 20mm.....	58
Tabela 21 – Comparação entre as juntas de 15mm e 25mm.....	58
Tabela 22 – Comparação entre as juntas de 20 mm e 25 mm.....	59
Tabela 23 – Comparações entre as cargas de ruptura médias 1.....	59
Tabela 24 – Comparações entre os valores característicos 1.....	59
Tabela 25 – Comparação entre tensões médias do ensaio de OLIVEIRA (2014)	60
Tabela 26 – Tabela 26 – Comparação entre a junta de 10 mm e 15 mm no cenário hipotético.....	62
Tabela 27 – Comparação entre as juntas de 10mm e 20mm no cenário hipotético	62

Tabela 28 – Comparação entre as juntas de 10mm e 25mm no cenário hipotético	62
Tabela 29 – Comparações entre as cargas de ruptura médias 1 no cenário hipotético.....	63
Tabela 30 – Comparações entre os valores característicos 1 no cenário hipotético	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Cm	Centímetro, unidade de medida linear;
cm ²	Centímetro quadrado, unidade de medida de área;
cm ³	Centímetro cúbico, unidade de medida de volume;
E _a	Módulo de elasticidade da argamassa;
E _b	Módulo de elasticidade do bloco;
E _{tg}	Módulo de elasticidade tangente;
E _{sec}	Módulo de elasticidade secante;
f _a	Coefficiente de fluência do bloco;
f _{arg}	Resistência à compressão da argamassa;
f _b	Coefficiente de fluência;
f _{bk}	Resistência à compressão característica dos blocos;
f _{bm}	Resistência média dos blocos;
f _{prisma}	Resistência à compressão do prisma;
f _k	Resistência característica a compressão da alvenaria;
K	Coefficiente de Fluência;
Kg	Kilo, unidade de medida de peso;
kg/m ²	Quilograma por metro quadrado, unidade de medida de tensão;
L	Litros;
M	Metro, unidade de medida linear;
mm	Milímetro, unidade de medida linear;
m ²	Metro quadrado, unidade de medida de área;
mm ²	Milímetro quadrado, unidade de medida de área;
mm ³	Milímetro ao cubo, unidade de medida de volume;
Mpa	Megapascal, unidade de medida de tensão;
N	Newton, unidade de medida de força;
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado, unidade de medida de tensão;
Sd	Desvio padrão;
T	Tonelada;
ν	Coefficiente de Poisson.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CP	Cimento Portland
CP II-Z-32	Cimento Portland Composto com Pozolana
EUA	Estados Unidos da América
GO	Goiás
NBR	Norma Brasileira
UEG	Universidade Estadual de Goiás

SUMÁRIO

Capítulo	Página
1. INTRODUÇÃO	16
1.1. HISTÓRICO	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	19
1.3 OBJETIVOS.....	19
1.3.1 Objetivo Geral	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
1.4 METODOLOGIA	20
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 INTRODUÇÃO.....	21
2.2 PRINCIPAIS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	22
2.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS COMPONENTES.....	27
2.3.1 Características dos blocos de concreto.....	27
2.3.2 Características da argamassa.....	27
2.3.3 Características da alvenaria.....	29
2.3. 4 Ruptura em alvenaria.....	31
2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO.....	33
2.4.1 Resistência do bloco	33
2.4.2 Espessura da junta de argamassa.....	34
2.4.3 Proporção entre o módulo de elasticidade da argamassa e do bloco.....	35
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL	37
3.1 INTRODUÇÃO	37
3.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS	37
3.2.1 Blocos de concreto	37
3.2.2 Argamassa de assentamento	39
3.3 MOLDAGEM E ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS PRISMAS	42
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	47
4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS	47

4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA	49
4.3 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS.....	49
4.3.1 – Características dimensionais dos prismas.....	49
4.3.2 – Características mecânicas dos prismas.....	51
4.4 – COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS.....	56
5. CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 HISTÓRICO

Sistema construtivo tradicional, a alvenaria estrutural tem sua origem na história antiga, onde um dos primeiros procedimentos no assentamento da alvenaria era o empilhamento de pedras, que não possuíam muita estabilidade. Percebendo isso, o homem viu a necessidade de algo que unisse uma pedra a outra, nascendo à ideia da argamassa (ARAÚJO NETO, 2006).

No decorrer dos séculos importantes obras foram realizadas em alvenaria estrutural, entre elas, As Pirâmides de Gizé, estruturas monumentais construídas em pedra que sobrevivem até hoje. A maior delas, com 160 m de altura, é chamada Grande Pirâmide (Figura 1), e foi construída cerca de 2550 a.C.

Figura 1 - Grande Pirâmide de Gizé



Fonte: <revistagalileu.globo.com/revista/galileu2>.
Acesso em: 26 de maio, 2015.

O Parthenon (Figura 2), construído entre 480 a.C. e 323 a.C. na Grécia. Foi erguido sobre fundações de alvenaria de calcáreo, que resistiram por mais de 20 séculos. Suas colunas possuem 10,43 m de altura, 1,90m de diâmetro na base e 1,45m na extremidade superior.

Figura 2 - Parthenon, Grécia



Fonte: <<http://www.infoescola.com/grecia-antiga/partenon>>
Acesso em: 26 de maio, 2015.

Figura 3 – Coliseu, Roma



Fonte: <<http://www.sohistoria.com.br/ef2/roma/p7.php>>
Acesso em: 26 de maio, 2015.

Com 48,5 metros de altura, o mais famoso símbolo do Império Romano, o Coliseu, 82 d.C. (figura 3), foi construído com mais de 100 mil metros cúbicos de mármore, além de tijolos, e concreto.

Outro exemplo (Figura 4), o edifício Monadnock em Chicago (1889 – 1891), que se tornou um símbolo da moderna alvenaria estrutural, mesmo com suas paredes da base de 1,80m (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Figura 4 - Monadnock Building

Fonte: <<http://www.panoramio.com/photo/50760662>>.
Acesso em: 26 de maio, 2015.

Até o começo do século XX, a alvenaria era predominante como material estrutural. Entretanto, os cálculos eram feitos baseados na prática e observação, não se tinham conhecimento teórico. Assim, as estruturas eram superdimensionadas para garantia de segurança (ARAÚJO NETO, 2006). Segundo Silva (2004), caso este edifício (Figura 4) fosse calculado com as tecnologias atuais, empregando os mesmos materiais, as paredes resistentes do térreo teriam 30 cm de espessura.

No fim do século XIX, com a chegada do concreto armado, têm-se uma nova maneira de construir: as dimensões da construção aumentam, assim como os vãos e há uma considerável diminuição da espessura da parede. A partir daí, a alvenaria passa a ser usada como elemento de vedação.

Só a partir de 1950, na Europa e nos Estados Unidos, foram surgindo normas e códigos de obras com processos de cálculo conduzindo um crescimento marcante da alvenaria estrutural em todo mundo (TAVARES, 2011).

O processo construtivo de alvenaria estrutural, por mais que tenha demorado a se firmar, está ganhando espaço como opção eficaz e econômica para a execução de edifícios residenciais e comerciais.

Nesse estudo, apresenta-se a resistência de blocos de concreto com função estrutural e a influência da espessura da junta de argamassa na resistência dos prismas. Espera-se perceber qual é a influência que o tamanho da espessura da junta exerce na resistência global do prisma, uma vez que estudos indicam que existe uma espessura ótima que aumenta o desempenho da função estrutural desse tipo de alvenaria.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante do exposto, justifica-se a realização desse trabalho para verificar os resultados encontrados em estudo anterior (OLIVEIRA, 2014; BANDEIRA, 2014), uma vez que no trabalho de Oliveira (2014) e Bandeira (2014), os blocos continham dano inicial. Além disso, confirmar a existência de um valor de espessura da junta que aperfeiçoe o desempenho estrutural da alvenaria.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho consiste em fazer uma análise da influência da espessura da junta na resistência dos blocos de concreto para alvenaria estrutural. De modo a obter quais são as espessuras mais adequadas a determinado tipo de bloco e traço de argamassa.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) obter a resistência à compressão dos primas com juntas de assentamento de 10, 15, 20 e 25mm.
- b) determinar a resistência à compressão dos blocos e da argamassa utilizada.
- c) relacionar os resultados e analisar a influência da variação das juntas na resistência a compressão dos prismas.
- d) comparar os resultados obtidos ao resultados de OLIVEIRA, 2014.

1.4 METODOLOGIA

Os ensaios foram realizados segundo as normas regulamentadoras NBR 15961-1 (ABNT, 2011), NBR 15961-2 (ABNT, 2011), NBR 6136 (ABNT, 2013) e NBR 12118 (ABNT, 2013).

Foram feitos ensaios em blocos isolados e em prismas com três blocos cada. Afim de se obter melhores resultados, as faces dos blocos e prismas foram regularizados com gesso. Foram rompidos dez blocos isolados e trinta prismas, distribuídos em quatro valores de espessura de junta diferentes. A argamassa utilizada teve traço de 1: 0,4: 5,72 (cimento: cal: areia) em peso com espessuras de 10 mm, 15 mm, 20 mm e 25mm. .

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1, há uma breve introdução sobre a alvenaria estrutural e seu histórico em um contexto geral, descrevem-se a justificativa, objetivos da pesquisa e a metodologia adotada.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão bibliográfica, detalhando as propriedades mecânicas dos materiais, seus componentes e elementos. Apresentam-se ainda alguns fatores que influenciam na resistência dos prismas, apontando alguns modelos de comportamento, e suas considerações.

No Capítulo 3 é apresentado o programa experimental, descrevendo os procedimentos de ensaio realizados nesse trabalho.

No Capítulo 4 são descritos os resultados obtidos nos ensaios e a análise comparativa em relação aos mesmos.

O Capítulo 5 são feitas as considerações finais da pesquisa, conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

A alvenaria é um sistema construtivo onde são utilizadas peças industrializadas de dimensões e pesos que as tornem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico (KALIL *et al.*, 2012). Dividem-se as alvenarias em dois grupos quanto à sua função: as alvenarias estruturais e as alvenarias de vedação.

A alvenaria de vedação pode ser definida como a alvenaria que não é dimensionada para resistir a ações além de seu próprio peso. A vedação vertical é responsável pela proteção do edifício contra chuva, vento etc. e pela divisão dos ambientes internos (THOMAZ, 2001).

Na alvenaria estrutural tal conjunto tem como função a vedação e ao mesmo tempo atua como elemento resistente da estrutura. As unidades de alvenaria argamassadas devem agir como uma combinação íntegra para resistir aos esforços de compressão, bem como aos esforços cortantes, segundo Nascimento Neto (1999).

O fato de ser composta por diferentes materiais e estar sujeita a diferentes tipos de esforços, impõem certas dificuldades na análise da mesma. Para a obtenção de resultados mais realistas, principalmente para estruturas complexas, a alternativa é recorrer a métodos experimentais.

Este capítulo apresenta de forma resumida, estudos associados à alvenaria, identificados na literatura técnica, obtidos por pesquisadores que estudaram seu comportamento e desempenho relacionados com os objetivos deste trabalho.

É importante destacar certos conceitos comuns apresentados nestes estudos que servem para o entendimento dos programas experimentais e resultados apresentados. Segundo a NBR 15961-1 (ABNT, 2011) sobre alvenaria estrutural, temos as seguintes definições:

- a) área líquida: área de um componente ou elemento, com desconto da área dos vazios;
- b) bloco: componente básico da alvenaria;
- c) componente: menor parte constituinte dos elementos da estrutura. Os principais são: bloco, junta de argamassa, graute e armadura;
- d) elemento: parte da estrutura suficientemente elaborada constituída da reunião de dois ou mais componentes;
- e) graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios dos blocos, com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar a sua capacidade de resistência;

- f) junta de argamassa: componente usado na ligação dos blocos;
- g) parede estrutural: toda parede admitida como participante da estrutura;
- h) prisma: corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa, grauteados ou não;

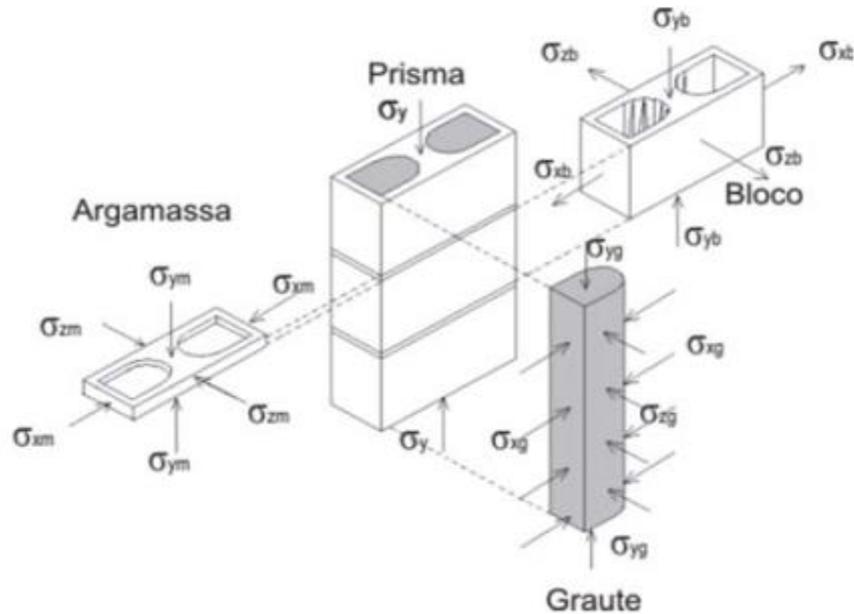
2.2 PRINCIPAIS BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Os primeiros estudos sobre mecanismos de ruptura em alvenaria foram realizados por Hilsdorf (1969) que adotou uma relação linear entre a resistência à compressão uniaxial e a resistência à tração biaxial, perpendicular à aplicação da carga de compressão. A ruptura seria governada pela interação entre argamassa e unidade, levando em consideração a resistência à compressão uniaxial do bloco, a resistência à tração lateral biaxial do bloco, a resistência à compressão uniaxial da argamassa, o confinamento da argamassa – restringida lateralmente por esforços de compressão e comprimida triaxialmente na junta da alvenaria - e um coeficiente de não uniformidade U .

Hamid e Drysdale (1979) desenvolveram uma formulação matemática para determinar a resistência da alvenaria, considerando as propriedades mecânicas obtidas com os testes dos materiais individuais. Com esta formulação consegue-se, independentemente da característica física e mecânica do bloco, determinar a resistência da alvenaria à compressão.

Partindo do conceito de que existe uma compatibilidade entre deformações na direção paralela à aplicação da carga, Hamid e Drysdale descreveram que o bloco encontra-se sob um estado de tensão biaxial e a argamassa sob um estado de compressão triaxial (Figura 5). O estudo forneceu grandes subsídios para a avaliação da resistência última dos prismas grauteados e não grauteados.

Figura 5 - Estado de tensões considerado no modelo de Hamid e Drysdale, 1979.



Fonte: Hamid e Drysdale, 1979.

Atkinson, Noland e Abrams (1985) estudaram o comportamento de prismas de tijolos, através da interação unidade-argamassa sob um estado de tensões multiaxiais. Estes autores determinaram o comportamento isolado das unidades sob um estado de tensões biaxiais e as argamassas sob um estado triaxial. Com os resultados, formularam um modelo para prever a ruptura em prismas confeccionados com unidades sólidas, além de verificar, na argamassa, a variação do módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson com o aumento das tensões de confinamento. Atkinson, Noland e Abrams concluíram que as não-linearidades do gráfico: tensão x deformação dos prismas se deve ao confinamento da argamassa, pois, nos ensaios triaxiais em argamassas, as deformações não-lineares foram mais significativas à medida que se aumentaram as tensões de confinamento.

Page e Shrive (1988), afirmam que o mais adequado seria a execução de ensaios em paredes, entretanto seriam mais caros e demorados. Assim, testes de caracterização de blocos, argamassas e prismas são mais viáveis. Estes autores ainda classificam fatores que influenciam nos resultados dos ensaios de resistência a compressão na alvenaria:

- a) os ensaios não devem sofrer a influência da esbeltez dos corpos de prova ou das restrições devido aos pratos da prensa de ensaio.
- b) a resistência à compressão é inversamente proporcional à altura do corpo de prova. Isto é devido à diminuição do efeito da restrição dos pratos da prensa.

- c) as características do capeamento, utilizado para reduzir as irregularidades dos corpos de prova, influenciam nos resultados do ensaio. Segundo os autores, não há uma espessura ou um material ideal para minimizar a interação corpo de prova/prensa. Na determinação do capeamento a ser usado, tanto o módulo de elasticidade do material utilizado no capeamento como a sua espessura, deverão variar de acordo com as características do corpo de prova, levando-se em conta a facilidade de execução.
- d) a maneira de indução da carga no corpo de prova pode apresentar influência na resistência à compressão. A velocidade de aplicação de carga também pode ter algum efeito, entre as especificações de ensaio de todo mundo existe uma amplitude grande de velocidades recomendadas. Os autores relatam que Maurembrecher (1978) fez uma revisão de várias normas de ensaio para alvenaria, e encontrou uma variação entre 2,4 e 28 N/mm². Para este intervalo de velocidades de carregamento a resistência à compressão não sofreu variações significativas. Além disso, o método de aplicação de carga com variação constante de deformação tende a apresentar resultados mais baixos comparados com os valores de variação de carga constante;
- e) como em todos os materiais frágeis, a ruptura da unidade de alvenaria é causada pela iniciação e propagação de fissuras. As mesmas se iniciam quando a tensão de tração aumenta o suficiente para quebrar a adesão interpartícula.

De acordo com a teoria tradicional, a principal causa da formação de fissuras verticais em prismas sob esforços de compressão é a diferente taxa de deformação entre o bloco e a argamassa, pois essa diferença produz tensões de tração lateral no bloco, ocasionando as fissuras que se propagam até a ruptura.

Page e Shrive (1988) esclarecem que para existir aproximação do que realmente acontece na alvenaria, é importante que o capeamento e a junta de argamassa sejam executados nos prismas do mesmo modo como seriam executados na alvenaria. Ou seja, se o bloco, quando assentado na parede, só permite assentamento nas faces externas, o assentamento dos prismas deve ser feito também com argamassa e capeamento somente nas faces.

Khalaf *et al.* (1994) realizaram experimentos com um tipo de bloco e três tipos de argamassas. Sua intenção era analisar o comportamento dos prismas de blocos de concreto grauteados e não-grauteados ensaiados em duas direções ortogonais (paralela e normal à direção de aplicação da carga). As principais características determinadas foram:

- a) curva tensão x deformação;
- b) módulo de elasticidade;

- c) coeficiente de Poisson;
- d) resistência à tração e compressão dos blocos;

Os autores também conseguiram desenvolver um modelo de comportamento da alvenaria grauteado e não-grauteada através das características mecânicas (resistência à compressão uniaxial) dos materiais isoladamente. Para essa modelagem foram utilizados os resultados obtidos em prismas construídos com blocos inteiros e meio-blocos.

Hegemeir *apud* Mohamad (1998) avaliou a importância dos procedimentos de testes realizados em prismas através do estudo de diferentes relações altura/espessura dos mesmos, bem como do tipo de capeamento utilizado. Os principais objetivos de seu trabalho foram:

- a) determinar a validade dos fatores de correção para prismas de acordo com a relação altura/espessura estabelecida pelo *Uniform Building Code*;
- b) investigar o efeito do material do capeamento na resistência à compressão de prismas;
- c) investigar o efeito da proporção altura/espessura e do número de camadas na resistência à compressão de prismas para certo tipo de capeamento;
- d) determinar uma correlação entre a resistência do prisma e a resistência da parede;

Cheema e Klingner *apud* Mohamad (1998) descreveram um modelo de previsão da ruptura que relaciona a proporção de rigidez entre os materiais (bloco e argamassa). Esta pesquisa pode ser a primeira a associar a proporção entre o módulo de elasticidade dos materiais e o tipo de ruptura ocorrido na alvenaria. Os estudos basearam-se em resultados experimentais de prismas confeccionados com apenas um tipo de bloco e argamassa. As demais proporções foram obtidas utilizando um método numérico aproximado (elementos finitos), conseguindo prever-se a resistência última da alvenaria, independentemente do tipo de material. As não-linearidades foram consideradas no modelo através da utilização de módulo de elasticidade secante para todos os materiais utilizados.

Afshari e Kaldjian *apud* Mohamad (1998) estudaram a influência das propriedades físicas e geométricas da argamassa e do bloco de concreto, tentando prever a resistência à compressão última dos prismas. Os autores utilizaram a teoria de ruptura de Mohr para representar o comportamento triaxial da argamassa e, para o bloco, lançaram mão de resultados de análises numéricas de prisma de alvenarias tridimensional de oito nós, considerando uma análise linear dos materiais devido ao caráter frágil dos mesmos.

Khoo e Hendry *apud* Mohamad (1998) explicaram a ruptura na alvenaria usando um critério de deformação lateral máxima para as unidades e argamassas, como limitantes da

ruptura. Os autores relacionaram a deformação lateral da unidade com as condições de tensões triaxiais da argamassa de assentamento e biaxiais na unidade. Os autores partiram do princípio de que os dois materiais, quando unidos (bloco e argamassa), têm deformações similares. Este critério se diverge do proposto por Hilsdorf (1969), pois considera as características de deformabilidade da unidade e da junta de argamassa.

Levy e Sabbatini *apud* Oliveira (2006) verificaram o comportamento mecânico de prismas, paredinhas e paredes confeccionadas com blocos de concreto. Para isso os autores estudaram três tipos de blocos e um traço de argamassa e verificaram a influência da argamassa e bloco na resistência à compressão da alvenaria.

Gomes *apud* Oliveira (2006) foi um dos primeiros pesquisadores brasileiros a descrever os dois principais modelos que tentam explicar o modo de ruptura das paredes de alvenaria, e seu estudo experimental teve por objetivo caracterizar mecanicamente os materiais e por consequência verificar o mesmo na parede e prismas. O autor desenvolveu um estudo caracterizando as alvenarias de blocos cerâmicos armados e não-armados além da verificação da deformação lenta nas paredes.

Oliveira (2014) avaliou a influência da espessura das juntas da argamassa de assentamento na resistência à compressão de prismas de blocos de concreto não-grauteados. Os resultados obtidos pelo autor apontam que a junta de 15 mm foi mais eficaz, considerando a relação resistência/consumo, dentre as que foram também analisadas (10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm), mostrando que a variação da espessura da junta de argamassa influencia diretamente na resistência à compressão da alvenaria e que em certos casos, o seu aumento impõe uma diminuição da sua eficiência, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1. - Comparação entre espessuras 15 e 20 mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp.. 15mm	Esp. 20mm	
Valor Máximo	9,17	7,91	-13,74
Valor Mínimo	4,19	4,95	18,14
Média 1	6,38	6,42	0,71
Média 2	6,29	6,42	2,07
Desvio Padrão	1,45	0,97	-
Valor Característico 1	4,92	5,45	10,82
Valor Característico 2	4,83	5,45	12,76

Fonte: Oliveira, 2014

Os dados apresentados na Tabela 1 seguem as seguintes definições apresentadas na Tabela 17, capítulo 4.

Oliveira (2014) ressalta que quando os blocos são mais fracos a influência da junta se torna maior, ao passo que para blocos que rompem com valores mais altos, a influência da junta de argamassa é menor na resistência do prisma. Isso pode indicar que nestes casos a argamassa compensa a perda de resistência dos blocos.

2.3 CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DOS COMPONENTES

2.3.1 Características dos blocos de concreto

Segundo a norma brasileira NBR 6136 (ABNT, 2013), a definição do bloco de concreto é: elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, sendo que área bruta é a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios, e área líquida, a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos descontadas as áreas máximas dos vazios.

Medeiros e Sabbatini *apud* Romagna (2000) definem bloco de concreto como: “unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem possuindo dimensões superiores a 250 x 120 x 55 mm³ (comprimento x largura x altura)”.

As principais características mecânicas dos blocos são: resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. A resistência à compressão dos blocos é a que mais interfere, pois é a partir daí que será definido a resistência à compressão das paredes. A sua composição e geometria alteram a própria resistência da unidade, interferindo, junto com a resistência à tração, na resistência final do conjunto.

Medeiros menciona alguns fatores que influenciam na resistência à compressão dos blocos de concreto, sendo os principais: os materiais utilizados na confecção, sua proporção e a eficiência de sua moldagem. Para a determinação da resistência à compressão de blocos vazados de concreto os procedimentos estão descritos na NBR 12118 (2013).

2.3.2 Características da argamassa

Define-se argamassa como uma ligação da alvenaria, tendo como principais funções unir as unidades, distribuir as tensões uniformemente ao longo de toda seção do bloco e

absorver as deformações provenientes dos carregamentos externos (STEIL, 2003). Em função disso a argamassa torna-se um fator de estudo para o comportamento da alvenaria.

Camacho *apud* Mohamad (1998) afirmou que a resistência da alvenaria está relacionada com a resistência da argamassa através de uma raiz cúbica ou quarta. A argamassa, apesar de corresponder a uma parcela mínima do volume de uma estrutura de alvenaria, influi diretamente na resistência, na deformabilidade e no modo de ruptura deste tipo de estrutura. Afirma ainda, que a influência da resistência da argamassa sobre a alvenaria aumenta com o acréscimo de resistência da unidade.

Barbosa (2008) explica que o comportamento eficiente da alvenaria depende de algumas propriedades da argamassa de assentamento, assim como:

- a) resistência suficiente, compatível com a resistência das unidades de alvenaria;
- b) aderência satisfatória aos blocos, permitindo à zona de interface resistir aos esforços de cisalhamento;
- c) resiliência adequada com baixo módulo de deformação, podendo, assim, acomodar sem fissurar tanto as deformações intrínsecas quanto as provocadas por pequenos movimentos estruturais na alvenaria.

Muller (1999) ressalta que o cimento Portland é o principal responsável pela resistência da argamassa, além de acelerar o endurecimento. Já a cal hidratada atua como plastificante da mistura, devido à sua capacidade de retenção de água e, conseqüentemente, conferindo trabalhabilidade. O autor conclui ainda que, variando-se as proporções entre cimento e cal obtém-se argamassas com propriedades diversas, que adequam-se ao seu uso para assentamento, revestimento, grauteamento ou rejunte.

Khalaf et al. *apud* Mohamad (1998) desenvolveram estudos de caracterização das argamassas de assentamento, obtendo as propriedades mecânicas para três traços diferentes, em volume, conforme Tabela 2:

Tabela 2 - Propriedades mecânicas das argamassas obtidas do estudo de Khalaf e Fairbain, 1994.

Traços	<i>farg.</i> (MPa)	E _{tg} (MPa)		E _{sec} * (MPa)		Coeficiente de Poisson	
		Khalaf	1000. <i>farg</i>	Khalaf	500. <i>farg</i>	Tensões Iniciais	Tensões Finais**
1:1:6	8,0	5603	8000	3696	4000	0,26	0,40
1:0,5:4,5	14,6	10250	14600	5000	7300	0,22	0,35
1:0,25:3	25,0	14119	25000	8140	12500	0,18	0,25

Fonte: Khalaf e Fairbain, 1994.

Notas: * O Módulo de elasticidade secante foi determinado à 2/3 da resistência à compressão do corpo de prova;

** O coeficiente de Poisson para tensões finais é aquele medido quando a argamassa está próximo da tensão de ruptura.

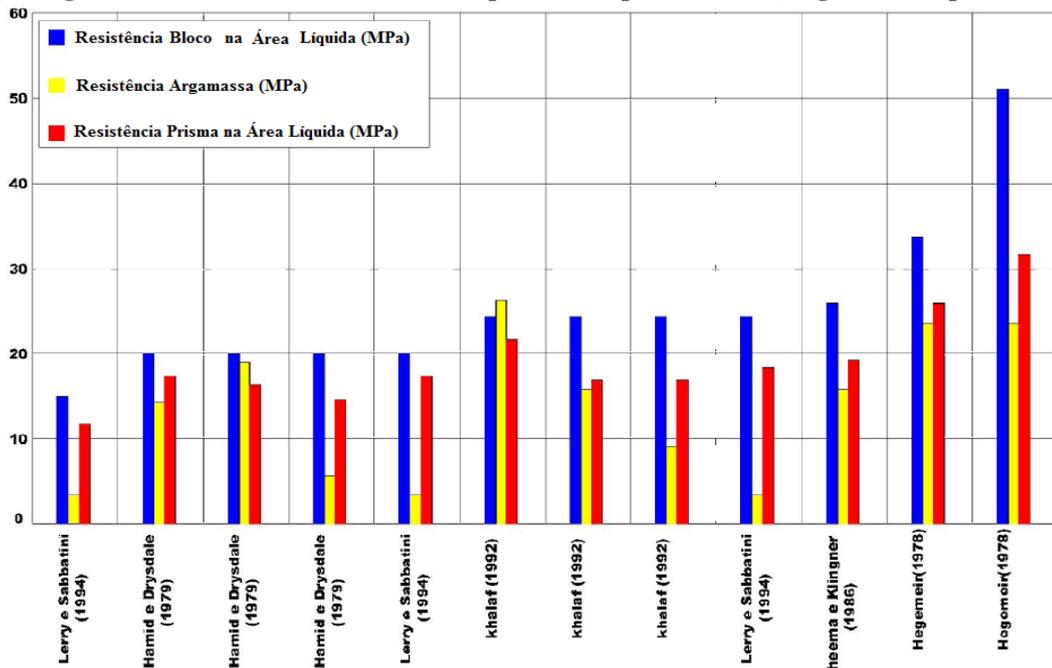
2.3.3 Características da alvenaria

Pasquali (2007) definiu a alvenaria como um componente complexo que utiliza, como componentes básicos, tijolos ou blocos unidos entre si por juntas de argamassa de modo a formar um conjunto rígido e coeso. Então, alvenaria estrutural é aquela estrutura de alvenaria dimensionada por procedimentos racionais de cálculo para suportar cargas além do peso próprio.

Os elementos básicos da alvenaria devem apresentar características mínimas de desempenho, conformidade, especificações mínimas da norma e propriedades que possibilitem o cumprimento de requisitos requeridos (PARSEKIAN & SOARES, 2010).

Alguns pesquisadores vêm estabelecendo métodos para determinar analiticamente a resistência última à compressão da alvenaria de blocos, como: Hegemeir *apud* Mohamad (1998), Hamid e Drysdale (1979), Cheema e Klingner *apud* Romagna (2000), Khalaf *et al.* (1994), Levy e Sabbatini (1994). Segundo Hamid e Drysdale (1979), “A alvenaria é um elemento composto pela união de componentes heterogêneos, isto é possuem diferentes valores de resistência, de módulo de elasticidade longitudinal e transversal e coeficiente de Poisson, o que dificulta o desenvolvimento de modelos matemáticos que expliquem fielmente o seu comportamento estrutural”. Na Figura 6 temos os resultados obtidos por estes autores.

Figura 6 – Gráfico da resistência à compressão simples de blocos, argamassas e prismas



Fonte: Mohamad, 1998

Analisando a Figura 6 pode-se afirmar que a maioria dos autores trabalhava com níveis de resistência à compressão da argamassa da ordem de 40 a 60% da resistência do bloco na área líquida. Em alguns casos foram utilizados valores ainda maiores. Levy e Sabbatini (1994) trabalharam com uma resistência da ordem de 10 a 20% da resistência do bloco.

De acordo com Boulton *apud* Mohamad (1998), quando os materiais (bloco e argamassa) possuem módulos e deformações limites similares, os resultados apresentam-se, de uma forma geral, melhor em relação às propriedades últimas da alvenaria. Verificando os resultados simplesmente através da resistência a compressão uniaxial, conclui-se que o papel da argamassa é, realmente, inferior na alvenaria.

Para determinar a resistência característica à compressão da alvenaria, foi estabelecida uma fórmula (Equação 1) que se encontra no código europeu EUROCODE 6 (1996). A mesma estabelece que a argamassa contribui para a resistência da alvenaria em proporção bem menor que o bloco.

$$f_k = k \cdot f_b^{0,75} \cdot f_a^{0,25} \quad (1)$$

Onde:

k = um coeficiente de fluência;

f_a = resistência à compressão média da argamassa;

f_b = resistência à compressão média do bloco;

$k = 0,4$. φ ;

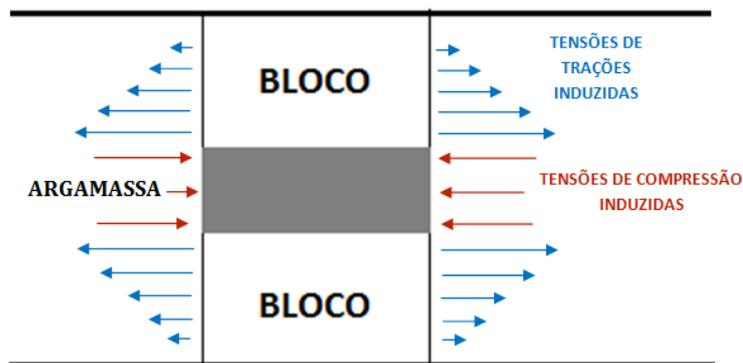
Para $f_b > 15\text{N/mm}^2$ $\varphi = (15/f_b)^{0,33} \leq 1,5$

Para $f_b \leq 15\text{N/mm}^2$ $\varphi = 1$

As tensões verticais aplicadas aos prismas distribuem-se uniformemente ao longo de toda a seção do bloco e argamassa, induzindo, devido às diferenças de rigidez, tensões normais horizontais que levam a alvenaria a romper, antes que a resistência dos materiais propriamente dita, seja atingida.

Segundo Afshari e Kaldjan *apud* Romagna (2000), estas tensões horizontais de tração, desenvolvidas próximas à interface bloco e à argamassa são maiores próximas à junta, diminuindo de valor à medida que se afasta dela, conforme Figura 7. Na argamassa acontece o mesmo, tendo tensões de compressão máximas na interface diminuindo no meio da junta.

Figura 7- Distribuição das tensões na interface bloco-argamassa



Fonte: Afshari; Kaldjan, 1989

Afshari e Kaldjan *apud* Romagna (2000) citam que os fatores responsáveis pela diminuição da resistência da alvenaria à compressão são:

- espessura da junta de argamassa;
- proporção de rigidez entre módulo de elasticidade da argamassa e bloco;
- coeficiente de Poisson dos materiais.

2.3.4 Ruptura em alvenaria

As fissuras são originadas quando as cargas atuantes excedem a capacidade resistente da estrutura solicitada (ELDRIDGE, 1982). A necessidade de se compreender os tipos de rupturas e as tensões que as produzem é relevante para melhorar a resistência de um bloco de concreto e conseqüentemente da alvenaria. O fator de eficiência das paredes e prismas talvez

esteja ligado diretamente com a melhora destas propriedades mecânicas dos materiais isolados (OLIVERIA, 2006).

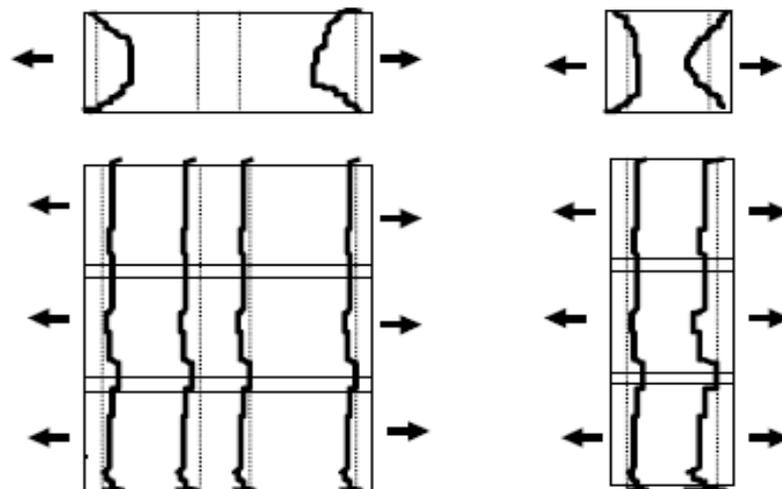
Magalhães (2004), apresenta que as juntas de argamassa atuam como planos de fraqueza e, dependendo da orientação da resultante das cargas aplicadas e da orientação das juntas em relação a esta resultante, as fissuras podem configurar-se em linha predominantemente reta, por ruptura dos elementos constituintes da alvenaria, ou em linha quebrada, acompanhando a interface entre a junta de argamassa e o componente (bloco). Assim, o modo de ruptura é governado pela coesão entre argamassa e o componente, e pelas propriedades do componente sob tração (MOLINARI NETO, 1990).

Segundo Cheema e Klingner *apud* Mohamad (1986), os modos de ruptura dos prismas não-grauteados são:

- tração no bloco, onde a tensão de tração principal no bloco é maior que a resistência à tração do bloco;
- esmagamento do bloco, onde a tensão principal de compressão no bloco é maior que a resistência à compressão do bloco;
- esmagamento da argamassa, onde a tensão de compressão axial na argamassa é maior que a resistência da argamassa confinada.

Khalaf *apud* Mohamad (1998) descreve o tipo de ruptura mais comumente ocorrido nos ensaios com prisma que desenvolveu, conforme Figura 8.

Figura 8 - Tipos de ruptura obtido em ensaios de prismas de blocos de concreto verificado por Khalaf *apud* Mohamad , 1998.



Fonte: Khalaf *apud* Mohamad, 1998.

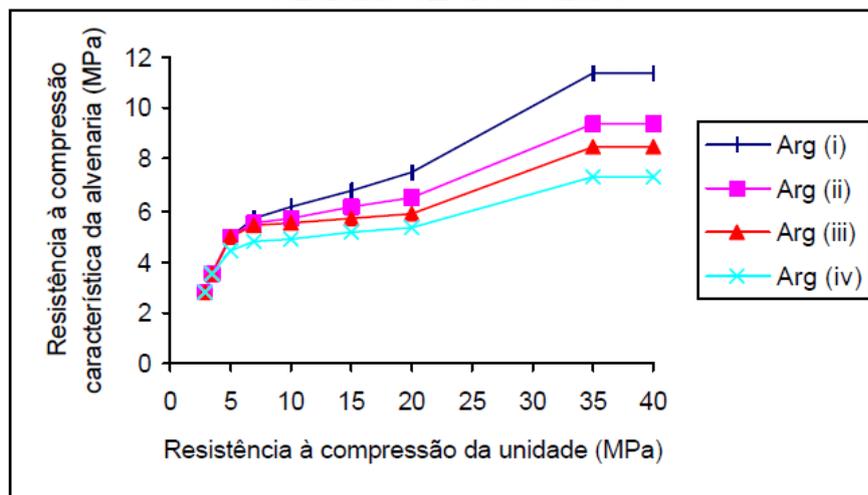
2.4 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO

2.4.1 Resistência do bloco

A principal influência sobre a alvenaria é a resistência do bloco: quanto mais o bloco resistir, mais resistente será a alvenaria. Entretanto, é importante ressaltar que a resistência à compressão da unidade será maior do que a resistência à compressão da alvenaria. Segundo La Rovere (2001), tal fato deve-se por dois motivos:

- a) a resistência medida da unidade não é a verdadeira resistência uniaxial, e sim um valor superior ao verdadeiro, pois a restrição nas extremidades das unidades, causada pelos pratos da prensa de ensaio, que dependerá da geometria da unidade, gera tensões de compressão transversais, como em um ensaio tri-axial à compressão;
- b) devido ao fato da argamassa ser mais **deformável** do que as unidades, tenderá a deformar-se mais, deformação está impedida pela aderência entre a argamassa e os blocos, o que provoca o surgimento de tensões de tração nas unidades, transversalmente ao eixo vertical de compressão.

Figura 9 - Resistência à compressão característica da alvenaria de blocos, constituída com blocos vazados



Fonte: Romagna, 2000

2.4.2 Espessura da junta de argamassa

A altura da junta de argamassa exerce grande influência na resistência da alvenaria. Analisando trabalhos de alguns pesquisadores, nota-se que essa relação é inversamente proporcional, isto é, a maior resistência da alvenaria foi obtida com a utilização da junta de argamassa de menor espessura.

Cheema e Klinger *apud* Mohamad (1998) realizaram testes de resistência à compressão em prismas de dois blocos não-grauteados, utilizando duas alturas, a padrão 1,0 cm e 1,3 cm. Os resultados mostraram uma redução de 39% na resistência dos prismas com a junta de 1,3 cm.

Hamid e Drysdale (1979) testaram três alturas de juntas (0 mm, 10 mm e 19 mm). Para a altura de 0 cm foi usada apenas uma camada de pasta de cimento entre os blocos. Com os resultados dos ensaios, os autores puderam concluir que: nos prismas não-grauteados, o aumento da espessura da junta de 10 mm para 19 mm foi acompanhado de uma redução na resistência à compressão de 19 %.

Khalaf *apud* Romagna (2000), através de estudos experimentais, em prismas com três blocos de altura, concluiu que, no aumento da espessura da junta de argamassa de 5 para 12 mm, houve um decréscimo da resistência dos prismas grauteados de 12 % e 18 %.

Mohamad (1998), realizou testes em prismas de blocos de concreto, com juntas de 7 e 10 mm. O autor concluiu que, com a diminuição da espessura da junta houve um aumento na eficiência (resistência do prisma/resistência do bloco) da alvenaria de 34 %, e um aumento na resistência à compressão da alvenaria de 32,3 %.

Tabela 3 - Influência da espessura da junta na resistência do prisma

$f_{arg.}$ (MPa)	f_{bloco} (MPa)	Espessura das juntas (mm)	f_{prisma} (MPa)	Eficiência da Alvenaria
4,90	15,67	7	11,7	0,75
5,41		10	8,84	0,56

Fonte: Mohamad, 1998.

Ramamurthy, Sathish e Ambalavanan (2000) também estudaram o efeito da espessura da junta de argamassa na resistência à compressão dos prismas construídos com blocos sobrepostos. Duas espessuras de argamassas foram analisadas, 10 mm e 20 mm, onde se

verificou uma diminuição no valor da resistência à compressão dos prismas de 33%, com o aumento da espessura da junta.

2.4.3 Proporção entre o módulo de elasticidade da argamassa e do bloco

Em prismas não-grauteados, a proporção de rigidez entre a argamassa e o bloco é um fator importante na resistência máxima do conjunto e na determinação do tipo de ruptura que irá acontecer devido ao surgimento de tensões de confinamento na argamassa e tração no bloco. Tais tensões estão diretamente relacionadas à capacidade de deformação da argamassa e, principalmente, com a aderência na interface bloco/argamassa.

Cheema e Klingner (1986) avaliaram um traço de argamassa e uma resistência de bloco. Os resultados das resistências à compressão são mostrados na Tabela 4:

Tabela 4 - Resultados obtidos do estudo de Cheema e Klingner, 1986.

E_{arg}/E_b	f_{bloco} (MPa)	$f_{arg.}$ (MPa)	F_{prisma}^* (MPa)
0,48	25,8	14,9	19,25

Fonte: Cheema e Klingner, 1986.

Oliveira (2006) estabelece que uma das propriedades que se deve considerar na argamassa, é o módulo resiliente, que é a capacidade da argamassa endurecida de se deformar sem romper macroscopicamente. A resiliência da argamassa está relacionada com seu módulo de deformação (E_a), e é de fundamental importância, pois a argamassa, ao fissurar, não fica submetida ao estado triaxial de compressão por impossibilidades de confinamentos.

Mas os resultados de Khalaf *et al.* (1992), para diferentes módulos de elasticidade da argamassa e do bloco, não apresentam uma mudança relevante na resistência dos prismas. Uma primeira conclusão seria que a semelhança de resistências poderia ter surgido devido ao fato dos materiais, quando ensaiados uniaxialmente não estarem submetidos ao mesmo estado de tensões observado nos prismas.

Outra conclusão importante, obtida dos resultados de Khalaf *et al.* (1992), é que quanto menor a relação entre E_a/E_b mais a resistência do prisma se aproxima à do bloco. À medida que se aumenta essa relação à resistência do prisma começa a ser próxima à da argamassa, chegando a um ponto onde a resistência do prisma é a própria resistência da argamassa.

Kubica *apud* Mohamad (1998), ressalta que o comitê europeu de normalização concede uma aproximação simples para determinar o módulo de elasticidade da alvenaria como: $1000.f_k$, entretanto, o mesmo não encontrou relação entre os resultados obtidos através de ensaios e os calculados utilizando a fórmula do EUROCODE 6 (1996).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUÇÃO

Conforme apresentado no capítulo dois, vários autores realizaram e realizam estudos e ensaios para otimização das espessuras das juntas, afim de se obter ganho na resistência a compressão de blocos e prismas.

Neste capítulo é apresentado o programa experimental do presente trabalho, que foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Materiais na Universidade Estadual de Goiás, UEG-Anápolis, sob a orientação do professor Dr. Marcus Vinícius Cavalcanti, apontando os procedimentos experimentais utilizados na caracterização física e mecânica dos blocos de concreto, além de apresentar os materiais empregados, o traço da argamassa utilizada, a montagem e ensaios dos prismas e os equipamentos utilizados em todas as etapas.

3.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

3.2.1 Blocos de concreto

Os blocos de concreto utilizados tinham dimensões nominais de 14x19x29 cm, especificados pela NBR 6136 (ABNT, 2013), área líquida de 243 cm² e resistência nominal de 4,5 MPa. Os blocos possuíam idade aproximada de dois anos e foram disponibilizados pela empresa Vibracom, da cidade de Anápolis- GO. As medidas dos blocos foram conferidas com auxílio do paquímetro, conforme Figura 10.

Figura 10 – Aferição das medidas dos blocos de concreto com paquímetro.



Fonte: Próprias autoras

Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2013), temos os seguintes valores tolerados para variações das dimensões dos blocos:

Tabela 5- Tolerâncias máximas de fabricação de blocos de concreto

Dimensões	Largura	Altura	Comprimento	Desvio em relação ao esquadro	Flecha
Tolerância (mm)	±2	±3	±3	3	3

Fonte: NBR 6136, ABNT 2013.

Os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, no laboratório de mecânica dos materiais do Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, na cidade de Anápolis – GO. Esses ensaios são necessários para estipular uma relação entre a resistência do prisma e a resistência real do bloco, componente do prisma.

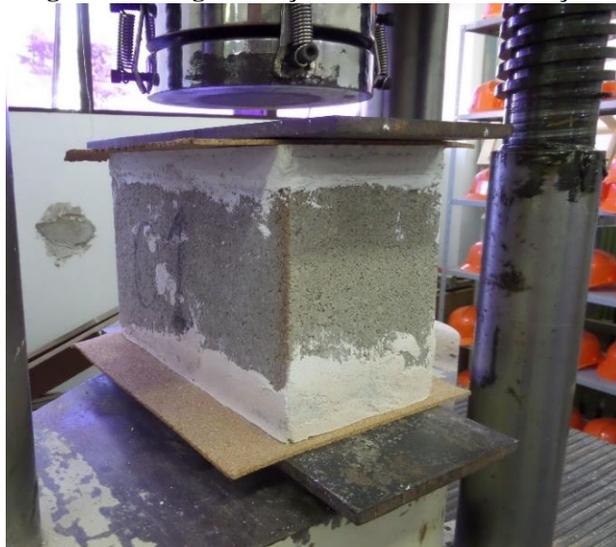
Primeiramente para a realização do ensaio, os blocos foram capeados com gesso comum e retificados em laminas de vidro. Afim de minimizar as tensões de tração no plano do topo e da base do bloco, utilizou-se também a lâmina de cortiça, com 25 mm de espessura para a regularização da área de contato com a prensa. A NBR 6136 (ABNT, 2013) sugere que, no mínimo, seis blocos devem ser ensaiados. No caso, dez blocos foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão.

Figura 11 – Capeamento dos blocos com gesso



Fonte: Próprias autoras

Figura 12 – Regularização com a folha de cortiça



Fonte: Próprias autoras

3.2.2 Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada para moldagem dos prismas teve traço de 1: 0,4: 5,72 (cimento: cal: areia) em peso. Sendo este, o mesmo traço utilizado por Oliveira, 2014 e Bandeira, 2014.

Os materiais adotados para a fabricação da argamassa foram: cimento CII-Z-32, cal hidratada Itaú CH –III, e areia natural. A cal e o cimento foram adquiridos no comércio da região, já a areia estava no local e nos foi cedida pelo responsável. As propriedades do cimento,

segundo fabricante, atendem desde estruturas em concreto armado até argamassas de assentamento e revestimento, concreto massa e concreto para pavimentos. O CP II-Z-32 leva, em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

Figura 13 – Materiais utilizados na fabricação da argamassa



Fonte: Próprias autoras

A argamassa foi produzida em betoneira intermitente de queda livre e eixo inclinado, com capacidade de 145 litros, garantindo a constância de material empregue. A quantidade de água adotada foi de 1,60 litros para cada quilo de cimento. Essa medida se manteve constante para todas betonadas utilizadas durante a montagem dos prismas.

Figura 14 – Montagem dos corpos de prova



Fonte: Próprias autoras

Foram moldados 14 corpos de prova cilíndricos de dimensões 5x10cm² para ensaio de resistência à compressão da argamassa. Dos quais cinco foram da primeira betonada, cinco da segunda e quatro da terceira.

A cura dos corpos de prova foi cura seca, à temperatura ambiente, buscando simular ao máximo as mesmas condições de um canteiro de obra. Durante o desmolde para ensaio a compressão foram perdidos dois corpos de prova, 09 e 10 da segunda betonada.

Os doze corpos de prova foram ensaiados à compressão com idade de 14 dias, na mesma data da ruptura do prismas. Todos os ensaios de argamassa foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Materiais do Campus da UEG, em Anápolis- Goiás.

Figura 15 – 12 corpos de prova para ensaio



Fonte: Próprias autoras

Figura 16 – Corpo de prova na prensa para ensaio



Fonte: Próprias autoras

3.3 MOLDAGEM E ENSAIO À COMPRESSÃO DOS PRISMAS

Foram ensaiados a compressão um total de 30 prismas, com ± 60 cm de altura e 29 cm de comprimento. A priori, pretendia-se montar 40 prismas, entretanto alguns blocos foram extraviados do local, impossibilitando a montagem dessa quantidade.

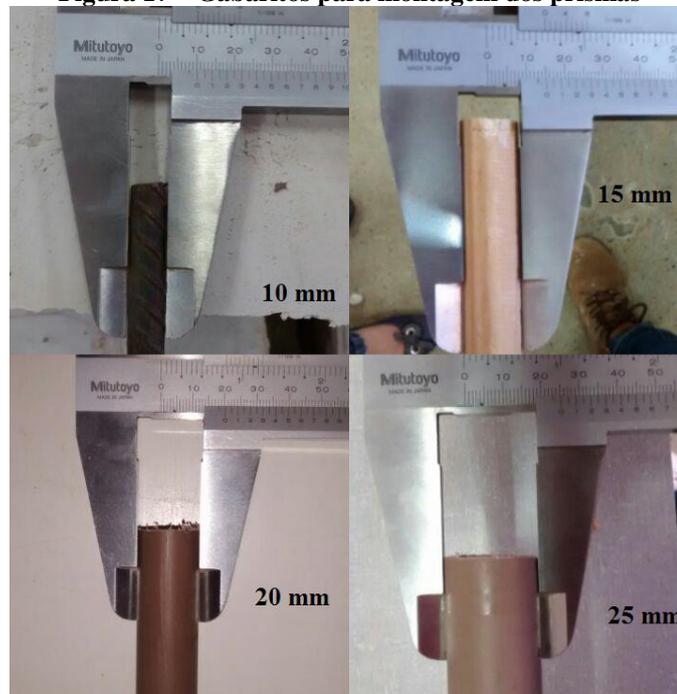
Os prismas foram moldados a prumo com três blocos de altura e com quatro espessuras: 10, 15, 20 e 25mm. Estes foram divididos em 4 grupos, com espessuras diferentes.

A numeração de identificação foi a seguinte:

- a) prismas com espessura da junta de 10 mm: 1 a 7
- b) prismas com espessura da junta de 15 mm: 8 a 15
- c) prismas com espessura da junta de 20 mm: 16 a 23
- d) prismas com espessura da junta de 25 mm: 24 a 30

Para facilitar o assentamento e para garantir a espessura da junta foram utilizados alguns gabaritos, como mostra a figura 17.

Figura 17 – Gabaritos para montagem dos prismas



Fonte: Próprias autoras

Como o tempo estava muito seco e os blocos estavam armazenados em local aberto, foi necessário umedecer as faces dos blocos para melhor adesão à argamassa.

Figura 18 – Bloco umedecidos com água



Fonte: Próprias autoras

Figura 19 – Assentamento dos prismas



Fonte: Próprias autoras

O capeamento das faces superior e inferior dos prismas seguiu o mesmo processo do capeamento dos blocos de concreto, feito com gesso e retificado em lâmina de vidro, para regularização das faces. Para realizar a montagem dos prismas após a perda dos blocos, o capeamento de alguns blocos teve que ser retirado, isso só foi possível porque o capeamento utilizado foi com gesso. Para isso, o gesso foi extraído com a ajuda de uma talhadeira e martelo.

Figura 20 – Quebra do capeamento de gesso



Fonte: Próprias autoras

Figura 21 – Bloco com capeamento retirado



Fonte: Próprias autoras

Figura 22 – Todos os prismas utilizados no ensaio



Fonte: Próprias autoras

Os prismas foram embalados em plástico *stretch* antes do ensaio a compressão, para que não houvesse lançamento de estilhaços durante o rompimento. Todos os prismas foram rompidos na mesma data, 14 dias após a montagem. Da mesma maneira como no ensaio dos blocos, também foi empregada uma lâmina de cortiça no topo e base do prisma, para regularização da área de contato com a prensa.

Figura 23 – Prisma envolto em plástico para proteção



Fonte: Próprias autoras

Figura 24 – Utilização da folha de cortiça e chapa de aço no rompimento



Fonte: Próprias autoras

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS

Para análise da resistência a compressão dos blocos, foram seguidas as recomendações da NBR 12118 (ABNT, 2013). A tensão de ruptura foi obtida através da área líquida média dos blocos, resultante da aferição de três blocos escolhidos entre os dez utilizados nos ensaios.

Tabela 6 – Área líquida dos blocos

Bloco	Área Líquida (cm ²)	Área Média (cm ²)
1	250	243
2	227	
3	252	

Fonte: Próprios autores

Os resultados do ensaio à compressão dos blocos podem ser analisados na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado da carga de ruptura e tensão dos blocos ensaiados

Bloco	Área Líquida (cm ²)	Carga de Ruptura (t)	Tensão (Mpa)
01	243	13,54	5,46
02	243	15,94	6,43
03	243	17,32	6,99
04	243	17,51	7,07
05	243	13,95	5,63
06	243	18,38	7,42
07	243	13,39	5,40
08	243	12,27	4,95
09	243	16,86	6,80
10	243	13,06	5,27

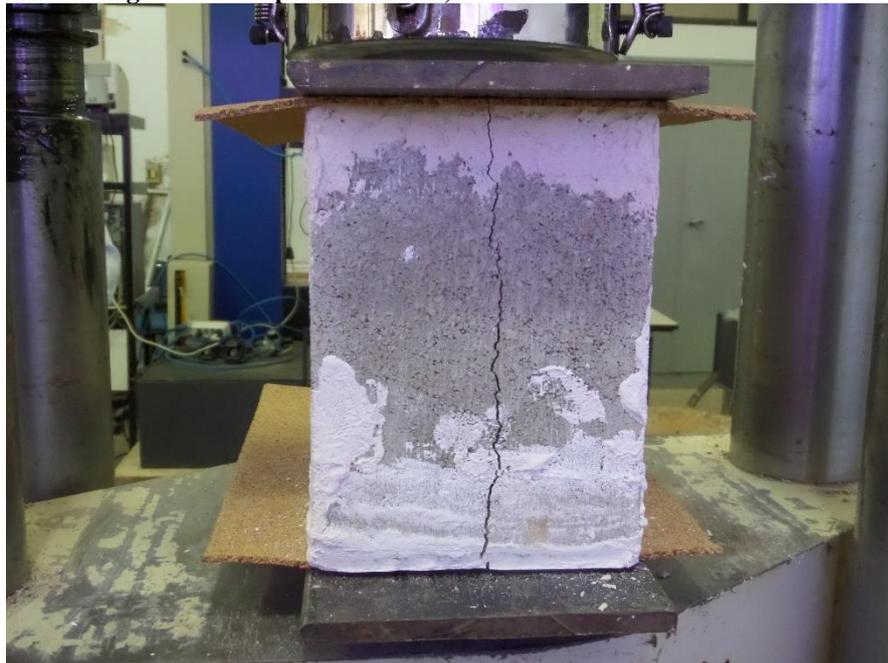
Fonte: Próprios autores

Figura 25 – Ruptura do Bloco, fissura longitudinal



Fonte: Próprias autoras

Figura 26 – Ruptura do Bloco, fissura vertical na face frontal



Fonte: Próprias autoras

4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA

Os ensaios na argamassa tiveram o mesmo intuito dos ensaios realizados nos blocos, determinar a resistência a compressão. A Tabela 8 mostra os valores obtidos nos ensaios dos corpos de prova cilíndricos de 5x10cm.

Tabela 8 – Resistência a compressão da argamassa

Corpo de Prova	Área (mm ²)	Carga Máxima (Kgf)	Tensão Individual (Mpa)	Tensão Média (Mpa)
1	1963,49	893,18	4,46	
2	1963,49	852,61	4,26	
3	1963,49	863,95	4,31	4,50
4	1963,49	900,74	4,50	
5	1963,49	994,25	4,97	
6	1963,49	914,49	4,57	
7	1963,49	970,53	4,85	4,66
8	1963,49	911,74	4,55	
11	1963,49	1066,79	5,33	
12	1963,49	1185,74	5,92	
13	1963,49	1156,86	5,78	5,44
14	1963,49	944,06	4,72	

Fonte: Próprias autoras

4.3 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DOS PRISMAS

4.3.1 Características dimensionais dos prismas

As Tabelas de 9 a 12 mostram as características dimensionais dos prismas submetidos aos ensaios a compressão.

Tabela 9 – Características dimensionais dos prismas com junta de 10 mm

Espessura da Junta (mm)	Prisma	Dimensões (mm)			Área Bruta (mm ²)
		Larg.	Comp.	Altura	
10	1	140	290	590	40600
10	2	141	291	590	41031
10	3	140	290	590	40600
10	4	140	293	595	41020
10	5	140	291	600	40740
10	6	140	290	598	40600
10	7	140	290	600	40600

Fonte: Próprias autoras

Tabela10– Características dimensionais dos prismas com junta de 15 mm

Espessura da Junta (mm)	Prisma	Dimensões (mm)			Área Bruta (mm ²)
		Larg.	Comp.	Altura	
15	8	140	295	600	41300
15	9	140	290	600	40600
15	10	145	290	605	42050
15	11	140	290	600	40600
15	12	143	295	605	42185
15	13	140	295	600	41300
15	14	145	290	608	42050
15	15	140	290	608	40600

Fonte: Próprias autoras

Tabela 11 – Características dimensionais dos prismas com junta de 20 mm

Espessura da Junta (mm)	Prisma	Dimensões (mm)			Área Bruta (mm ²)
		Larg.	Comp.	Altura	
20	16	140	290	610	40600
20	17	140	290	613	40600
20	18	140	291	612	40740
20	19	140	290	610	40600
20	20	140	290	610	40600
20	21	140	292	618	40880
20	22	145	291	615	42195
20	23	140	291	620	40740

Fonte: Próprias autoras

Tabela 12 – Características dimensionais dos prismas com junta de 25 mm

Espessura da Junta (mm)	Prisma	Dimensões (mm)			Área Bruta (mm ²)
		Larg.	Comp.	Altura	
25	24	140	290	625	40600
25	25	140	290	630	40600
25	26	140	290	630	40600
25	27	141	290	630	40890
25	28	140	295	630	41300
25	29	142	290	625	41180
25	30	140	295	615	41300

Fonte: Próprias autoras

4.3.2 Características mecânicas dos prismas

Os primas também foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão, para a determinação da tensão de ruptura foi utilizada a área líquida média do bloco. As Tabelas 13 a 16 mostram os resultados dos ensaios.

Tabela 13 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 10mm

Prismas	Área Líquida Média (cm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão Individual (Mpa)	Média
1	243	18,25	7,365	
2	243	17,25	6,962	
3	243	15,5	6,255	
4	243	10,98	4,431	4,70
5	243	5,18	2,090	
6	243	7,23	2,918	
7	243	7,07	2,853	

Fonte: Próprias autoras

Analisando a Tabela 13, verifica-se que os corpos de prova 5, 6 e 7 apresentaram valores consideravelmente abaixo do esperado. Como não haviam blocos danificados, pressupõe-se que isso ocorreu devido a erros de leitura causados pela troca de operador da prensa nos rompimentos dos prismas 5, 6 e 7.

Tabela 14 - Resistência a compressão dos prismas com junta de 15 mm

Prismas	Área Líquida Média (cm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão Individual (Mpa)	Média
8	243	15,99	6,453	
9	243	14,7	5,932	
10	243	18,8	7,587	
11	243	15,89	6,413	5,83
12	243	11,89	4,798	
13	243	13,25	5,347	
14	243	12,01	4,847	
15	243	13,1	5,287	

Fonte: Próprias autoras

Tabela 15 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 20 mm

Prismas	Área Líquida Média (cm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão Individual (Mpa)	Média
16	243	13,94	5,626	
17	243	13,62	5,497	
18	243	11,69	4,718	
19	243	11,33	4,572	
20	243	6,18	2,494	5,11
21	243	14,71	5,936	
22	243	15,54	6,271	
23	243	14,32	5,779	

Fonte: Próprias autoras

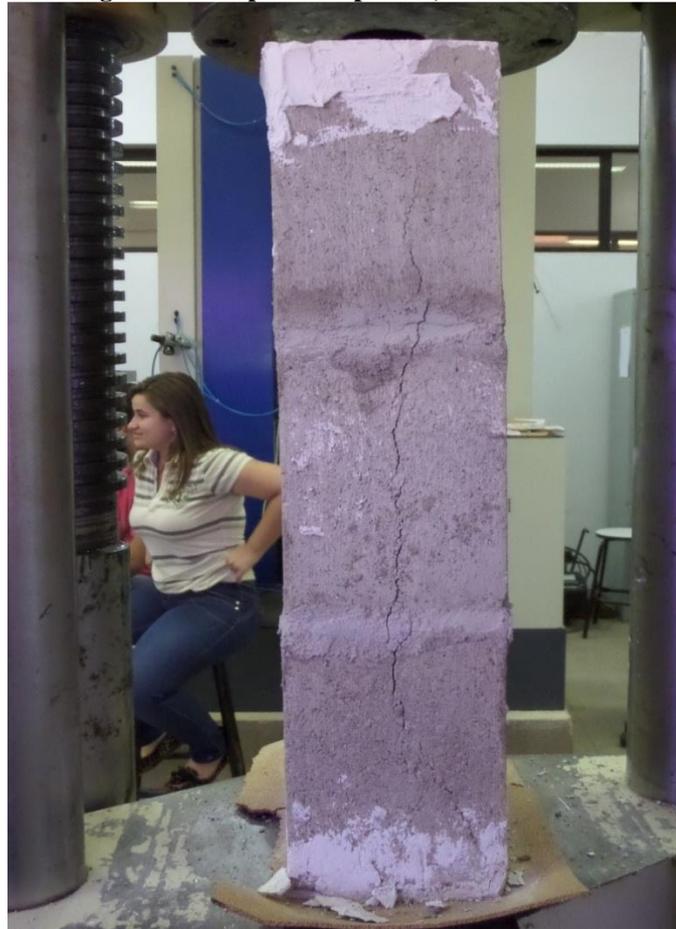
Tabela 16 – Resistência a compressão dos prismas com junta de 25 mm

Prismas	Área Líquida Média (cm ²)	Carga Máxima (t)	Tensão Individual (Mpa)	Média
24	243	15,74	6,352	
25	243	7,8	3,148	
26	243	7,16	2,890	
27	243	10,35	4,177	4,79
28	243	17,13	6,913	
29	243	13,76	5,553	
30	243	11,12	4,488	

Fonte: Próprias autoras

Durante o ensaio de resistência à compressão dos prismas pode-se perceber que um tipo de ruptura se manteve constante: a fissura vertical na face frontal do prisma, Figura 27 e 28. E alguns prismas tiveram esfacelamento da parede lateral de um dos blocos utilizados no prisma, Figura 29.

Figura 27 – Ruptura do prisma, fissura vertical



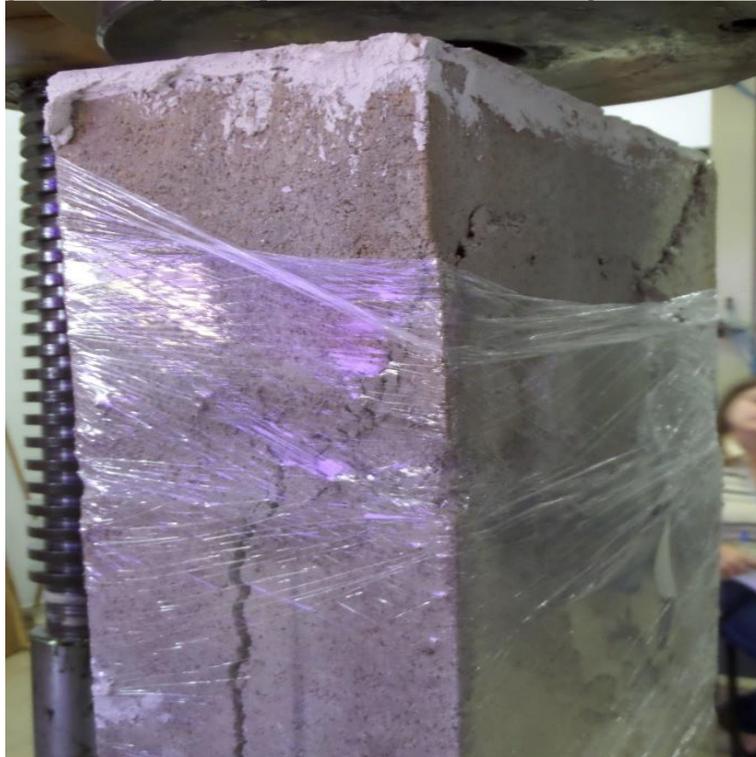
Fonte: Próprias autoras

Figura 28 – Ruptura do prisma, fissura vertical frontal



Fonte: Próprias autoras

Figura 29 – Ruptura do prisma, fissura vertical e longitudinal no bloco



Fonte: Próprias autoras

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

As comparações entre os resultados experimentais dos prismas foram feitas a partir de tabelas que facilitaram a visualização do ganho, ou perda, da resistência conforme as espessuras das juntas eram alteradas. A principal análise entre todas as espessuras de juntas apresentadas é a de ganho médio da tensão de ruptura.

Os dados apresentados nas tabelas seguem as seguintes definições:

- a) valor máximo: maior valor entre as cargas de ruptura apresentadas;
- b) valor mínimo: menor valor entre as cargas de ruptura apresentadas;
- c) média 1: média considerando todas as cargas de ruptura;
- d) média 2: média retirando-se os valores máximos e mínimos;
- e) desvio padrão: medida de variação em relação à média 1;
- f) valor característico 1: diferença entre a média 1 e o desvio padrão;
- g) valor característico 2: diferença entre a média 2 e o desvio padrão.

Tabela 17 – Comparação entre as juntas de 10mm e 15mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 15mm	
Valor Máximo	18,25	18,80	3,01
Valor Mínimo	5,18	11,89	129,54
Média 1	11,64	14,45	24,20
Média 2	11,61	14,16	21,98
Desvio Padrão	5,36	2,37	-
Valor Característico 1	6,27	12,09	92,65
Valor Característico 2	6,24	11,79	88,85

Fonte: Próprias autoras

Tabela 18 – Comparação entre as juntas de 10 mm e 20 mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 20mm	
Valor Máximo	18,25	15,54	-14,85
Valor Mínimo	5,18	6,18	19,31
Média 1	11,64	12,67	8,84
Média 2	11,61	13,27	14,32
Desvio Padrão	5,36	2,99	-
Valor Característico 1	6,27	9,68	54,25
Valor Característico 2	6,24	10,28	64,66

Fonte: Próprios autores

Tabela 19 – Comparação entre as juntas de 10mm e 25mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 25mm	
Valor Máximo	18,25	17,13	-6,14
Valor Mínimo	5,18	7,16	38,22
Média 1	11,64	11,87	1,96
Média 2	11,61	11,75	1,28
Desvio Padrão	5,36	3,83	--
Valor Característico 1	6,27	8,04	28,14
Valor Característico 2	6,24	7,93	26,99

Fonte: Próprios autores

A espessura de 10 mm é considerada medida padrão entre os outros valores de espessuras, por isso, foi utilizada como parâmetro comparativo entre elas.

Com base na média 1 a espessura que obteve maior ganho foi a de 15 mm, aproximadamente 24,20%, enquanto as juntas de 20 e 25 mm apresentaram ganho de 8,84% e 1,96%, respectivamente em relação a de 10mm. Para média 2 a espessura que obteve maior ganho também foi a de 15 mm, aproximadamente 21,98%, enquanto as juntas de 20 e 25 mm apresentaram acréscimo de 14,32% e 1,28%, respectivamente em relação a de 10mm.

Por essa análise temos que a espessura da junta com valores mais satisfatórios em relação às médias foi de 15mm. Embora a junta com espessura de 25 mm tenha mostrado valores mais baixos em relação as outras, a espessura de 10 mm mostrou-se a menos favorável. Entretanto, o uso da junta de 10 mm pode ser considerada mais vantajosa em relação à espessura

de 25mm quando considera-se os custos com o aumento de material, para obter pequenos ganhos em relação a de 10mm.

Tabela 20 – Comparação entre as juntas de 15mm e 20mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 15mm	Esp. 20mm	
Valor Máximo	18,80	15,54	-17,34
Valor Mínimo	11,89	6,18	-48,02
Média 1	14,45	12,67	-12,37
Média 2	14,16	13,27	-6,28
Desvio Padrão	2,37	2,99	
Valor Característico 1	12,09	9,68	-19,93
Valor Característico 2	11,79	10,28	-12,81

Fonte: Próprias autoras

Tabela 21 – Comparação entre as juntas de 15mm e 25mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 15mm	Esp. 25mm	
Valor Máximo	18,80	17,13	-8,88
Valor Mínimo	11,89	7,16	-39,78
Média 1	14,45	11,87	-17,91
Média 2	14,16	11,75	-16,97
Desvio Padrão	2,37	3,83	
Valor Característico 1	12,09	8,04	-33,49
Valor Característico 2	11,79	7,93	-32,76

Fonte: Próprias autoras

Os resultados obtidos nas Tabelas 20 e 21 reafirmam o que já foi citado anteriormente: o uso da junta com espessura de 15 mm é o mais conveniente entre os outros valores de espessuras estudadas. Os valores das juntas de 20 mm e 25 mm apresentaram perdas significativas em relação às de 15mm, sendo a maior diferença entre a espessura de 15mm e a de 25mm, uma perda de 16,97% usando como comparação a média 2.

Tabela 22 – Comparação entre as juntas de 20 mm e 25 mm

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 20mm	Esp. 25mm	
Valor Máximo	15,54	17,13	10,23
Valor Mínimo	6,18	7,16	15,86
Média 1	12,67	11,87	-6,32
Média 2	13,27	11,75	-11,41
Desvio Padrão	2,99	3,83	28,04
Valor Característico 1	9,68	8,04	-16,93
Valor Característico 2	10,28	7,93	-22,88

Fonte: Próprias autoras

Com a Tabela 22 tem-se que o aumento da espessura da junta de 20mm para 25mm acarretou em uma perda de 11,41% , em relação a média 2. Comparando-se os valores característicos 2, o decréscimo aumenta para 22,88%.

Tabela 23 – Comparações entre as cargas de ruptura médias 1

Espessura (mm)	Carga de Ruptura Média (t)	Ganho 1 (%)	Ganho 2 (%)	Ganho 3 (%)
10	11,64	-	-	-
15	14,45	24,14	-	-
20	12,67	8,85	-12,32	-
25	11,87	1,98	-17,85	-6,31

Fonte: Próprias autoras

Tabela 24 – Comparações entre os valores característicos 1

Espessura (mm)	Valor Característico (t)	Ganho 1 (%)	Ganho 2 (%)	Ganho 3 (%)
10	6,27	-	-	-
15	12,09	92,82	-	-
20	9,68	54,39	-19,93	-
25	8,04	28,23	-33,50	-16,94

Fonte: Próprias autoras

Observando as Tabelas 23 e 24, tem-se que com o aumento da espessura da junta de assentamento de 10 mm para 15 mm houve um acréscimo de 24,14% na resistência média e de 92,82% na resistência característica. Entretanto, analisando os resultados dos prismas com a junta de 20 mm também mostraram-se superiores em relação aos de 10 mm, obtendo um aumento de 8,85% na resistência à compressão média, entretanto, quando comparados aos prismas com juntas de 15 mm apresentaram redução de 12,32% no mesmo item, indicando que não houve vantagem no aumento da junta dos prismas. Os prismas com junta de 25 mm quando comparados aos de 10 mm, apresentaram ganho de 1,98%, quando comparados à de 15mm e 20mm, houve uma perda de 17,85% e de 6,31% respectivamente.

Caso as análises fossem feitas apenas com as juntas de 10 mm e 15 mm poderíamos entender que a resistência à compressão dos prismas seria diretamente proporcional à espessura da junta, o que não foi observado no decorrer das comparações. Daí, temos a importância da realização de ensaios com várias espessuras de juntas.

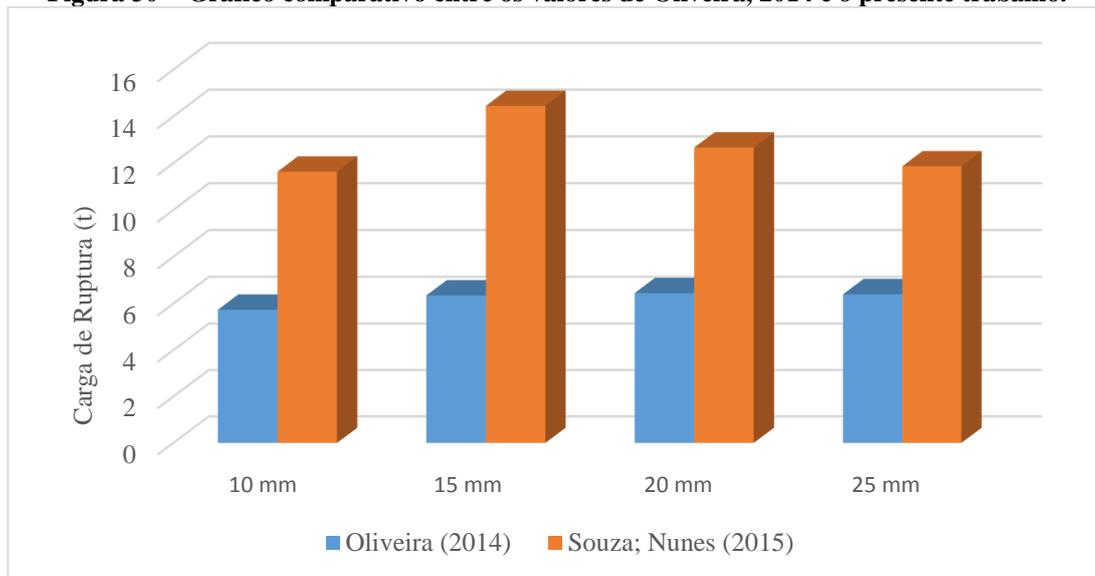
Segundo Oliveira (2014), mesmo demonstrando aumento da tensão média, a junta de 25mm não pôde ser considerada a de melhor desempenho, pois o ganho em relação à espessura de 15mm é muito baixo (ver tabela 24), haja visto que o consumo de argamassa aumenta em aproximadamente 67%.

Tabela 25 - Comparação entre tensões médias do ensaio de (OLIVEIRA, 2014)

Espessura (mm)	Carga de Ruptura Média (t)	Ganho 1 (%)	Ganho 2 (%)	Ganho 3 (%)
10	5,74	-	-	-
15	6,48	12,81	-	-
20	6,42	11,82	-0,88	-
25	6,55	14,08	1,13	2,02

Fonte: Oliveira, 2014

Figura 30 - Gráfico comparativo entre os valores de Oliveira, 2014 e o presente trabalho.



Fonte: Próprias autoras

Comparando os resultados de Oliveira (2014) e os dados obtidos neste trabalho, através da imagem 30, temos:

- a) para junta com espessura de 10 mm, houve um acréscimo de 102,79%
- b) para junta com espessura de 15 mm, houve um acréscimo de 127,56%
- c) para junta com espessura de 20 mm, houve um acréscimo de 96,43%
- d) para junta com espessura de 25 mm, houve um acréscimo de 85,47%

As juntas de 10 e 15 mm obtiveram o dobro dos valores de Oliveira (2014). Esse fato pode ser atribuído principalmente às fissuras pré-existentes nos blocos utilizados por ele, que diminuíram a sua capacidade de carga.

Considerando a hipótese de erro de leitura e a impossibilidade de repetição dos ensaios da série de prismas de 1 a 7, analisou-se um cenário hipotético onde os valores de ruptura dos corpos de prova 5, 6 e 7 são substituídos pela média de ruptura dos corpos de prova de 1 a 4. E com esse cenário montou-se as Tabelas 26, 27 e 28.

Tabela 26 – Comparação entre a junta de 10 mm e 15 mm no cenário hipotético

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 15mm	
Valor Máximo	18,25	18,80	3,01
Valor Mínimo	10,98	11,89	8,29
Média 1	15,50	14,45	-6,72
Média 2	15,85	14,16	-10,67
Desvio Padrão	2,28	2,37	-
Valor Característico 1	13,22	12,09	-8,57
Valor Característico 2	13,57	11,79	-13,13

Fonte: Próprias autoras

Tabela 27 - Comparação entre as juntas de 10 mm e 20 mm no cenário hipotético

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 20mm	
Valor Máximo	18,25	15,54	-14,85
Valor Mínimo	10,98	6,18	-43,72
Média 1	15,50	12,67	-18,26
Média 2	15,85	13,27	-16,27
Desvio Padrão	2,28	2,99	-
Valor Característico 1	13,22	9,68	-26,79
Valor Característico 2	13,57	10,28	-24,26

Fonte: Próprias autoras

Tabela 28 – Comparação entre as juntas de 10mm e 25mm no cenário hipotético

Prismas	Carga de Ruptura (t)		Ganho de Resistência (%)
	Esp. 10mm	Esp. 25mm	
Valor Máximo	18,25	17,13	-6,14
Valor Mínimo	10,98	7,16	-34,79
Média 1	15,50	11,87	-23,42
Média 2	15,85	11,75	-25,83
Desvio Padrão	2,28	3,83	-
Valor Característico 1	13,22	8,04	-39,19
Valor Característico 2	13,57	7,93	-41,59

Fonte: Próprias autoras

Com base nas Tabelas de 26 a 28, todas as espessuras comparadas à junta de 10 mm obtiveram perdas. Analisando a média 1, a espessura que obteve menor perda foi a de 15 mm, aproximadamente 6,72%, enquanto as juntas de 20 e 25 mm apresentaram perda de 18,26% e 23,42%, respectivamente em relação a de 10mm. O mesmo acontece quando verifica-se a média 2, a espessura que obteve menor perda também foi a de 15 mm, aproximadamente 10,67%, enquanto as juntas de 20 e 25 mm apresentaram perda de 16,27% e 25,83%, respectivamente em relação a de 10mm.

Através dessa análise tem-se que a espessura da junta com valores mais satisfatórios em relação às médias foi de 10mm. A espessura de 25 mm mostrou-se a menos favorável. Adotando essa avaliação, pode-se estabelecer que a relação entre espessura e resistência são inversamente proporcionais, ou seja, o aumento da espessura impõe uma diminuição da sua eficiência.

Os dados das Tabelas 20, 21 e 22, referente às juntas de 15mm, 20mm e 25mm não sofreram possíveis erros de leitura, portanto não foram necessárias alterações.

Tabela 29 – Comparações entre as cargas de ruptura médias 1 no cenário hipotético

Espessura (mm)	Carga de Ruptura Média (t)	Ganho 1 (%)	Ganho 2 (%)	Ganho 3 (%)
10	15,5	-	-	-
15	14,45	-6,77	-	-
20	12,67	-18,26	-12,32	-
25	11,87	-23,42	-17,85	-6,31

Fonte: Próprias autores

Tabela 30 – Comparações entre os valores característicos 1 no cenário hipotético

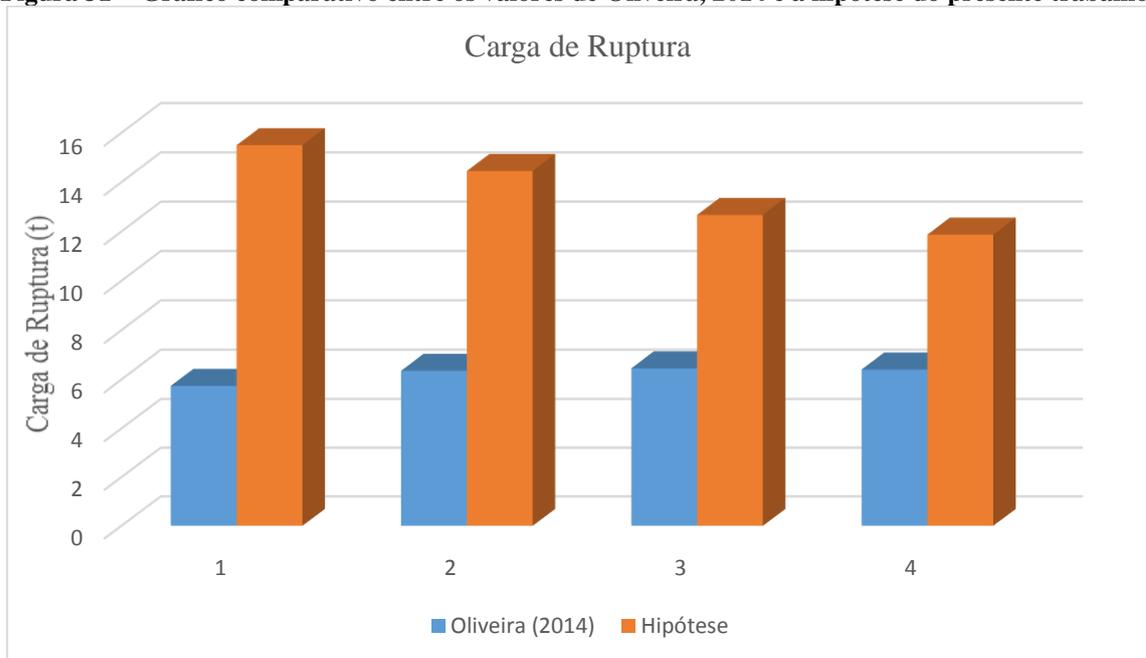
Espessura (mm)	Valor Característico (t)	Ganho 1 (%)	Ganho 2 (%)	Ganho 3 (%)
10	13,22	-	-	-
15	12,09	-8,55	-	-
20	9,68	-26,78	-19,93	-
25	8,04	-39,18	-33,50	-16,94

Fonte: Próprias autores

Considerando as Tabelas 29 e 30, tem-se que com o aumento da espessura da junta de assentamento de 10 mm para 15 mm verificou-se um decréscimo de 6,77% na resistência média

e de 8,55% na resistência característica. Os prismas com a junta de 20 mm também mostraram-se inferiores em relação aos de 10 mm, obtendo uma perda de 18,26% na resistência à compressão média. Os prismas com junta de 25 mm em relação aos de 10 mm, também apresentaram perda de 23,42%.

Figura 31 - Gráfico comparativo entre os valores de Oliveira, 2014 e a hipótese do presente trabalho.



Fonte: Próprias autoras

Analisando os resultados de Oliveira (2014) e os dados obtidos neste trabalho através do cenário hipotético, temos que para junta de 10 mm houve um acréscimo de 169,95%. Os valores entre as juntas de 15mm, 20mm e 25mm analisados anteriormente se mantiveram constantes.

5 CONCLUSÕES

Considerando a resistência à compressão do bloco pode-se observar que o mesmo atingiu os resultados esperados, pois todos os blocos ensaiados obtiveram tensões maiores do que a informada pelo fabricante de 4,5 MPa. Segundo a NBR 6136 (ABNT, 2013), estes blocos foram classificados como Classe B – com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

O presente estudo obteve resultados que indicam que a junta de 15mm foi mais eficaz dentre as que foram estudadas, reafirmando o já proposto por Oliveira (2014) e Bandeira (2014). Entretanto, no cenário hipotético a espessura da junta mais eficiente foi a de 10mm, confirmando os resultados apresentados por Cheema e Klinger *apud* Mohamad (1998) e Khalaf *apud* Romagna (2000), que alegaram perda de resistência quando a espessura é aumentada para mais de 10mm. Tais resultados mostram que a espessura da junta e sua variação podem influenciar na resistência a compressão da alvenaria.

Conseguiu-se atingir os objetivos propostos, visto que foi comprovada a influência da espessura da junta de assentamento na alvenaria estrutural, e que essa influência é relevante para a resistência final dos prismas. Visto também que apesar dos blocos de Oliveira (2014) e Bandeira (2014) possuírem dano, a tendência geral apresentada nas tabelas foi a mesma.

Muitos estudos ainda podem ser realizados buscando a melhoria e aperfeiçoamento das espessuras das juntas de argamassa em alvenaria estrutural. Neste intuito, recomenda-se realizar os mesmos testes incluindo as espessuras de 7,5; 12,5; 17,5 e 22,5 mm e também alterar o traço da argamassa.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2013. 10 p.

_____. NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2013. 14 p.

_____. NBR 15961-1: **Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – Parte 1 – Projeto**. Rio de Janeiro, 2011. 42 p.

_____. NBR 15961-2: **Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Parte 2 – Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro, 2011. 35p.

ARAUJO NETO, G. N. de. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão em prismas de alvenaria resistente de blocos de concreto**. Dissertação de mestrado. Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.

BANDEIRA, B. N. **Análise da Resistência de Prismas de Blocos de Concreto com variação da Espessura das Juntas de Argamassa em Alvenaria Estrutural**. TCC, Publicação ENC. PF-041A/14, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, GO, 74p. 2014.

GOMES, I. R. **Simulação numérica do ensaio de compressão de prisma de alvenaria pelo método dos elementos finitos com comportamento de interface**. Tese de doutorado. Engenharia de produção. UFSC. Brasil, 2001.

HILSDORF, H. K. (1969). **An investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression**. Designing, Engineering and construction with masonry products. pp.34-41.

KALIL, S. M. B. *et al.* **Alvenaria Estrutural**, pag. 04. PUCRS, 2012.

KHALAF, A . W. HENDRY AND D. R. FAIRBAIN - **Study of the compressive strength of blockwork masonry**. ACI. Structural journal- 1994 - volume 91.

MAGALHÃES, Ernani Freitas de. **Fissuras em alvenaria: configurações típicas e levantamento de incidências no Estado do Rio Grande do Sul**. Escola de engenharia, Porto Alegre, BR – RS, 2004.

MOLINARI NETO, M. A. **Um modelo realístico paara a análise de pórtico plano solidário a paredes de alvenaria, submetido a carregamento quase estático, monotônico e crescente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

MOHAMAD, G. (1998). **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. Dissertação de mestrado. Dep. de Eng. Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

MOTA, J. A. R. **Influência da Junta Vertical Na Resistência à Compressão de Prismas em Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto e Blocos de Concreto Celular Autoclavado.** Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, MG, 2001.

MULLER, M. S. K. **Estudo das correlações entre resistência a compressão das paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos à esforços de compressão axial.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 269p., 1989.

NASCIMENTO NETO, Joel. **Investigação das solicitações de cisalhamento em edifícios de alvenaria estrutural submetidos a ações horizontais.** São Carlos, 1999. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, M. H. **Análise da resistência de prismas de blocos de concreto com variação da espessura das juntas de argamassa em alvenaria estrutural.** (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2006.

OLIVEIRA, H. R. **Análise da Resistência de Prismas de Blocos de Concreto com variação da Espessura das Juntas de Argamassa em Alvenaria Estrutural.** TCC, Publicação ENC. PF- 034A/14, Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, GO, 52p. 2014.

PAGE, A. W.; SIMUNDIC, G.; HAN XIE. **A study of the relationship between unit, prim and wall strength for hollow masonry loaded in compression.** 9th International brick/block masonry conference, Berlin, Alemanha, Proceedings, vol.1, p236-243, 1991

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projetos de Edifícios em Alvenaria Estrutural.** São Paulo, PINI, 2003.

ROMAGNA, R. H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não-grauteados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SABBATINI, F. HENRIQUE e ALY, V. L. CASTEX – **Determinação da Capacidade Resistente do Elemento Parede de Alvenaria Armada de Blocos de Concreto, Submetido à Esforços de Compressão.** Boletim técnico da escola politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1994.

SILVA, Sousa. **A evolução dos edifícios em alvenaria autoportante** - Escola Politécnica Da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

SOTO IZQUIERDO, Orieta. **Influência do tipo de argamassamento e da utilização de peças de ajuste dimensional na resistência à compressão da alvenaria de blocos de concreto;** Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

STEIL, R.O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados.** 162p, Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TAVARES, J. H. **Alvenaria estrutural: estudo bibliográfico e definições** – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção** – PINI, São Paulo, 2001.