

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Dissertação de Mestrado

**COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO: BLOCO DE CONCRETO CELULAR
AUTOCLAVADO X BLOCO CERÂMICO**

Autor: Fabiana de Carvalho Ferraz

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador: Prof. Dr. Eduardo Chahud

Belo Horizonte, MG

2011

COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO: BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO X BLOCO CERÂMICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Chahud

Belo Horizonte, MG

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil: Materiais de Construção

DISSERTAÇÃO INTITULADA “COMPARAÇÃO DOS SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO: BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO X BLOCO CERÂMICO”, DE AUTORIA DA MESTRANDA FABIANA DE CARVALHO FERRAZ, DEFENDIDA EM 25 DE MAIO 2011 E SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA CONSTITUÍDA PELOS PROFESSORES:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Orientador - Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Dr. Eduardo Chahud
Co-Orientador - Escola de Engenharia/UFMG

Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
FUMEC

Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr
USP

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior pela orientação, apoio, incentivo e amizade.

Ao Prof. Eduardo Chahud pela ajuda e palpites certos.

Aos professores do curso de Mestrado em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG, pela dedicação e incentivo.

À minha família, em especial ao meu pai, Seu Gilmar, por acreditar em mim.

À minha irmã Patrícia, pelos conselhos.

À Precon Industrial S/A, pelo suporte, pelo empréstimo de seus laboratórios, doação de materiais e fornecimento de mão-de-obra.

À Deus pela força e por escrever certo por linhas tortas. Obrigada pelos caminhos que me conduziram até aqui. Pelas pessoas que conheci e por tudo que tens reservado para minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA	ix
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE NOTAÇÕES	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO	19
3 REVISÃO DA LITERATURA	20
3.1 Concreto Celular Autoclavado	20
3.2 Material Cerâmico	23
3.3 Desempenho na construção civil	28
4 METODOLOGIA	30
4.1 Seleção dos materiais utilizados nos ensaios	30
4.1.1 Bloco de Concreto Celular Autoclavado	30
4.1.2 Bloco Cerâmico	31
4.1.3 Argamassas	31
4.1.4 Cimento	31
4.1.5 Cal	31
4.1.6 Areia	32
4.2 Ensaios	32
4.2.1 Ensaios de caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado	32
4.2.1.1 Determinação das dimensões	33
4.2.1.1.1 Dimensões nominais	34
4.2.1.1.2 Tolerâncias de Fabricação	35
4.2.1.2 Preparo dos corpos-de-prova	35

4.2.1.3	Determinação da densidade de massa aparente seca	39
4.2.1.4	Determinação da resistência à compressão	39
4.2.2	Ensaio de caracterização dos blocos cerâmicos	41
4.2.2.1	Determinação das dimensões	42
4.2.2.1.1	Dimensões nominais	44
4.2.2.1.2	Tolerâncias de Fabricação	45
4.2.2.2	Preparo dos corpos-de-prova	45
4.2.2.3	Determinação da resistência à compressão	46
4.2.3	Determinação da resistência à compressão dos prismas de blocos de concreto celular autoclavado	47
4.2.3.1	Preparo dos prismas de bloco CCA	48
4.2.3.2	Determinação da resistência à compressão	49
4.2.4	Determinação da resistência à compressão dos prismas de blocos cerâmicos	51
4.2.4.1	Preparo dos prismas de bloco cerâmico	51
4.2.4.2	Determinação da resistência à compressão	52
4.2.5	Determinação da resistência à compressão das paredes de blocos de concreto celular autoclavado	53
4.2.5.1	Construção das paredes de bloco CCA	54
4.2.5.2	Transporte das paredes de bloco CCA	56
4.2.5.3	Determinação da resistência à compressão	56
4.2.6	Determinação da resistência à compressão das paredes de blocos cerâmicos	58
4.2.6.1	Construção das paredes de bloco cerâmico	58
4.2.6.2	Transporte das paredes de bloco cerâmico	59
4.2.6.3	Determinação da resistência à compressão	60
4.2.7	Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas	61
4.2.7.1	Resistência à tração na flexão	65
4.2.7.2	Resistência à compressão	66
4.2.8	Ensaio de impacto de corpo duro	67
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	72
5.1	Resultados dos ensaios dos blocos de concreto celular autoclavado	72
5.1.1	Determinação da Densidade de Massa Seca	72
5.1.2	Determinação da Resistência à Compressão	73
5.2	Resultados dos ensaios dos blocos cerâmicos	74

5.2.1 Determinação da Resistência à Compressão dos blocos cerâmicos	74
5.2.2 Eficiência do bloco cerâmico em relação ao bloco CCA	75
5.3 Resultados dos ensaios dos prismas de concreto celular autoclavado	73
5.3.1 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa industrial	73
5.3.2 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	76
5.3.3 Eficiência do Prisma BCCA com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação ao Prisma BCCA com argamassa industrial	77
5.4 Resultados dos ensaios dos prismas de bloco cerâmico	78
5.4.1 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa industrial	78
5.4.2 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	78
5.4.3 Eficiência do Prisma de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação ao Prisma de bloco cerâmico com argamassa industrial	79
5.5 Resultados dos ensaios das paredes de concreto celular autoclavado	80
5.5.1 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa industrial	80
5.5.2 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	80
5.5.3 Eficiência da Parede BCCA com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à Parede BCCA com argamassa industrial	81
5.6 Resultados dos ensaios das paredes de bloco cerâmico	81
5.6.1 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa industrial	81
5.6.2 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	82
5.6.3 Eficiência da Parede de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à Parede de bloco cerâmico com argamassa industrial	82
5.7 Eficiência dos sistemas em relação às argamassas	83
5.7.1 Eficiência do Sistema BCCA com a utilização da argamassa industrial	83
5.7.2 Eficiência do Sistema BCCA com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	83

5.7.3 Eficiência do Sistema Cerâmico com a utilização da argamassa industrial	84
5.7.4 Eficiência do Sistema Cerâmico com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	84
5.7.5 Resistência média à compressão dos elementos	85
5.8 Resultados dos ensaios das argamassas	86
5.8.1 Determinação da Resistência à Tração na Flexão para argamassa industrial	86
5.8.2 Determinação da Resistência à Tração na Flexão para argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	87
5.8.3 Eficiência da Tração na Flexão para a argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à argamassa industrial	88
5.8.4 Determinação da Resistência à Compressão para argamassa industrial	88
5.8.5 Determinação da Resistência à Compressão para argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)	89
5.8.6 Eficiência da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à argamassa industrial para a Compressão	90
5.8.7 Resistência à Tração na Flexão e à compressão das argamassas	90
5.9 Resultados dos ensaios de impacto de corpo duro	91
5.9.1 Paredes de Concreto Celular Autoclavado	91
5.9.2 Paredes de Blocos Cerâmicos	91
5.9.3 Análise dos resultados	92
6 CONCLUSÕES	93
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES	95
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Alvenaria de vedação	18
FIGURA 3.1 - Esquema do processo de fabricação do BCCA	21
FIGURA 3.2 - Características do BCCA	22
FIGURA 3.3 - Alvenaria com a utilização do BCCA	23
FIGURA 3.4 - Diagrama esquemático do processo de fabricação de componentes de cerâmica vermelha	24
FIGURA 3.5 - Extrusão de filete de argila em maromba	24
FIGURA 3.6 - Forno do tipo Túnel: detalhe da saída da cerâmica, após a queima	27
FIGURA 3.7 - Edifício habitacional	29
FIGURA 4.1 - Esquema para determinação das dimensões	34
FIGURA 4.2 - Localização dos corpos-de-prova	36
FIGURA 4.3 - Extração dos corpos-de-prova de CCA	37
FIGURA 4.4 - Identificação dos corpos-de-prova de CCA	37
FIGURA 4.5 - Secagem dos corpos-de-prova de CCA	38
FIGURA 4.6 - Pesagem dos corpos-de-prova de CCA	38
FIGURA 4.7 - Nivelamento dos corpos-de-prova de CCA	39
FIGURA 4.8 - Ensaio de compressão dos corpos-de-prova de CCA	40
FIGURA 4.9 a) - Locais para medições da largura (L) do bloco	42
FIGURA 4.9 b) - Locais para medições da altura (H) do bloco	43
FIGURA 4.9 c) - Locais para medições do comprimento (C) do bloco	43
FIGURA 4.10 - Nivelamento dos corpos-de-prova cerâmicos	45
FIGURA 4.11 - Saturação dos corpos-de-prova cerâmicos	46
FIGURA 4.12 - Ensaio de compressão dos corpos-de-prova cerâmicos	47
FIGURA 4.13 - Indicador de leitura de força	47
FIGURA 4.14 - Prismas BCCA	48
FIGURA 4.15 - Ensaio de compressão dos prismas BCCA – argamassa industrial	49
FIGURA 4.16 - Ensaio de compressão dos prismas BCCA – argamassa traço 1:3:8	50
FIGURA 4.17 - Indicador de leitura de força	50
FIGURA 4.18 - Verificação do nível	51
FIGURA 4.19 - Prismas cerâmicos	52
FIGURA 4.20 - Ensaio de compressão dos prismas cerâmicos – argamassa industrial	53
FIGURA 4.21 - Ensaio de compressão dos prismas cerâmicos – argamassa traço 1:3:8	53
FIGURA 4.22 - Suporte para nivelamento das paredes	54

FIGURA 4.23 - Suporte de madeira para transporte das paredes	54
FIGURA 4.24 - Construção das paredes BCCA	55
FIGURA 4.25 - Transporte das paredes BCCA	56
FIGURA 4.26 - Ensaio de compressão das paredes BCCA – argamassa industrial	57
FIGURA 4.27 - Ensaio de compressão das paredes BCCA: ruptura – argamassa industrial	57
FIGURA 4.28 - Ensaio de compressão das paredes BCCA: ruptura – argamassa traço 1:3:8	58
FIGURA 4.29 - Construção das paredes cerâmicas	59
FIGURA 4.30 - Processo de transporte das paredes cerâmicas	60
FIGURA 4.31 - Ensaio de compressão das paredes cerâmicas – argamassa industrial	60
FIGURA 4.32 - Ensaio de compressão das paredes cerâmicas – traço 1:3:8	61
FIGURA 4.33 - Molde prismático	62
FIGURA 4.34 - Mesa de adensamento e contador de golpes	62
FIGURA 4.35 - Nivelador de camadas e utensílios para laboratório	63
FIGURA 4.36 - Argamassa no molde	63
FIGURA 4.37 - Argamassa rasada	64
FIGURA 4.38 - Secagem dos corpos-de-prova	64
FIGURA 4.39 - Ensaio de resistência à tração na flexão – argamassa industrial	65
FIGURA 4.40 - Ensaio de resistência à tração na flexão – traço 1:3:8	65
FIGURA 4.41 - Ensaio de resistência à compressão – argamassa industrial	66
FIGURA 4.42 - Ensaio de resistência à compressão – traço 1:3:8	67
FIGURA 4.43 - Ensaio de corpo duro – esfera de 0,5 kg (Parede BCCA)	68
FIGURA 4.44 - Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 0,5 kg (Parede BCCA)	69
FIGURA 4.45 - Ensaio de corpo duro – esfera de 1 kg (Parede BCCA)	69
FIGURA 4.46 - Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 1 kg (Parede BCCA)	70
FIGURA 4.47 - Ensaio de corpo duro – esfera de 0,5 kg (Parede Cerâmica)	70
FIGURA 4.48 - Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 0,5 kg (Parede Cerâmica)	71
FIGURA 4.49 - Ensaio de corpo duro – esfera de 1 kg (Parede Cerâmica)	71
FIGURA 4.50 - Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 1 kg (Parede Cerâmica)	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 - Número de aceitação e rejeição na inspeção por ensaio	32
TABELA 4.2 - Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca	33
TABELA 4.3 - Dimensões nominais e modulações dos blocos	34
TABELA 4.4 - Velocidade de compressão	41
TABELA 4.5 - Número de blocos dos lotes e da amostragem	42
TABELA 4.6 - Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação	44
TABELA 4.7 - Resistência à compressão (fb)	46
TABELA 5.1 - Densidade de massa aparente seca do bloco de concreto celular Autoclavado	72
TABELA 5.2 - Resistência à compressão do bloco de concreto celular autoclavado	73
TABELA 5.3 - Resistência à compressão do bloco cerâmico	74
TABELA 5.4 - Resistência à compressão do bloco CCA x bloco cerâmico	75
TABELA 5.5 - Resistência à compressão do prisma de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial	76
TABELA 5.6 - Resistência à compressão do prisma de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8	77
TABELA 5.7 - Resistência à compressão do prisma BCCA argamassa de traço 1:3:8 x prisma BCCA argamassa industrial	77
TABELA 5.8 - Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial	78
TABELA 5.9 - Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa traço 1:3:8	79
TABELA 5.10 - Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 x prisma de bloco cerâmico com argamassa industrial	79
TABELA 5.11 - Resistência à compressão da parede de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial	80
TABELA 5.12 - Resistência à compressão da parede de concreto celular autoclavado com a utilização de traço 1:3:8	80
TABELA 5.13 - Resistência à compressão da parede BCCA com argamassa de traço 1:3:8 x parede BCCA com argamassa industrial	81
TABELA 5.14 - Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial	81

TABELA 5.15 - Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8	82
TABELA 5.16 - Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 x parede de bloco cerâmico com argamassa industrial	82
TABELA 5.17 - Resistência à compressão do sistema BCCA com argamassa industrial	83
TABELA 5.18 - Resistência à compressão do sistema BCCA com argamassa de traço 1:3:8	83
TABELA 5.19 - Resistência à compressão do sistema cerâmico com argamassa industrial	84
TABELA 5.20 - Resistência à compressão do sistema cerâmico com argamassa de traço 1:3:8	84
TABELA 5.21 - Resistência média à compressão dos elementos	85
TABELA 5.22 - Resistência à tração na flexão para argamassa industrial	87
TABELA 5.23 a) - Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8	87
TABELA 5.23 b) - Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8	87
TABELA 5.24 - Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8 x argamassa industrial	88
TABELA 5.25 - Resistência à compressão para argamassa industrial	88
TABELA 5.26 a) - Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8	89
TABELA 5.26 b) - Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8	89
TABELA 5.26 c) - Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8	90
TABELA 5.27 - Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8 x argamassa industrial	90
TABELA 5.28 - Resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas	91

LISTA DE NOTAÇÕES

ABREVIATURAS E SIGLAS

AAC	Autoclaved Aerated Concrete
AACB	Autoclaved Aerated Concrete Block
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BCCA	Bloco de Concreto Celular Autoclavado
CCA	Concreto Celular Autoclavado
CP	Corpo-de-prova
Máx.	Máximo
NBR	Norma Brasileira

SÍMBOLOS E UNIDADES

cm	centímetro
mm	milímetro
mm ²	milímetro quadrado
m ³	metro cúbico
°C	grau Celsius
g	grama
kgf	quilograma força
kgf/cm ²	quilograma força por centímetro quadrado
kg	kilograma
kg/m ³	kilograma por metro cúbico
kN	quilonewton
MPa	megapascal
MPa/s	megapascal por segundo
N	Newton
N/s	Newton por segundo
N/mm ²	Newton por milímetro quadrado
h	hora
f	resistência
η	eficiência

n	número de amostras
J	Joules
DA	densidade de massa aparente seca do corpo-de-prova
M	massa do corpo-de-prova
V	volume do corpo-de-prova
f_c	resistência à compressão do corpo-de-prova
F_c	força máxima suportada pelo corpo-de-prova
A	área
f_t	resistência à tração na flexão
F_t	força aplicada verticalmente no prisma
D	distância entre os suportes
%	porcentagem
L	largura
H	altura
C	comprimento
b	bloco

RESUMO

Este trabalho busca comparar os sistemas de alvenaria de vedação feitos com bloco de concreto celular autoclavado, BCCA, com os feitos de bloco cerâmico sob a perspectiva dos aspectos mecânicos. Avaliou-se, por meio de ensaios laboratoriais, a resistência à compressão simples dos blocos, dos prismas e das paredes. Neste estudo foram avaliados dois tipos de argamassa: argamassa industrializada e argamassa dosada em obra com o traço 1:3:8 (cimento:cal:areia). A determinação do comportamento mecânico foi feita por meio dos seguintes ensaios: resistência à compressão dos blocos; resistência à compressão dos prismas; resistência à compressão das paredes; resistência à tração na flexão da argamassa; resistência à compressão axial da argamassa e impacto de corpo duro. Foram utilizados para os ensaios: blocos CCA de dimensões de 12,5 cm x 30 cm x 60 cm (espessura x altura x comprimento), blocos cerâmicos de dimensões de 14 cm x 19 cm x 29 cm (espessura x altura x comprimento), argamassa industrial e argamassa dosada em obra com o traço 1:3:8 (cimento, cal e areia). O sistema BCCA apresentou resistência à compressão superior ao sistema de bloco cerâmico. A utilização de argamassa industrial nos sistemas estudados mostrou maior eficiência e comportamento mais uniforme em relação à resistência à compressão. O sistema BCCA com a utilização de argamassa industrial apresentou desempenho melhor que os demais sistemas em relação aos aspectos analisados. O sistema BCCA apresentou conformidade com as exigências normativas sob os aspectos analisados. O sistema de bloco cerâmico não apresentou conformidade com as exigências normativas sob os aspectos analisados.

Palavras-chave: Alvenaria de vedação, Bloco de Concreto Celular Autoclavado, Bloco Cerâmico, Ensaios.

ABSTRACT

This work intends to compare the sealing masonry systems made with autoclaved aerated concrete block, AACB, with the ones made with ceramic blocks focusing on mechanical aspects. The simple compressive strength of blocks, prisms and walls has been evaluated by means of laboratory tests. In this study, two types of mortar have been evaluated: factory pre-blended mortar and site-dosed mortar with ratio 1:3:8 (cement: lime: sand). The determination of mechanical behavior has been made using the following tests: block compressive strength; prism compressive strength; wall compressive strength; mortar bending tensile strength; mortar axial compressive strength and hard body impact test. AAC blocks with dimensions of 12,5 cm x 30 cm x 60 cm (thickness x height x length), ceramic blocks with dimensions of 14 cm x 19 cm x 29 cm (thickness x height x length), industrialized mortar and site-dosed mortar with ratio 1:3:8 (cement: lime: sand) have been used during the tests. AACB system has presented compressive strength higher than the ceramic block system. Using industrialized mortar has shown greater efficiency and more uniform behavior. AACB system with using of industrialized mortar has presented the best performance among the studied systems regarding the analyzed aspects. AACB system has presented conformity with normative requests regarding the analyzed aspects. The ceramic block system has not presented conformity with normative requests regarding the analyzed aspects

Keywords: Sealing masonry, Autoclaved aerated concrete block, Ceramic block, Tests.

1. INTRODUÇÃO

Uma vida útil longa para uma edificação minimiza impactos ambientais e financeiros. Porém a durabilidade de uma construção depende dos materiais utilizados, técnicas construtivas, interação com o meio ambiente e medidas de manutenção.

Os materiais de construção e os sistemas construtivos precisam ser utilizados com técnica adequada para atingirem um melhor desempenho na construção civil. Pesquisas e aprimoramento da mão-de-obra têm contribuído para este incremento tecnológico.

A racionalização na construção civil é um fator importante que tem levado o setor da construção civil buscar se adequar às exigências de mercado. Segundo SILVA, 2004 a vedação vertical é apontada como um dos pontos críticos para a implantação de medidas de racionalização da produção de edifícios, por ser um dos principais subsistemas do mesmo e por influenciar significativamente o seu desempenho final.

A alvenaria de vedação tem por finalidade separar e vedar os vários cômodos de um edifício estruturado (figura 1.1). Assim sendo, ela deve suportar o próprio peso e cargas de utilização, como por exemplo, armários.

Devido à alvenaria de vedação ser de grande importância no setor da construção, a industrialização da construção civil e o uso de tecnologia para uma maior eficiência dos sistemas construtivos se fazem cada vez mais necessários. Segundo THOMAZ, 1989 além dos cuidados referentes à escolha dos materiais, a qualidade da alvenaria dependerá fundamentalmente da qualidade do serviço (nível, prumo, regularidade das juntas, etc.). Os cuidados com a execução das alvenarias deverão iniciar-se pelo controle de recepção e estocagem dos blocos ou tijolos, atentando-se principalmente para os seguintes detalhes:

- componentes com grandes variações dimensionais dificultarão a aparelhagem da parede, exigirão maior consumo de argamassa de revestimento, darão origem a juntas horizontais irregulares, gerando concentração de tensões em determinados blocos ou tijolos, etc.;
- componentes mal curados apresentarão retração intensa na parede acabada;
- componentes não abrigados no canteiro absorverão água de chuva, contraindo-se subsequentemente na parede quando esta água evaporar-se.



FIGURA 1.1 – Alvenaria de vedação. 2010.

A construção civil, meio acadêmico e empresas têm se aliado em busca do desenvolvimento tecnológico necessário ao setor. Desenvolvimento este que busca segurança, conforto, economia e sustentabilidade.

A construção civil tem tido um considerável crescimento nos últimos anos. A construção de moradias devido à expansão do mercado imobiliário, obras de infra-estrutura, incentivos do governo como o PAC (Programa de Aceleração do Crescimento) e obras relacionadas à copa de 2014 e às olimpíadas de 2016 têm impulsionado o setor.

Dentro desse contexto, a alvenaria de vedação é peça importante para um maior desempenho da edificação. Por intermédio de estudos sobre o comportamento dos materiais e sistemas e das técnicas construtivas, espera-se alcançar uma maior eficiência na construção civil.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo comparar o sistema de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavado com o sistema de blocos cerâmicos por meio de ensaios laboratoriais no que se refere a aspectos mecânicos.

Avaliar, por meio de ensaios mecânicos, o desempenho do sistema com a utilização de blocos, prismas e paredes com dois tipos de argamassa: argamassa industrializada e argamassa dosada em obra com o traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

Determinar o comportamento mecânico através dos ensaios.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Concreto Celular Autoclavado

O concreto celular autoclavado foi desenvolvido originalmente na Suécia em 1924 por Joahan Axel Erickon, que estudava um produto com características semelhantes às da madeira, como estrutura sólida, bom isolamento térmico e facilidade de trabalho e manuseio. Em 1929 teve início a produção em escala industrial do concreto celular autoclavado na Escandinávia.

Segundo a norma NBR 13438 – Blocos de concreto celular autoclavado (ABNT, 1995), concreto celular autoclavado é concreto leve, obtido através de um processo industrial, constituído por materiais calcários (cimento, cal ou ambos) e materiais ricos em sílica, granulados finamente. Esta mistura é expandida através da utilização de produtos formadores de gases, água e aditivos, se for o caso, sendo submetidos à pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas.

Segundo a referida norma, blocos de CCA são: “Componentes de edificações, maciços, com função estrutural ou não, utilizados principalmente para a construção de paredes internas e externas e preenchimentos de lajes.” O bloco é utilizado para preenchimento de lajes nervuradas, mistas e pré-fabricadas.

Os blocos de CCA devem apresentar a forma de um paralelepípedo retangular. Os blocos de CCA não devem apresentar defeitos sistemáticos, como trincas, quebras e superfícies irregulares.

O concreto celular autoclavado é fabricado (Figura 3.1) pela mistura de areia, cimento, cal e pó de alumínio (agente expensor). O aditivo expensor produz bolhas de ar esféricas e não interligadas. Ocorre a pré-cura e após moldado, o concreto celular é cortado em blocos. Finalmente ocorre a cura em autoclave com alta pressão e temperatura. Nestas condições são produzidos silicatos de cálcio que dão resistência à compressão. Devido às bolhas de ar, o material oferece resistência térmica e acústica.

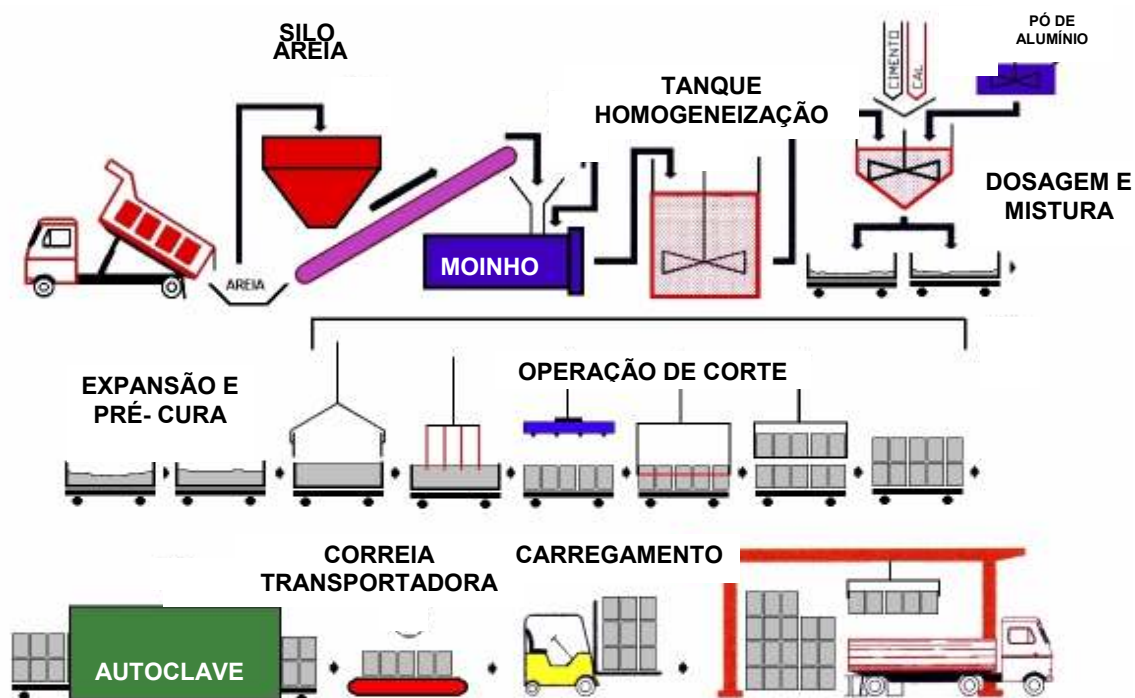



FIGURA 3.1 – Esquema do processo de fabricação do BCCA
Fonte: PRECON, 2010.

O processo de autoclavagem confere estabilidade química aos blocos CCA. Os mesmos não degradam nem alteram a sua composição ao longo dos anos. O CCA é incombustível e oferece resistência ao fogo superior aos blocos convencionais e possui um baixo índice de condutibilidade térmica. No que se refere à resistência térmica, uma parede de 10 cm de concreto celular equivale a uma de 25 cm de bloco cerâmico ou a uma de 30 cm de bloco de concreto (RIPPER, 1995).

Por ser constituído de estrutura aerada, que absorve melhor as ondas sonoras incidentes e dificulta a sua transmissão para outro ambiente, possui um considerável isolamento acústico. Segundo PIROLI, 1985, os blocos de CCA podem ser facilmente cortados com serrote, possibilitando o aproveitamento das partes restantes. Podem ser escarificados e furados para instalações embutidas. Os blocos CCA proporcionam economia de argamassa de assentamento, redução no consumo de argamassa de revestimento e redução na mão de obra.

O concreto celular autoclavado possui uma estrutura formada por células de ar fechadas, não conectadas, que dificulta a migração de umidade através das paredes, proporcionando estanqueidade ao produto, podendo ser utilizado em ambientes com alta umidade.

A figura 3.2 lista características e propriedades do bloco de concreto celular autoclavado.

CARACTERÍSTICAS	BENEFÍCIOS PROPORCIONADOS
Leve (500 kg/m^3)	Redução do peso na fundação e estrutura, economizando concreto, aço, fôrma e mão-de-obra.
Grande dimensão (60x30 cm)	Menor número de juntas de assentamento, com conseqüente redução do consumo de argamassa de assentamento e menor custo de mão-de-obra, devido ao menor tempo de execução.
Boa textura e uniformidade dimensional	Elimina chapisco interno e emboço para regularização da parede, economizando argamassa de revestimento e eliminando etapas de trabalho, com conseqüente redução do custo de mão-de-obra.
Facilidade de cortar	Pela facilidade de serrar os blocos, obtém-se maior racionalização da obra, economizando tempo, reduzindo perdas e deixando a obra mais limpa. 
Isolamento Térmico	
Atenuação Acústica	
Resistência ao fogo	

PROPRIEDADES	BENEFÍCIOS PROPORCIONADOS
Isolamento Térmico	Maior conforto ambiental, além de reduzir o consumo de energia para climatização na edificação.
Isolamento acústico	Melhor conforto ambiental.
Imcombustibilidade e resistência ao fogo	Maior segurança à edificação.

FIGURA 3.2 – Características do BCCA.

Fonte: Cerâmica Forte - Sical, 2009.

Por serem constituídos de material leve, os blocos de concreto celular são normalmente maiores que os blocos cerâmicos ou de concreto (figura 3.3), com isto é possível reduzir tempo e custo na execução de paredes devido à mão de obra, além de economia na estrutura da edificação em decorrência à redução de carga nas estruturas e fundação.

Em casos específicos, podem-se dispensar certas etapas de revestimento, bastando aplicar argamassa e pintar ou colar os azulejos com argamassa flexível diretamente sobre as paredes.



FIGURA 3.3 – Alvenaria com a utilização do BCCA
Fonte: PRECON, 2010.

3.2 Material Cerâmico

As cerâmicas são obtidas a partir de uma massa à base de argila, submetida a um processo de secagem lenta e, após a retirada de grande parte da água, cozida em temperaturas elevadas. Um dos critérios mais tradicionais para classificação das cerâmicas é a cor da massa, que pode ser branca ou vermelha. As cerâmicas vermelhas são provenientes de argilas sedimentares, com altos teores de compostos de ferro, responsáveis pela cor avermelhada após a queima. São utilizadas na fabricação de diversos componentes de construção, tais como tijolos maciços, blocos cerâmicos, telhas, tubos cerâmicos, tavelas, dentre outros (KAZMIERCZAK, 2007).

A argila é um material composto basicamente por silicatos de alumínio hidratados, formando com a água uma pasta plástica, susceptível de transformar-se nos diversos materiais cerâmicos utilizados na construção civil. As argilas foram formadas na crosta terrestre pela desintegração de rochas ígneas sob a ação contínua dos agentes atmosféricos. A argila sendo, portanto, o resultado da ação variável desses fatores, apresenta-se em grande variedade de tipos, com ampla gama de coloração, plasticidade e composição química, que determinam as suas características e propriedades (RIBEIRO *et al.*, 2006).

As características típicas dos materiais cerâmicos são: alta dureza, boa resistência mecânica, ruptura frágil, alta estabilidade química e térmica (alto ponto de fusão) e baixa condutividade

elétrica e térmica. Com relação ao comportamento mecânico, as cerâmicas apresentam boa resistência, sendo que as resistências à compressão e ao cisalhamento são muito maiores do que resistência à tração. Os materiais cerâmicos, geralmente, apresentam ruptura frágil, com baixa tenacidade na fratura (CASCUDO *et al.*, 2007).

O bloco cerâmico é fabricado basicamente com argila, moldado por extrusão e queimado a uma temperatura (em torno de 800°C) que permita ao produto final atender às condições determinadas nas normas técnicas (YAZIGI, 1999).

Segundo KAZMIERCZAK, 2007, o processo de fabricação de componentes da cerâmica vermelha (Figura 3.4) pode ser dividido nas etapas de preparação da massa, conformação da argila, secagem, queima e resfriamento da cerâmica.

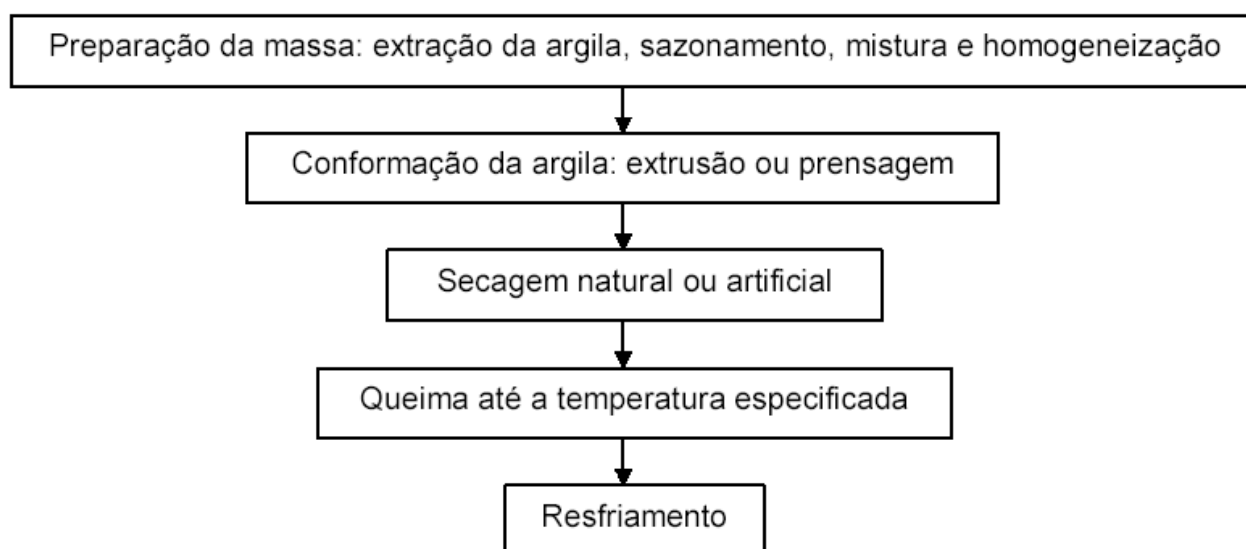


FIGURA 3.4 – Diagrama esquemático do processo de fabricação de componentes de cerâmica vermelha
Fonte: IBRACON, 2007.

Processo de fabricação da cerâmica vermelha:

1. Preparação da massa

O sazonalamento consiste na exposição da argila à intempérie, de modo que ocorram alterações de suas características, tais como a degradação dos torrões, o aumento de sua reatividade e a lixiviação de sais solúveis. O tempo utilizado para o sazonalamento depende da

argila e do tipo de componente a ser moldado, podendo variar de 1 a 12 meses (SENAI-RS, 2000).

A mistura de duas ou mais argilas é um processo muito utilizado. Esta mistura tem a finalidade de corrigir deficiências existentes na argila proveniente da jazida principal, sendo realizada em função do tipo e das características do componente de cerâmica vermelha a ser fabricado.

O amassamento, geralmente realizado com o auxílio de laminadoras, tem a função principal de triturar, por esmagamento, os torrões e os grãos de maior dimensão da argila, reduzindo-os a uma dimensão adequada para a moldagem. O processo ocorre por meio da passagem da mistura de argilas entre dois cilindros metálicos. Nesta etapa, também é ajustado o teor de água da mistura, de modo a permitir uma moldagem adequada (KAZMIERCZAK, 2007).

2. Conformação da argila

Segundo PETRUCCI, 2003, a moldagem de produtos cerâmicos está restritamente relacionada com o teor de água da pasta de argila. Quanto maior a quantidade de água, maior a plasticidade e mais fácil a moldagem. A consequência, no entanto será a inevitável contração na secagem e deformações no cozimento.

Segundo KAZMIERCZAK, 2007, a moldagem ou conformação das peças pode ser feita por extrusão ou por prensagem. O processo de extrusão é mais comum na fabricação de tijolos e blocos, enquanto a prensagem é utilizada para telhas. Na moldagem por extrusão (Figura 3.5), a massa deve ser moída por via úmida. Os valores usuais de umidade estão entre 20% e 30%. Nesse processo, o equipamento usado é uma maromba a vácuo, que tem as funções de retirar o excesso de ar existente na massa cerâmica e conformá-la por meio da passagem por uma boquilha, que funciona como molde para a cerâmica. O bloco de argila extrudido é contínuo e deve ser cortado nas dimensões previstas para o tipo de componente que está sendo fabricado.



FIGURA 3.5 - Extrusão de filete de argila em maromba
Fonte: IBRACON, 2007.

3. Secagem

A secagem pode ser realizada por meio de dois processos: secagem natural e secagem artificial. A secagem natural é realizada por meio de estocagem dos componentes em prateleiras, em local protegido da chuva. Os componentes ficam expostos ao ar ambiente até que sua umidade chegue ao teor especificado para fabricação (geralmente inferior a 1%). O tempo necessário para a secagem natural depende das condições ambientais, ficando geralmente entre 10 e 30 dias. Já a secagem artificial é realizada em estufas ou câmaras de alvenaria onde se aproveita o calor do forno. Em geral, sua duração é inferior a 3 dias.

As argilas utilizadas na cerâmica vermelha possuem um teor elevado de umidade, devido ao processo de moldagem. Esse excesso de água deve ser retirado de maneira gradual e uniforme de modo a evitar o aparecimento de deformações e fissuras (KAZMIERCZAK, 2007).

Segundo PETRUCCI, 2003, grande parte desta umidade é removida na secagem e a restante durante o processo de cozimento.

4. Queima

O aquecimento da argila gera alterações físico-químicas irreversíveis, que resultam em mudanças nas suas propriedades. Na fabricação de blocos e tijolos de cerâmica vermelha, a temperatura máxima atingida fica na ordem de 800°C a 1200°C. Os fornos utilizados para queima podem ser contínuos ou intermitentes, em função do processo de queima. O fornos

tipo túnel (figura 3.6) tem a forma de um túnel, no meio do qual se localiza a câmara de queima (KAZMIERCZAK, 2007).



FIGURA 3.6 - Forno tipo Túnel: detalhe da saída da cerâmica, após a queima
Fonte: IBRACON, 2007.

5. Resfriamento

Segundo ainda KAZMIERCZAK, 2007, após a queima, os componentes cerâmicos deverão ser submetidos a um resfriamento lento (variando, geralmente, entre 8 e 24 horas).

Os blocos cerâmicos não podem apresentar defeitos sistemáticos, como trincas, quebras, superfícies irregulares, deformações e não uniformidade de cor. Têm ainda de atender às prescrições das normas técnicas quanto à resistência à compressão, planeza das faces, desvio em relação ao esquadro e às dimensões (YAZIGI, 1999).

Segundo PETRUCCI, 2003, o comportamento do tijolo, como unidade, e o da alvenaria, como conjunto de tijolos, são bastante diferentes. Na resistência da alvenaria intervêm fundamentalmente os seus componentes: argamassa e tijolos.

Para THOMAZ, 1989, a escolha do tipo de argamassa de assentamento influenciará decisivamente no melhor ou pior comportamento da alvenaria.

3.3 Desempenho na Construção Civil

A norma da ABNT NBR 15575:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho – foi estabelecida buscando atender às exigências dos usuários no que se refere a sistemas que compõem edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. A norma estabelece a definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação que permitem a mensuração do seu cumprimento.

Para os critérios da referida norma segue a lista geral de exigências dos usuários:

1. Segurança
2. Habitabilidade
3. Sustentabilidade
4. Nível de desempenho

As exigências do usuário relativas à segurança são expressas pelos fatores: segurança estrutural, segurança contra o fogo e segurança no uso e operação.

As exigências do usuário relativas à habitabilidade são expressas pelos fatores: estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade e conforto tátil e antropodinâmico.

As exigências do usuário relativas à sustentabilidade são expressas pelos fatores: durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

As exigências do usuário relativas ao nível de desempenho são consideradas em função das necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e economia. Em função destas necessidades são estabelecidos requisitos mínimos de desempenho que devem ser considerados e estabelecidos para os diferentes sistemas. Os valores relativos aos níveis de desempenho estão indicados em anexos da norma.

A avaliação de desempenho proposta na norma visa analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independente da solução técnica adotada.

A avaliação do desempenho de edificações ou de sistemas, de acordo com esta norma, deve ser realizada considerando as exigências estabelecidas. O relatório resultante da avaliação de desempenho deve reunir informações que caracterizem o edifício habitacional ou sistema analisado e deve ser elaborado pelo responsável pela avaliação.

A referida norma estabelece métodos de avaliação que consideram a realização de ensaios laboratoriais ou em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análise de projetos.

É de grande relevância a utilização dos resultados dos ensaios e análises, não somente para a verificação se o sistema atende ou não a requisitos de desempenho, mas também para comparação com diversos sistemas construtivos. Através da comparação de sistemas construtivos podemos escolher o sistema que melhor se adequar às necessidades de determinada construção.

A figura 3.7 ilustra um edifício habitacional atendido pela norma NBR 15575.



FIGURA 3.7 – Edifício habitacional. 2011.

4. METODOLOGIA

4.1 Seleção dos materiais utilizados nos ensaios

Para a comparação dos sistemas construtivos com a utilização de blocos de concreto celular autoclavado e com a utilização de blocos cerâmicos foram realizados ensaios de resistência à compressão dos blocos, prismas e paredes; resistência à tração na flexão e resistência à compressão da argamassa e impacto de corpo duro. Foi verificada a densidade de massa aparente seca dos corpos-de-prova dos blocos CCA.

Para o ensaio de resistência à compressão dos blocos foram utilizados 14 blocos CCA, dos quais foram extraídos dois corpos-de-prova de cada bloco e 8 blocos cerâmicos. Para o ensaio de resistência à compressão dos prismas foram utilizados 12 prismas de BCCA com o emprego de argamassa industrial, 12 prismas de BCCA com o emprego de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia), 12 prismas de blocos cerâmicos com o emprego de argamassa industrial e 12 prismas de blocos cerâmicos com o emprego de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia). Para o ensaio de resistência à compressão das paredes foram utilizadas 4 paredes de BCCA com o emprego de argamassa industrial, 4 paredes de BCCA com o emprego de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia), 4 paredes de blocos cerâmicos com o emprego de argamassa industrial e 4 paredes de blocos cerâmicos com o emprego de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

Os ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão da argamassa foram realizados para a argamassa industrial e a argamassa com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

O ensaio de impacto de corpo duro foi realizado nas paredes BCCA e de bloco cerâmico antes da realização do ensaio de resistência à compressão.

4.1.1 Bloco de Concreto Celular Autoclavado

O bloco de concreto celular autoclavado utilizado para os ensaios é o bloco C 25 para alvenaria de vedação, possui dimensões nominais de 12,5 cm x 30 cm x 60 cm (espessura x altura x comprimento). Este bloco foi escolhido devido à sua utilização na construção civil, por ser um produto normatizado e por ser concorrente direto do bloco cerâmico escolhido.

4.1.2 Bloco Cerâmico

O bloco cerâmico utilizado para os ensaios é o bloco cerâmico vazado com doze furos, para alvenaria de vedação. O bloco possui dimensões nominais de 14 cm x 19 cm x 29 cm (espessura x altura x comprimento). Este bloco foi escolhido devido à sua vasta utilização na construção civil e por ser um produto normatizado.

4.1.3 Argamassas

Foram utilizadas as seguintes argamassas:

- Argamassa industrial para assentamento e revestimento CCA, que segundo o fabricante é composta por Cimento Portland, agregados minerais selecionados, filler carbonático e aditivos químicos não tóxicos. Classificação: classe I, segundo o fabricante.
- Argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

O traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) foi escolhido devido ser recomendado para blocos CCA pela norma da ABNT NBR 14956:2003 – Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural, Parte 2: Procedimento com argamassa convencional.

4.1.4 Cimento

O cimento utilizado foi o CP III 32 RS, indicado para aplicação geral em argamassas de assentamento e revestimento, entre outras. O cimento portland de alto-forno contém adição de escória no teor de 35% a 70% em massa, que lhe confere propriedades como baixo teor de calor de hidratação, maior impermeabilidade e durabilidade. Os cimentos RS são resistentes a sulfatos.

4.1.5 Cal

Para a argamassa de 1:3:8 (cimento:cal:areia), utilizou-se a cal hidratada aditivada CH-I, indicada pelo fabricante para preparar argamassa de emboço, reboco e assentamento de tijolos e blocos.

4.1.6 Areia

A areia utilizada foi areia lavada, de granulometria média e devidamente peneirada para retirada de eventuais impurezas.

4.2 Ensaios

4.2.1 Ensaios de caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado

Os ensaios de caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Belo Horizonte, de acordo com o disposto na NBR 13438:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Especificação; NBR 13439:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da resistência à compressão – método de ensaio e NBR 13440:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca – método de ensaio.

A norma NBR 13438:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Especificação – determina um número de amostragem de acordo com a tabela 4.1. A amostra utilizada nos ensaios foi de 14 blocos.

TABELA 4.1 – Número de aceitação e rejeição na inspeção por ensaio

Lote (blocos)	Amostragem		Unidades Defeituosas			
			Primeira amostragem		Segunda amostragem	
	Primeira	Segunda	Número de aceitação	Número de rejeição	Número de aceitação	Número de rejeição
De 501 a 3200	08	08	01	04	04	05
De 3201 a 35000	13	13	02	05	06	07

Fonte: NBR13438:1995.

Na inspeção por ensaios para a verificação da resistência à compressão, conforme a norma NBR 13439, e verificação da densidade de massa aparente seca conforme a norma NBR 13440, citadas anteriormente, o lote deve ser aceito na primeira amostragem se o número de unidades defeituosas for igual ou inferior ao número de aceitação. O lote deve ser rejeitado na primeira amostragem se o número de unidades defeituosas for igual ou superior ao número de rejeição.

O lote deve passar para a segunda amostragem, se o número de unidades defeituosas for superior ao número de aceitação e inferior ao número de rejeição.

O lote deve ser aceito na segunda amostragem, se a soma de unidades defeituosas for igual ou inferior ao número de aceitação.

Os blocos de CCA devem corresponder às condições estabelecidas na Tabela 4.2, verificadas de acordo com a norma NBR 13439: 1995 – Blocos de Concreto Celular Autoclavado – Verificação à resistência à compressão e a norma NBR 13440: 1995 – Blocos de Concreto Celular Autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca.

TABELA 4.2 – Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca

Classe	Resistência à compressão (seca)		Densidade aparente seca Média (kg/m ³)
	Valor médio mínimo (MPa) ^(A)	Menor valor isolado (MPa) ^(A)	
C 12	1,2	1	≤ 450
C 15	1,5	1,2	≤ 500
C 25	2,5	2,0	≤ 550
C 45	4,5	3,6	≤ 650

^(A) 1MPa = 1N/mm² = 10kgf/cm²

Fonte: NBR13438:1995.

4.2.1.1 Determinação das dimensões

As dimensões dos blocos foram determinadas utilizando uma escala metálica com resolução de 1 mm e duas réguas metálicas retilíneas, mediram-se as três dimensões de cada bloco separadamente, tomando como referência o centro de cada retângulo, conforme a figura 4.1. Utilizou-se 14 blocos para execução dos ensaios.

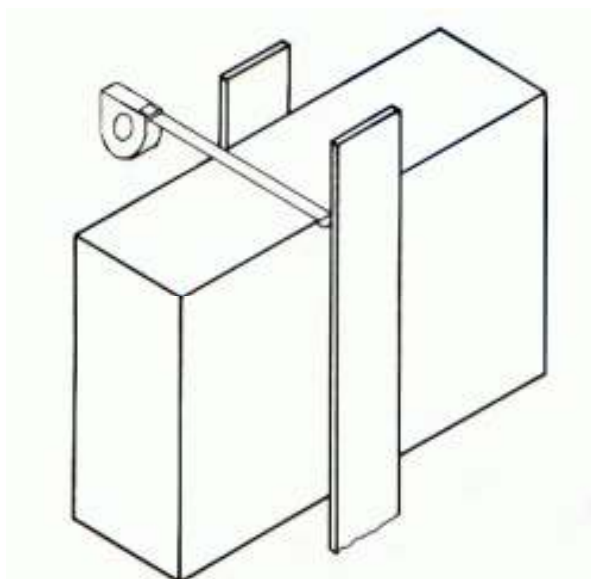


FIGURA 4.1 – Esquema para determinação das dimensões
Fonte: NBR13438:1995.

4.2.1.1.1 Dimensões nominais

Os blocos de CCA do tipo vedação, estrutural e preenchimento de lajes possuem dimensões nominais conforme tabela 4.3.

TABELA 4.3 – Dimensões nominais e modulações dos blocos

Unid.: mm		
Espessura	Altura	Comprimento
mínima de 75, modulando de 25 em 25	mínima de 200, modulando de 25 em 25	mínima de 200, modulando de 25 em 25
120 e 170		

Fonte: NBR13438:1995.

4.2.1.1.2 Tolerâncias de Fabricação

As tolerâncias de fabricação são de ± 3 mm para espessura, altura e comprimento. Os blocos de CCA para assentamento com argamassa colante devem ter tolerâncias de ± 2 mm em todas as dimensões.

4.2.1.2 Preparo dos corpos-de-prova

A norma NBR 13439 (ABNT, 1995): Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da resistência à compressão – normatiza o ensaio de verificação da resistência à compressão em blocos de concreto celular autoclavado. Os ensaios de verificação da resistência à compressão, assim como os ensaios de verificação da densidade de massa aparente seca são efetuados através de dois corpos-de-prova cúbicos extraídos do bloco. Em blocos com espessura igual ou superior a 100 mm, os cubos devem possuir arestas de 100 mm. Os corpos-de-prova são obtidos através da utilização de um dispositivo de corte seco.

Os corpos-de-prova foram extraídos dos blocos conforme indicação da norma NBR 13439 (Figura 4.2). Os 14 blocos, previamente mensurados, foram utilizados para extração dos corpos-de-prova.

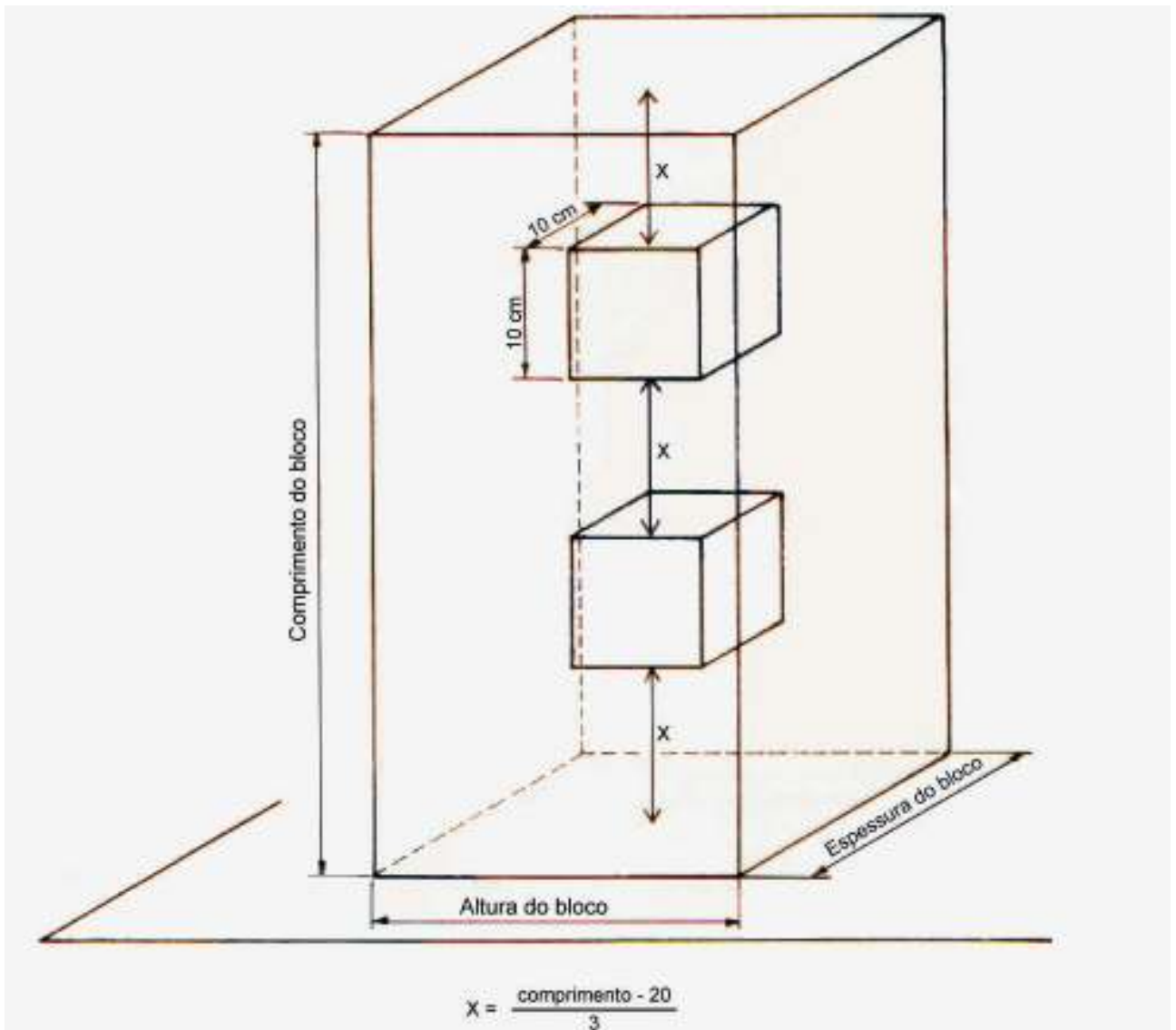


FIGURA 4.2– Localização dos corpos-de-prova
Fonte: NBR13439:1995.

Para a extração dos corpos-de-prova, os blocos foram cortados com serra de fita (figura 4.3), o que permitiu um corte reto. A serra de fita utilizada foi a Lissmac MBS 502 – Mauerstein Bandsäge.



FIGURA 4.3 – Extração dos corpos-de-prova de CCA

Após extração dos corpos-de-prova, anotou-se o número de referência do bloco e a posição destes no bloco, se de topo ou se de fundo (figura 4.4). Em uma das faces dos corpos-de-prova, desenhou-se um segmento de reta, indicando a direção de rompimento. Este segmento de reta deve ser paralelo à altura ou ao comprimento do bloco de CCA. Optou-se por fazer o segmento paralelo à altura para que o corpo-de-prova fosse rompido em posição semelhante ao que o bloco seria assentado para a construção de alvenaria de vedação.



FIGURA 4.4 – Identificação dos corpos-de-prova de CCA

As dimensões dos corpos-de-prova foram medidas utilizando o paquímetro.

Os corpos-de-prova foram secos em estufa ventilada a uma temperatura de $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ até que não houvesse perda de massa superior a 1 g entre duas pesagens consecutivas, realizadas em um intervalo de 24 horas (figura 4.5).



FIGURA 4.5 – Secagem dos corpos-de-prova de CCA

Os corpos-de-prova foram deixados em repouso, à temperatura ambiente, durante o período de 4h e pesados, utilizando-se balança (figura 4.6). Foi utilizada a balança Mettles PC 4000, precisão 0,1 g.



FIGURA 4.6 – Pesagem dos corpos-de-prova de CCA

As superfícies a serem comprimidas dos corpos-de-prova foram niveladas com enxofre conforme figura 4.7.



FIGURA 4.7 – Nivelamento dos corpos-de-prova de CCA

4.2.1.3 Determinação da densidade de massa aparente seca

Segundo a norma NBR 13440:1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca – método de ensaio, a densidade de massa aparente seca de um bloco é determinada pela média aritmética das densidades de massas aparentes secas dos corpos-de-prova. A densidade de massa aparente seca de cada corpo-de-prova foi calculada de acordo com a equação 1:

$$DA = \frac{M}{V} \quad \text{equação 1;}$$

Onde:

DA = densidade de massa aparente seca do corpo-de-prova, em kg/m^3 ;

M = massa do corpo-de-prova, em kg;

V = volume do corpo-de-prova, em m^3 .

4.2.1.4 Determinação da resistência à compressão

Após o preparo dos corpos-de-prova, conforme item 4.2.1.2 e da determinação da densidade de massa aparente seca, conforme item 4.2.1.3, os mesmos foram rompidos em prensa hidráulica e a

leitura dos valores das forças foi feita através de relógio comparador (figura 4.8). O relógio comparador utilizado foi o Conteco com leitura de até 120 kN.

A resistência à compressão foi calculada de acordo com a equação 2:

$$f_c = \frac{F_c}{A} \quad \text{equação 2;}$$

Onde:

f_c = resistência à compressão do corpo-de-prova, em MPa;

F_c = força máxima suportada pelo corpo-de-prova, em N;

A = área da seção transversal comprimida, determinada geometricamente, em mm².



FIGURA 4.8 – Ensaio de compressão dos corpos-de-prova de CCA

Os corpos-de-prova receberam um carregamento até a ruptura, sendo que a velocidade de compressão foi de 0,05 MPa/s, conforme as velocidades de compressão discriminadas na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 – Velocidade de compressão

Classe	Velocidade de compressão ^(A)
C 12	0,05 MPa/s
C 15	
C 25	
C 45	0,1 MPa/s

^(A) 1MPa = 1N/mm² = 10kgf/cm²

Fonte: NBR13439:1995.

4.2.2 Ensaio de caracterização dos blocos cerâmicos

Os ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Pedro Leopoldo, de acordo com o disposto na norma NBR 15270: 2005 – Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos e Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

A norma NBR 15270:2005 – Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos – determina um número de amostragem de 13 corpos-de-prova para o ensaio de determinação das características geométricas e para ensaio de determinação da resistência à compressão. O número de amostragem de 13 corpos-de-prova é utilizado para lotes de 1.000 a 100.000 unidades de blocos cerâmicos, que é o valor dos lotes de fornecimento.

Apesar da referida norma recomendar um número de 13 amostras, devido à considerável perda de material, a amostra utilizada nos ensaios foi de 8 blocos cerâmicos.

Na inspeção por ensaios, referente à resistência à compressão individual, a aceitação ou rejeição do lote fica condicionada ao disposto na tabela 4.5.

Na inspeção por ensaios, o lote deve ser aceito se o número de unidades não-conformes for igual ou inferior ao número de aceitação. O lote deve ser rejeitado se o número de unidades não-conformes for igual ou superior ao número de rejeição.

TABELA 4.5 – Número de blocos dos lotes e da amostragem

Nº de blocos constituintes	Unidades não-conformes	
	Nº para aceitação do lote	Nº para rejeição do lote
Amostragem simples		
13	2	3

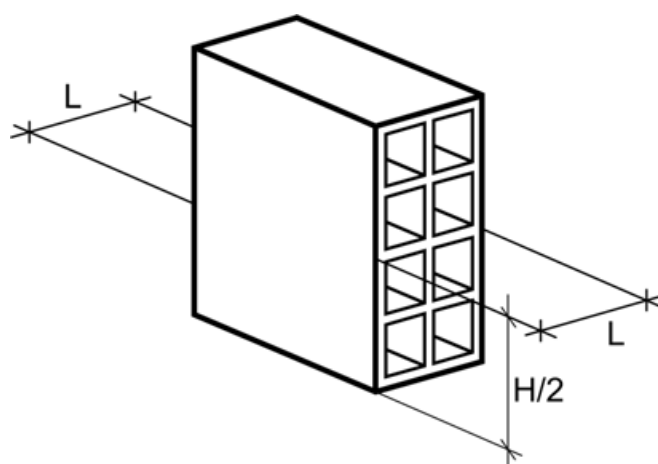
Fonte: NBR15270-1:2005.

4.2.2.1 Determinação das dimensões

Os corpos-de-prova foram identificados, limpos e colocados sobre uma superfície plana e indeformável. Cada corpo-de-prova é constituído por um bloco principal, íntegro e isento de defeitos.

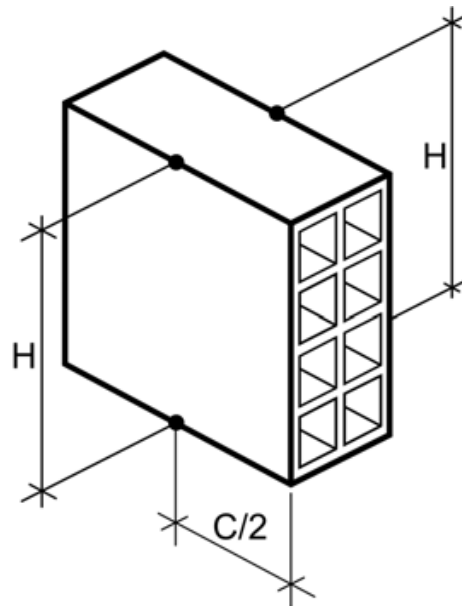
As dimensões dos blocos foram determinadas utilizando uma escala metálica com resolução de 1mm e duas réguas metálicas retilíneas. As três dimensões de cada bloco foram medidas separadamente.

Os valores da largura (L), altura (H) e comprimento (C) foram obtidos fazendo-se as medições nos pontos indicados nas figuras 4.9 a), b) e c). Foi calculada a média aritmética dos valores de cada uma das dimensões. Foram utilizados 8 corpos-de-prova.



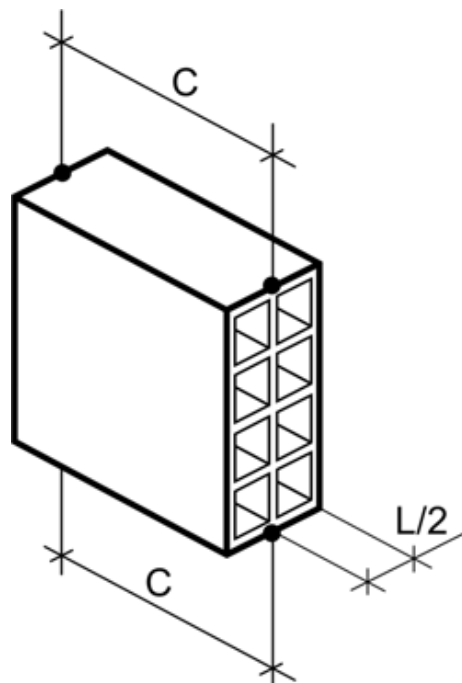
Legenda: • pontos indicados para efetuar as medições nos blocos, nas duas faces.

FIGURA 4.9 a) – Locais para medições da largura (L) do bloco
Fonte: NBR15270-3:2005.



Legenda: • pontos indicados para efetuar as medições nos blocos, nas duas faces.

FIGURA 4.9 b) – Locais para medições da altura (H) do bloco
Fonte: NBR15270-3:2005.



Legenda: • pontos indicados para efetuar as medições nos blocos, nas duas faces.

FIGURA 4.9 c) – Locais para medições do comprimento (C) do bloco
Fonte: NBR15270-3:2005

4.2.2.1.1 Dimensões nominais

Os blocos cerâmicos do tipo vedação possuem dimensões de fabricação conforme tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Dimensões de fabricação dos blocos cerâmicos de vedação

Dimensões L x H x C Módulo Dimensional M = 10 cm	Dimensões de fabricação cm			
	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Bloco principal	1/2 Bloco
(1) M x (1) M x (2) M	9	9	19	9
(1) M x (1) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (2) M		14	19	9
(1) M x (3/2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (3/2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (2) M		19	19	9
(1) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(1) M x (2) M x (3) M			29	14
(1) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/4) M x (5/4) M x (5/2) M		11,5	11,5	24
(5/4) M x (3/2) M x (5/2) M	14		24	11,5
(5/4) M x (2) M x (2) M	19		19	9
(5/4) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(5/4) M x (2) M x (3) M			29	14
(5/4) M x (2) M x (4) M			39	19
(3/2) M x (2) M x (2) M	14	19	19	9
(3/2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(3/2) M x (2) M x (3) M			29	14
(3/2) M x (2) M x (4) M			39	19
(2) M x (2) M x (2) M	19	19	19	9
(2) M x (2) M x (5/2) M			24	11,5
(2) M x (2) M x (3) M			29	14
(2) M x (2) M x (4) M			39	19
(5/2) M x (5/2) M x (5/2) M	24	24	24	11,5
(5/2) M x (5/2) M x (3) M			29	14
(5/2) M x (5/2) M x (4) M			39	19

NOTA Os blocos com largura de 6,5 cm e altura de 19 cm serão admitidos excepcionalmente, somente em funções secundárias (como em "shafts" ou pequenos enchimentos) e respaldados por projeto com identificação do responsável técnico

Fonte: NBR15270-1:2005.

4.2.2.1.2 Tolerâncias de Fabricação

As tolerâncias dimensionais relacionadas às medições individuais são de ± 5 mm para espessura, altura e comprimento. As tolerâncias dimensionais relacionadas à média das dimensões são de ± 3 mm para espessura, altura e comprimento.

4.2.2.2 Preparo dos corpos-de-prova

As superfícies a serem comprimidas dos corpos-de-prova foram niveladas com enxofre conforme figura 4.10. Os corpos-de-prova foram utilizados com os furos na horizontal.



FIGURA 4.10 – Nivelamento dos corpos-de-prova cerâmicos

Os blocos foram imersos em água para que fossem ensaiados na condição saturada (figura 4.11). A norma da ABNT NBR 15270 – Componentes Cerâmicos determina que os corpos-de-prova, após o endurecimento das camadas de capeamento, devem ser imersos por no mínimo 6 horas. Os blocos permaneceram imersos por 14 horas em função do horário dos ensaios.



FIGURA 4.11 – Saturação dos corpos-de-prova cerâmicos

4.2.2.3 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação deve atender aos valores mínimos indicados na tabela 4.7.

TABELA 4.7 – Resistência à compressão (f_b)

Posição dos furos	f_b MPa
Para blocos usados com furos na horizontal	$\geq 1,5$
Para blocos usados com furos na vertical	$\geq 3,0$

Fonte: NBR15270-1:2005.

Após o preparo dos corpos-de-prova, os mesmos foram rompidos em pórtico com prensa hidráulica, com célula de carga de 1000kN (figura 4.12). A leitura dos valores das forças foi feita por meio de indicador para máquinas de ensaio 3105C, Alfa instrumentos, com precisão de 5N (figura 4.13).

A resistência à compressão foi calculada de acordo com a equação 2.



FIGURA 4.12 – Ensaio de compressão dos corpos-de-prova cerâmicos



FIGURA 4.13 – Indicador de leitura de força

4.2.3 Determinação da resistência à compressão dos prismas de blocos de concreto celular autoclavado

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Pedro Leopoldo, baseados no disposto na norma NBR 8215:1983 – Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão.

Os prismas de blocos CCA foram confeccionados utilizando-se dois blocos justapostos, unidos por juntas de argamassa, na posição horizontal. As argamassas utilizadas foram: argamassa

industrial e argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia), conforme item 4.1.3. A referida norma indica espessura das juntas de (10 ± 3) mm. Devido à mão-de-obra utilizada na confecção dos prismas ter encontrado dificuldades para realização de juntas de menor espessura, ao invés de utilizarmos a espessura indicada na norma, foi adotada a espessura das juntas de 15 mm para viabilização do trabalho.

4.2.3.1 Preparo dos prismas de bloco CCA

Inicialmente, foram preparados suportes com bloco de concreto para que os prismas pudessem ser feitos sobre superfície plana e nivelada. Os prismas foram confeccionados observando-se o nível e o prumo (figura 4.14).



FIGURA 4.14 – Prismas BCCA

Foram confeccionados 12 prismas BCCA com argamassa industrial e 12 prismas BCCA com argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

Após o preparo dos prismas, foi esperado o tempo de cura. Observou-se o tempo mínimo de 28 dias para realização dos ensaios.

4.2.3.2 Determinação da resistência à compressão

Após a cura dos prismas BCCA, os mesmos foram rompidos em pórtico com prensa hidráulica, com célula de carga de 100kN (figuras 4.15 e 4.16). A leitura dos valores das forças foi feita através de indicador para máquinas de ensaio 3103C, Alfa instrumentos, com precisão de 100N (figura 4.17).

Utilizou-se célula de carga articulada, placas metálicas para distribuição das forças e neoprene para regularização da superfície.

A resistência à compressão foi calculada de acordo com a equação 2.



FIGURA 4.15 – Ensaio de compressão dos prismas BCCA – argamassa industrial



FIGURA 4.16 – Ensaio de compressão dos prismas BCCA – argamassa traço 1:3:8



FIGURA 4.17 – Indicador de leitura de força

4.2.4 Determinação da resistência à compressão dos prismas de blocos cerâmicos

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Pedro Leopoldo, baseados no disposto na NBR 8215:1983 – Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão.

Os prismas de blocos cerâmicos foram confeccionados utilizando-se dois blocos justapostos, unidos por juntas de argamassa, na posição horizontal. As argamassas utilizadas foram: argamassa industrial e argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia). A espessura das juntas foi de 15 mm.

4.2.4.1 Preparo dos prismas de bloco cerâmico

Os prismas foram confeccionados observando-se o nível e o prumo (figura 4.18), sobre superfície plana e nivelada.



FIGURA 4.18 – Verificação do nível

Foram confeccionados 12 prismas cerâmicos com argamassa industrial e 12 prismas cerâmicos com argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) (figura 4.19).



FIGURA 4.19 – Prismas cerâmicos

Após o preparo dos prismas, foi esperado o tempo de cura. Observou-se o tempo mínimo de 28 dias para realização dos ensaios.

4.2.4.2 Determinação da resistência à compressão

Após a cura dos prismas de bloco cerâmico, os mesmos foram rompidos em pórtico com prensa hidráulica, com célula de carga de 100kN (figuras 4.20 e 4.21). A leitura dos valores das forças foi feita através de indicador para máquinas de ensaio 3103C, Alfa instrumentos, com precisão de 100N.

Utilizou-se célula de carga articulada, placas metálicas para distribuição das forças e neoprene para regularização da superfície.

A resistência à compressão foi calculada de acordo com a equação 2.



FIGURA 4.20 – Ensaio de compressão dos prismas cerâmicos – argamassa industrial



FIGURA 4.21 – Ensaio de compressão dos prismas cerâmicos – argamassa traço 1:3:8

4.2.5 Determinação da resistência à compressão das paredes de blocos de concreto celular autoclavado

Os ensaios de verificação da resistência à compressão das paredes de blocos CCA foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Pedro Leopoldo, baseados na norma NBR 8949:1985 – Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples.

As argamassas utilizadas foram: argamassa industrial e argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

4.2.5.1 Construção das paredes de bloco CCA

As paredes foram feitas sobre superfície plana e nivelada (figura 4.22).



FIGURA 4.22 – Suporte para nivelamento das paredes

As paredes foram construídas sobre um suporte de madeira com guias para auxiliar no transporte das mesmas (figura 4.23). A construção das paredes entre as guias de madeira auxiliou em mantê-las no prumo e nas dimensões desejadas. As paredes foram confeccionadas observando-se o nível e o prumo.



FIGURA 4.23 – Suporte de madeira para transporte das paredes

Os blocos CCA foram previamente umedecidos para o assentamento, conforme instrução do fabricante. A argamassa foi utilizada de forma a preencher as juntas de assentamento horizontal

e verticalmente. A argamassa foi colocada sobre toda a superfície útil dos componentes e nas faces laterais dos mesmos. A espessura das juntas foi de 15 mm, sendo que a princípio definiu-se por 10 mm. Porém, devido a questões construtivas, optou-se por juntas de 15 mm. A amarração dos blocos foi de forma convencional para alvenaria, na qual a junta vertical entre dois blocos fica sobre o meio do bloco da fiada anterior (figura 4.24).

A norma NBR 8949:1985 – Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples indica espessura das juntas de (10 ± 3) mm.



FIGURA 4.24 – Construção das paredes BCCA

As dimensões das paredes foram de:

- Altura: 180 cm;
- Largura: 120 cm;
- Espessura: 12,5 cm.

Durante a construção das paredes procurou-se manter um padrão da espessura das juntas, dimensão das paredes e consistência da argamassa.

Foram construídas 4 paredes BCCA com argamassa industrial e 4 paredes BCCA com argamassa dosada na obra com traço 1:3:8. A referida norma recomenda o mínimo de três corpos-de-prova para o ensaio de compressão simples de paredes de alvenaria estrutural.

Após a construção das paredes foi observada a idade mínima de 28 dias para a cura das mesmas, para então serem realizados os ensaios.

4.2.5.2 Transporte das paredes de bloco BCCA

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, as paredes tiveram que ser transportadas do local de construção até o pátio.

Duas cintas resistentes foram colocadas sob o suporte de madeira, no qual cada parede foi construída, de maneira a envolver as laterais da parede. As cintas foram conectadas a um guincho. As paredes foram içadas e transportadas até o pátio com o auxílio de um guincho Hyster com capacidade de 5 toneladas (figura 4.25).



FIGURA 4.25 – Transporte das paredes BCCA

Durante todo o percurso as paredes foram apoiadas manualmente para garantir a estabilidade do transporte.

4.2.5.3 Determinação da resistência à compressão

Após o posicionamento de cada parede no pátio, foi colocada sobre a parede uma barra metálica para a distribuição de forças. Chapas metálicas foram utilizadas para o ajuste do contato entre célula de carga e a barra de distribuição de forças. Foram utilizadas tiras de neoprene para regularização da superfície entre a barra de distribuição de forças e a superfície de contato da parede.

As paredes foram rompidas no pórtico com prensa hidráulica, com célula de carga de 1000kN (figuras 4.26 e 4.27). A leitura dos valores das forças foi feita através de indicador para máquinas de ensaio 3103C, Alfa instrumentos, com precisão de 100N (figura 4.17).

A resistência à compressão foi calculada conforme a equação 2. O peso da barra de distribuição de forças e das chapas metálicas foi acrescentado aos valores das forças registradas.



FIGURA 4.26 – Ensaio de compressão das paredes BCCA – argamassa industrial



FIGURA 4.27 – Ensaio de compressão das paredes BCCA: ruptura – argamassa industrial



FIGURA 4.28 – Ensaio de compressão das paredes BCCA: ruptura – argamassa traço 1:3:8

4.2.6 Determinação da resistência à compressão das paredes de blocos cerâmicos

Os ensaios de verificação da resistência à compressão das paredes de blocos cerâmicos foram realizados no Laboratório de Materiais da Precon Industrial S/A – unidade Pedro Leopoldo, baseados na norma NBR 8949:1985 – Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples.

As argamassas utilizadas foram: argamassa industrial e argamassa dosada na obra com traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

4.2.6.1 Construção das paredes de bloco cerâmico

As paredes cerâmicas, assim como as de BCCA, foram construídas sobre suporte e guias de madeira (figura 4.29). As paredes foram confeccionadas observando-se o nível e o prumo.

A argamassa foi utilizada de forma a preencher as juntas de assentamento horizontal e verticalmente. A argamassa foi colocada sobre toda a superfície útil dos componentes e nas faces laterais dos mesmos. A espessura das juntas foi de 15 mm. A amarração dos blocos foi de forma convencional para alvenaria, na qual a junta vertical entre dois blocos fica sobre o meio do bloco da fiada anterior.



FIGURA 4.29 – Construção das paredes cerâmicas

As dimensões das paredes foram de:

- Altura: 180 cm;
- Largura: 120 cm;
- Espessura: 12,5 cm.

Durante a construção das paredes procurou-se manter um padrão da espessura das juntas, dimensão das paredes e consistência da argamassa. Houve dificuldades neste sentido devido à falta de padronização encontrada nos blocos cerâmicos, assim como dificuldade de manter uma espessura padrão para as juntas.

Foram construídas 4 paredes cerâmicas com argamassa industrial e 4 paredes cerâmicas com argamassa dosada na obra com traço 1:3:8.

Foi observada a idade mínima de 28 dias para a cura das paredes.

4.2.6.2 Transporte das paredes de bloco cerâmico

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão, as paredes foram transportadas do local de construção até o pórtico conforme item 4.2.5.2.

O processo de transporte das paredes cerâmicas está registrado na figura 4.30.



FIGURA 4.30 – Processo de transporte das paredes cerâmicas

4.2.6.3 Determinação da resistência à compressão

O ensaio de determinação da resistência à compressão das paredes cerâmicas foi executado conforme item 4.2.5.3 (figuras 4.31 e 4.32).



FIGURA 4.31 – Ensaio de compressão das paredes cerâmicas – argamassa industrial



FIGURA 4.32 – Ensaio de compressão das paredes cerâmicas – argamassa de traço 1:3:8

4.2.7 Determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão das argamassas

Os ensaios foram realizados de acordo com o disposto na norma NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

Durante a construção das paredes a serem utilizadas nos ensaios, recolheu-se uma amostra da argamassa utilizada para a realização do ensaio de resistência à tração na flexão e da resistência à compressão. O ensaio foi realizado com a argamassa industrial e a argamassa confeccionada como o traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

Para a realização do ensaio foram utilizados:

- Moldes prismáticos metálicos que consistem em armações abertas com paredes removíveis, formando três compartimentos quando montados, capazes de servirem de molde para três corpos-de-prova de 4 cm x 4 cm x 16 cm (figura 4.33);
- Mesa de adensamento por queda para argamassa com contador de golpes (figura 4.34);
- Nivelador de camadas: espátula que permite espalhar e nivelar camadas de argamassas adensadas nos moldes prismáticos (figura 4.35);
- Régua metálica;
- Máquina para ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão;

- Dispositivo de carga para ensaio de resistência à tração na flexão, capaz de aplicar um carregamento uniforme e sem choque de 50 N/s;
- Dispositivo de carga para ensaio de resistência à compressão, capaz de aplicar um carregamento uniforme e sem choque de 50 N/s;
- Utensílios para laboratório (figura 4.35).



FIGURA 4.33 – Molde prismático



FIGURA 4.34 – Mesa de adensamento e contador de golpes



FIGURA 4.35 – Nivelador de camadas e utensílios para laboratório

Imediatamente após o preparo da argamassa, com o molde fixo à mesa de adensamento, foi introduzida uma porção de argamassa em cada compartimento do molde. Com o auxílio do lado maior do nivelador de camadas, espalhou-se a argamassa em cada compartimento, formando uma camada uniforme (figura 4.36). Em seguida, aplicou-se 30 quedas com a utilização da mesa de adensamento. Introduziu-se a segunda camada de argamassa em cada compartimento do molde com o auxílio do lado menor do nivelador de camadas, espalhou-se uniformemente a argamassa, aplicou-se novamente 30 quedas com a utilização da mesa de adensamento.



FIGURA 4.36 – Argamassa no molde

Os corpos-de-prova foram rasados com a régua metálica (figura 4.37).



FIGURA 4.37 – Argamassa rasada

Os corpos-de-prova permaneceram nos moldes por 48 horas à temperatura do ar de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$. Os corpos-de-prova foram desmoldados e mantidos nas condições descritas até a ruptura (figura 4.38). A ruptura dos corpos-de-prova foi realizada com a idade de 28 dias.



FIGURA 4.38 – Secagem dos corpos-de-prova

4.2.7.1 Resistência à tração na flexão

Os corpos-de-prova foram posicionados nos dispositivos de apoio do equipamento de ensaio de modo que a parte rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga (figuras 4.39 e 4.40).

Um carregamento uniforme de 50 N/s foi aplicado até a ruptura do corpo-de-prova.



FIGURA 4.39 – Ensaio de resistência à tração na flexão – argamassa industrial
Fonte: Precon, 2010.



FIGURA 4.40 – Ensaio de resistência à tração na flexão – traço 1:3:8
Fonte: Precon, 2010.

A resistência à tração na flexão foi calculada segundo a norma NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – pela equação 3:

$$f_t = \frac{1,5F_t D}{40^3} \quad \text{equação 3;}$$

Onde:

f_t = resistência à tração na flexão, em MPa;

F_t = força aplicada verticalmente no prisma, em N;

D = distância entre os suportes, em mm.

4.2.7.2 Resistência à compressão

Foram utilizadas as metades dos três corpos-de-prova do ensaio de tração na flexão para a realização do ensaio de resistência à compressão. As metades foram posicionadas no dispositivo de apoio do equipamento de ensaio de modo que a parte rasada não ficasse em contato com os dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga (figuras 4.41 e 4.42).

Um carregamento uniforme de 50 N/s foi aplicado até a ruptura do corpo-de-prova.



FIGURA 4.41 – Ensaio de resistência à compressão – argamassa industrial
Fonte: Precon, 2010.



FIGURA 4.42 – Ensaio de resistência à compressão – traço 1:3:8
Fonte: Precon, 2010.

A resistência à compressão foi calculada segundo a norma NBR 13279:2005 pela equação 4:

$$f_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{equação 4;}$$

Onde:

f_c = resistência à compressão, em MPa;

F_c = força máxima aplicada, em N;

1600 = área da seção considerada quadrada do dispositivo de força 40 mm x 40 mm, em mm².

4.2.8 Ensaio de impacto de corpo duro

Os ensaios foram realizados de acordo com o disposto na norma NBR 15575:2008 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho.

O ensaio de impacto de corpo duro nas paredes BCCA e nas paredes de bloco cerâmico foi feito antes da realização do ensaio de resistência à compressão.

Foram aplicadas forças, cujos impactos provocaram energias de 2,5 e 10 J, indicadas para vedações verticais internas. Para obtenção destas energias, utilizou-se respectivamente, esfera de

aço de 0,5 kg a uma distância de 0,5 m e esfera de aço de 1 kg a uma distância de 1 m; foram aplicados dez impactos de corpo duro para cada situação (figuras 4.43, 4.45, 4.47 e 4.49).

Com o auxílio de um paquímetro de resolução de 0,1 mm, mediu-se as mossa (figuras 4.44, 4.46, 4.48 e 4.50). Utilizou-se papel carbono para ajudar na visualização das mossa.



FIGURA 4.43 – Ensaio de corpo duro – esfera de 0,5 kg (Parede BCCA)



FIGURA 4.44 – Ensaio de corpo duro – medição das mossa para esfera de 0,5 kg (Parede BCCA)



FIGURA 4.45 – Ensaio de corpo duro – esfera de 1 kg (Parede BCCA)



FIGURA 4.46 – Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 1 kg (Parede BCCA)



FIGURA 4.47 – Ensaio de corpo duro – esfera de 0,5 kg (Parede Cerâmica)



FIGURA 4.48 – Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 0,5 kg (Parede Cerâmica)



FIGURA 4.49 – Ensaio de corpo duro – esfera de 1 kg (Parede Cerâmica)



FIGURA 4.50 – Ensaio de corpo duro – medição das mossas para esfera de 1 kg (Parede Cerâmica)

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Resultados dos ensaios dos blocos de concreto celular autoclavado

5.1.1 Determinação da Densidade de Massa Aparente Seca

TABELA 5.1 – Densidade de massa aparente seca do bloco de concreto celular autoclavado

CP	Posição CP	Massa (kg)	Volume (m ³)	Densidade (kg/m ³)	Densidade Média (kg/m ³)
1	Topo	429	0,98	438	445
	Fundo	430	0,95	453	
2	Topo	431	0,98	440	445
	Fundo	437	0,97	450	
3	Topo	457	1,04	440	446
	Fundo	461	1,02	452	
4	Topo	445	1,00	445	449
	Fundo	448	0,99	452	
5	Topo	437	0,99	441	444
	Fundo	442	0,99	446	
6	Topo	440	1,01	436	444
	Fundo	444	0,98	453	
7	Topo	424	1,00	424	437
	Fundo	432	0,96	450	
8	Topo	452	1,00	452	456
	Fundo	464	1,01	460	
9	Topo	441	0,99	445	446
	Fundo	473	1,06	446	
10	Topo	434	0,98	443	450
	Fundo	448	0,98	457	
11	Topo	433	1,03	420	446
	Fundo	453	0,96	472	
12	Topo	427	1,01	423	437
	Fundo	439	0,97	452	
13	Topo	447	1,02	438	444
	Fundo	459	1,02	450	
14	Topo	446	0,99	451	452
	Fundo	453	1,00	453	
Média Aritmética					446
Mediana					445
Desvio Padrão					4,8

Legenda: CP: corpo-de-prova.

A densidade aparente seca média obtida experimentalmente, cujo valor é de 446kg/m³ (tabela 5.1) atende à especificação da norma NBR 13.438/1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Especificação. O valor da densidade aparente seca média determinada por norma para a classe C 25 é $\leq 550 \text{ kg/m}^3$.

5.1.2 Determinação da Resistência à Compressão

TABELA 5.2 – Resistência à compressão do bloco de concreto celular autoclavado

CP	Posição	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)	Resistência Média (MPa)
1	Topo	27,0	9800	2,8	2,9
	Fundo	29,4	9801	3,0	
2	Topo	30,0	9800	3,1	3,4
	Fundo	37,0	9900	3,7	
3	Topo	27,2	10201	2,7	2,6
	Fundo	26,4	10200	2,6	
4	Topo	33,0	9900	3,3	3,7
	Fundo	38,8	9800	4,0	
5	Topo	29,0	9801	3,0	3,4
	Fundo	36,8	9800	3,8	
6	Topo	26,8	10100	2,7	2,9
	Fundo	32,0	9999	3,2	
7	Topo	26,8	9898	2,7	2,9
	Fundo	30,2	9604	3,1	
8	Topo	28,0	9898	2,8	3,1
	Fundo	34,2	10000	3,4	
9	Topo	36,0	10094	3,6	3,7
	Fundo	41,0	10506	3,9	
10	Topo	37,2	9800	3,8	3,8
	Fundo	38,4	9900	3,9	
11	Topo	26,0	10100	2,6	2,7
	Fundo	27,2	9604	2,8	
12	Topo	28,0	9999	2,8	3,1
	Fundo	33,0	9900	3,3	
13	Topo	26,2	10100	2,6	2,9
	Fundo	31,8	10100	3,1	
14	Topo	35,4	9898	3,6	3,4
	Fundo	32,0	9900	3,2	
Média Aritmética					3,2
Mediana					3,1
Desvio Padrão					0,4

Legenda: CP: corpo-de-prova.

O valor médio da resistência à compressão do BCCA e o menor valor isolado obtidos experimentalmente, 3,2MPa e 2,6MPa respectivamente (tabela 5.2), atendem à especificação da norma NBR 13.438/1995 – Blocos de concreto celular autoclavado – Especificação. O valor médio mínimo da resistência à compressão determinado pela referida norma é de 2,5MPa e o menor valor isolado é de 2,0MPa.

5.2 Resultados dos ensaios dos blocos cerâmicos

Este item apresenta os resultados e análise dos ensaios realizados com os elementos constituídos de bloco cerâmico.

5.2.1 Determinação da Resistência à Compressão dos Blocos Cerâmicos

TABELA 5.3 – Resistência à compressão do bloco cerâmico

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	49,0	39615	1,2
2	32,0	38778	0,8
3	47,0	38624	1,2
4	58,4	36828	1,6
5	22,0	40180	0,6
6	32,5	41180	0,8
7	24,0	39054	0,6
8	26,0	39606	0,7
Média Aritmética			0,9
Mediana			0,8
Desvio Padrão			0,4

Como pode ser verificado na tabela 5.3, o valor médio da resistência à compressão do bloco cerâmico obtido experimentalmente, de 0,9 MPa não atendeu aos requisitos mínimos da norma NBR 15270/2005 – Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.

O valor médio mínimo da resistência à compressão determinado pela referida norma é de 1,5MPa para blocos usados com furos na horizontal.

5.2.2 Eficiência do Bloco Cerâmico em relação ao Bloco CCA

A eficiência do bloco cerâmico foi calculada em relação ao bloco CCA por meio da equação 5:

$$\eta = \frac{f_{\text{bloco_cerâmico}}}{f_{\text{CCA}}} \quad \text{equação 5;}$$

onde:

η = eficiência;

$f_{\text{bloco cerâmico}}$ = resistência à compressão do bloco cerâmico;

f_{CCA} = resistência à compressão do bloco CCA.

TABELA 5.4 – Resistência à compressão do bloco CCA x bloco cerâmico

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Bloco CCA (MPa)	14	2,6	3,2	3,1	3,8	0,4	0,3
Resistência do Bloco Cerâmico (MPa)	8	0,6	0,9	0,8	1,6	0,4	

A resistência média à compressão do bloco cerâmico ensaiado é de 0,3 da resistência à compressão do bloco CCA (tabela 5.4). O bloco CCA apresentou um comportamento mais uniforme em relação ao bloco cerâmico.

5.3 Resultados dos ensaios dos prismas de concreto celular autoclavado

5.3.1 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa industrial

Foram confeccionados para este ensaio 12 prismas BCCA com a utilização de argamassa industrial, porém um dos prismas descolou-se durante o manuseio. Desta maneira o ensaio foi realizado com a utilização de 11 prismas.

Os resultados da resistência à compressão do prisma de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial seguem na tabela 5.5.

TABELA 5.5 – Resistência à compressão do prisma de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	62,0	72240	0,9
2	83,5	72240	1,2
3	64,5	72590	0,9
4	70,0	72590	1,0
5	68,2	72224	0,9
6	74,0	74375	1,0
7	72,5	71400	1,0
8	85,5	72000	1,2
9	77,2	72590	1,1
10	62,2	73200	0,8
11	75,5	73200	1,0
Média Aritmética			1,0
Mediana			1,0
Desvio Padrão			0,1

5.3.2 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

Os resultados da resistência à compressão dos prismas de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) seguem na tabela 5.6.

TABELA 5.6 – Resistência à compressão do prisma de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	78,4	73200	1,1
2	80,5	73200	1,1
3	70,5	75000	0,9
4	63,2	72000	0,9
5	79,0	73200	1,1
6	52,3	72000	0,7
7	50,0	72000	0,7
8	78,0	73200	1,1
9	73,5	74400	1,0
10	80,0	73200	1,1
11	85,6	73200	1,2
12	89,8	73200	1,2
Média Aritmética			1,0
Mediana			1,1
Desvio Padrão			0,2

5.3.3 Eficiência do Prisma BCCA com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação ao Prisma BCCA com argamassa industrial

TABELA 5.7 – Resistência à compressão do prisma BCCA argamassa de traço 1:3:8 x prisma BCCA argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Prisma BCCA: argamassa Industrial (MPa)	11	0,8	1,0	1,0	1,2	0,1	1,0
Resistência do Prisma BCCA: traço 1:3:8 (MPa)	12	0,7	1,0	1,1	1,2	0,2	

O sistema de prismas BCCA com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) possui a mesma eficiência que o sistema de prismas BCCA com argamassa industrial (tabela 5.7). O sistema de prismas BCCA com a utilização da argamassa industrial apresentou um comportamento mais uniforme em relação ao da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

5.4 Resultados dos ensaios dos prismas de bloco cerâmico

5.4.1 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa industrial

Foram confeccionados para este ensaio 12 prismas de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial, porém devido a um dos prismas ter quebrado, o ensaio foi realizado com a utilização de 11 prismas.

Os valores da resistência à compressão dos prismas de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial obtidos nos ensaio encontram-se na tabela 5.8.

TABELA 5.8 – Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	13,6	39825	0,3
2	9,0	38940	0,2
3	15,8	39530	0,4
4	10,6	39825	0,3
5	8,5	40415	0,2
6	8,4	40415	0,2
7	10,8	39825	0,3
8	9,3	39420	0,2
9	11,2	39825	0,3
10	13,6	39825	0,3
11	10,3	40230	0,3
Média Aritmética			0,3
Mediana			0,3
Desvio Padrão			0,1

5.4.2 Determinação da Resistência à Compressão do Prisma de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

Os valores da resistência à compressão dos prismas de bloco cerâmico com a utilização de argamassa com traço 1:3:8 obtidos nos ensaio encontram-se na tabela 5.9.

TABELA 5.9 – Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa traço 1:3:8

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	8,7	39420	0,2
2	10,3	39235	0,3
3	6,2	39712	0,2
4	13,4	39420	0,3
5	10,7	39825	0,3
6	12,6	40095	0,3
7	11,9	39984	0,3
8	9,9	39730	0,3
9	13,1	40415	0,3
10	7,7	40230	0,2
11	9,7	40365	0,2
12	11,2	39690	0,3
Média Aritmética			0,3
Mediana			0,3
Desvio Padrão			0,1

5.4.3 Eficiência do Prisma de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação ao Prisma de bloco cerâmico com argamassa industrial

TABELA 5.10 – Resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 x prisma de bloco cerâmico com argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Prisma Cerâmico: argamassa Industrial (MPa)	11	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	1,0
Resistência do Prisma Cerâmico: traço 1:3:8 (MPa)	12	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	

O sistema de prismas cerâmicos com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) possui a mesma eficiência que o sistema de prismas cerâmicos com argamassa industrial (tabela5.10). O sistema de prismas cerâmicos com a utilização da argamassa industrial apresentou um comportamento parecido ao sistema de prismas cerâmicos com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

5.5 Resultados dos ensaios das paredes de concreto celular autoclavado

5.5.1 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa industrial

Os valores da resistência à compressão da parede de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial obtidos nos ensaios encontram-se na tabela 5.11.

TABELA 5.11 – Resistência à compressão da parede de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa industrial

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	162,7	148180	1,1
2	165,4	152576	1,1
3	124,7	143385	0,9
4	148,7	144212	1,0
Média Aritmética			1,0
Mediana			1,1
Desvio Padrão			0,1

5.5.2 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Concreto Celular Autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.12 – Resistência à compressão da parede de concreto celular autoclavado com a utilização de traço 1:3:8

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	169,2	146739	1,2
2	114,7	150272	0,8
3	160,7	145263	1,1
4	103,2	143106	0,7
Média Aritmética			1,0
Mediana			0,9
Desvio Padrão			0,2

Os valores da resistência à compressão das paredes de concreto celular autoclavado com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 obtidos nos ensaios encontram-se na tabela 5.12.

5.5.3 Eficiência da Parede BCCA com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à Parede BCCA com argamassa industrial

TABELA 5.13 – Resistência à compressão da parede BCCA com argamassa de traço 1:3:8 x parede BCCA com argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência da Parede BCCA: argamassa Industrial (MPa)	4	0,9	1,0	1,1	1,1	0,1	1,0
Resistência da Parede BCCA: traço 1:3:8 (MPa)	4	0,7	1,0	0,9	1,2	0,2	

O sistema de paredes BCCA com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) possui a mesma eficiência em relação ao sistema de paredes BCCA com argamassa industrial (tabela 5.13). O sistema de paredes BCCA com a utilização da argamassa industrial apresentou um comportamento mais homogêneo em relação ao da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

5.6 Resultados dos ensaios das paredes de bloco cerâmico

5.6.1 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa industrial

TABELA 5.14 – Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	48,8	156465	0,3
2	60,8	150020	0,4
3	40,8	149340	0,3
4	35,8	155306	0,2
Média Aritmética			0,3
Mediana			0,3
Desvio Padrão			0,1

Os valores da resistência à compressão das paredes de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial obtidos nos ensaio encontram-se na tabela 5.14.

5.6.2 Determinação da Resistência à Compressão da Parede de Bloco Cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.15 – Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8

CP	Força (kN)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
1	35,3	159705	0,2
2	34,3	159570	0,2
3	25,9	159570	0,2
4	53,1	160380	0,3
Média Aritmética			0,2
Mediana			0,2
Desvio Padrão			0,1

Os valores da resistência à compressão das paredes de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 obtidos nos ensaio encontram-se na tabela 5.15.

5.6.3 Eficiência da Parede de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à Parede de bloco cerâmico com argamassa industrial

TABELA 5.16 – Resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com argamassa de traço 1:3:8 x parede de bloco cerâmico com argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência da Parede Cerâmica: argamassa Industrial (MPa)	4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	0,7
Resistência da Parede Cerâmica: traço 1:3:8 (MPa)	4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	

O sistema de paredes cerâmicas com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) possui a eficiência de 0,7 em relação ao sistema de paredes BCCA com argamassa industrial.

5.7 Eficiência dos sistemas em relação às argamassas

5.7.1 Eficiência do Sistema BCCA com a utilização da argamassa industrial

TABELA 5.17 – Resistência à compressão do sistema BCCA com argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Bloco CCA (MPa)	14	2,6	3,2	3,1	3,8	0,4	1
Resistência do Prisma BCCA: argamassa Industrial (MPa)	11	0,8	1,0	1,0	1,2	0,1	0,3
Resistência da Parede BCCA: argamassa Industrial (MPa)	4	0,9	1,0	1,1	1,1	0,1	0,3

Na tabela 5.17, os sistemas de BCCA com a utilização de argamassa industrial foram relacionados através do conceito de eficiência, tomando-se a unidade bloco como referência em relação à média da resistência à compressão.

A resistência à compressão do prisma CCA com a utilização de argamassa industrial, assim como a da parede é de 0,3 da resistência à compressão do bloco CCA.

5.7.2 Eficiência do Sistema BCCA com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.18 – Resistência à compressão do sistema BCCA com argamassa de traço 1:3:8

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Bloco CCA (MPa)	14	2,6	3,2	3,1	3,8	0,4	1
Resistência do Prisma BCCA: traço 1:3:8 (MPa)	12	0,7	1,0	1,1	1,2	0,2	0,3
Resistência da Parede BCCA: traço 1:3:8 (MPa)	4	0,7	1,0	0,9	1,2	0,2	0,3

Na tabela 5.18, os sistemas de BCCA com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 foram relacionados através do conceito de eficiência, tomando-se a unidade bloco como referência em relação à média da resistência à compressão.

A resistência à compressão do prisma CCA com a utilização de argamassa de traço 1:3:8, assim como a da parede é de 0,3 da resistência à compressão do bloco CCA.

5.7.3 Eficiência do Sistema Cerâmico com a utilização da argamassa industrial

TABELA 5.19 – Resistência à compressão do sistema cerâmico com argamassa industrial

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Bloco Cerâmico (MPa)	8	0,6	0,9	0,8	1,6	0,4	1
Resistência do Prisma Cerâmico: argamassa Industrial (MPa)	11	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3
Resistência da Parede Cerâmica: argamassa Industrial (MPa)	4	0,2	0,3	0,3	0,4	0,1	0,3

Na tabela 5.19, os sistemas de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial foram relacionados através do conceito de eficiência, tomando-se a unidade bloco como referência em relação à média da resistência à compressão.

A resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa industrial, assim como a da parede é de 0,3 da resistência à compressão do bloco cerâmico.

5.7.4 Eficiência do Sistema Cerâmico com a utilização da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.20 – Resistência à compressão do sistema cerâmico com argamassa de traço 1:3:8

Elemento	n	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	Desvio Padrão	η
Resistência do Bloco Cerâmico (MPa)	8	0,6	0,9	0,8	1,6	0,4	1
Resistência do Prisma Cerâmico: traço 1:3:8 (MPa)	12	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,3
Resistência da Parede Cerâmica: traço 1:3:8 (MPa)	4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2

Na tabela 5.20, os sistemas de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8 foram relacionados através do conceito de eficiência, tomando-se a unidade bloco como referência em relação à média da resistência à compressão.

A resistência à compressão do prisma de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8, é de 0,3 da resistência à compressão do bloco cerâmico. A resistência à compressão da parede de bloco cerâmico com a utilização de argamassa de traço 1:3:8, é de 0,2 da resistência à compressão do bloco cerâmico.

5.7.5 Resistência média à compressão dos elementos

A tabela 5.21 mostra a resistência média à compressão dos sistemas BCCA e cerâmico, com a utilização da argamassa industrial e da argamassa de traço 1:3:8, dos elementos bloco, prisma e parede.

TABELA 5.21 – Resistência média à compressão dos elementos

elemento	Resistência média à compressão (MPa)			
	sistema BCCA		sistema cerâmico	
	argamassa industrial	argamassa traço 1:3:8	argamassa industrial	argamassa traço 1:3:8
bloco	3,2		0,9	
prisma	1,0	1,0	0,3	0,3
parede	1,0	1,0	0,3	0,2

Como pode ser observado, o comportamento da resistência média à compressão dos sistemas BCCA e cerâmico em relação aos elementos é parecido, independente do tipo de argamassa utilizada.

5.8 Resultados dos ensaios das argamassas

A norma NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão – determina o cálculo do desvio absoluto máximo dos resultados obtidos.

O desvio absoluto máximo consiste na diferença entre a resistência média e a resistência individual que mais se afaste desta média para mais ou para menos.

Para a resistência à tração na flexão, quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,3 MPa, deve ser calculada nova média, desconsiderando o valor discrepante. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo dois corpos-de-prova, caso contrário o ensaio deve ser refeito.

Para a resistência à compressão, quando o desvio absoluto máximo for superior a 0,5 MPa, deve ser calculada nova média, desconsiderando o valor discrepante. O ensaio é considerado válido quando o resultado for constituído da média de no mínimo quatro corpos-de-prova, caso contrário o ensaio deve ser refeito.

A referida norma determina que a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão de cada corpo-de-prova sejam calculadas de acordo com as equações 3 e 4 respectivamente, em megapascal. O resultado deve ser arredondado ao centésimo mais próximo.

A resistência média dos três corpos-de-prova ensaiados à tração na flexão e a resistência média dos seis corpos-de-prova ensaiados à compressão devem ser calculadas. O resultado deve ser arredondado ao décimo mais próximo.

5.8.1 Determinação da Resistência à Tração na Flexão para argamassa industrial

As resistências dos corpos-de-prova ensaiados à tração na flexão para argamassa industrial seguem na tabela 5.22.

TABELA 5.22 – Resistência à tração na flexão para argamassa industrial

CP	Resistência (MPa)
1	2,62
2	2,64
3	2,70
Média Aritmética	2,7
Desvio Absoluto Máx.	0,1

5.8.2 Determinação da Resistência à Tração na Flexão para argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.23 a) – Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8

CP	Resistência (MPa)
1	2,25
2	3,05
3	2,27
Média Aritmética	2,5
Desvio Absoluto Máx.	0,6

No cálculo da resistência à tração na flexão para a argamassa de traço 1:3:8, o valor do desvio absoluto máximo obtido foi superior ao permitido (tabelas 5.23 a)). Devido à recomendação da norma NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, foi calculada novamente a média da resistência, desconsiderando-se o valor discrepante, conforme tabela 5.23 b).

TABELA 5.23 b) – Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8

CP	Resistência (MPa)
1	2,25
3	2,27
Média Aritmética	2,3
Desvio Absoluto Máx.	0,1

5.8.3 Eficiência da Tração na Flexão para a argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à argamassa industrial

Na tabela 5.24, foram relacionadas a resistência à tração na flexão com a utilização de argamassa industrial e a resistência à tração na flexão com utilização de argamassa de traço 1:3:8 através do conceito de eficiência.

TABELA 5.24 – Resistência à tração na flexão para argamassa de traço 1:3:8 x argamassa industrial

Elemento	n	Média	Desvio Absoluto Máx.	η
Resistência à tração na flexão: argamassa Industrial (MPa)	3	2,7	0,1	0,85
Resistência à tração na flexão: traço 1:3:8 (MPa)	2	2,3	0,1	

A resistência à tração na flexão com utilização de argamassa de traço 1:3:8 é de 0,85 da resistência à tração na flexão com a utilização de argamassa industrial.

5.8.4 Determinação da Resistência à Compressão para argamassa industrial

TABELA 5.25 – Resistência à compressão para argamassa industrial

CP	Resistência (MPa)
1	4,80
2	4,90
3	4,90
4	4,90
5	4,80
6	4,60
Média Aritmética	4,8
Desvio Absoluto Máx.	0,2

As resistências dos corpos-de-prova ensaiados à compressão para a argamassa industrial estão apresentadas na tabela 5.25.

5.8.5 Determinação da Resistência à Compressão para argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia)

TABELA 5.26 a) – Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8

CP	Resistência (MPa)
1	8,70
2	11,10
3	9,30
4	9,20
5	10,40
6	9,20
Média Aritmética	9,7
Desvio Absoluto Máx.	1,4

O valor do desvio absoluto máximo obtido, no cálculo da resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8, foi superior ao permitido (tabela 5.26 a)). Devido à recomendação da norma NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão, foi calculada novamente a média da resistência, desconsiderando-se o valor discrepante, conforme tabela 5.26 b).

TABELA 5.26 b) – Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8

CP	Resistência (MPa)
1	8,70
3	9,30
4	9,20
5	10,40
6	9,20
Média Aritmética	9,4
Desvio Absoluto Máx.	1,0

Foi necessário novo cálculo da média, conforme tabela 5.26c).

TABELA 5.26 c) – Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8

CP	Resistência (MPa)
1	8,70
3	9,30
4	9,20
6	9,20
Média Aritmética	9,1
Desvio Absoluto Máx.	0,4

5.8.6 Eficiência da argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) em relação à argamassa industrial para a Compressão

TABELA 5.27 – Resistência à compressão para argamassa de traço 1:3:8 x argamassa industrial

Elemento	n	Média	Desvio Absoluto Máx.	η
Resistência à compressão: argamassa Industrial (MPa)	6	4,8	0,2	1,90
Resistência à compressão: traço 1:3:8 (MPa)	4	9,1	0,4	

Na tabela 5.27, foram relacionadas a resistência à compressão com a utilização de argamassa industrial e a resistência à compressão com utilização de argamassa de traço 1:3:8 através do conceito de eficiência.

A resistência à compressão da argamassa de traço 1:3:8 é de 1,9 da resistência à compressão da argamassa industrial.

5.8.7 Resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas

A tabela 5.28 mostra a resistência à tração na flexão e à compressão da argamassa industrial e da argamassa de traço 1:3:8.

TABELA 5.28 – Resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas

elemento	Resistência à tração (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
argamassa industrial	2,7	4,8
argamassa traço 1:3:8	2,3	9,1

Como pode ser observado na tabela, o valor da resistência à tração na flexão da argamassa industrial é maior que a da argamassa de traço 1:3:8. O valor da resistência à compressão da argamassa industrial é inferior que a da argamassa de traço 1:3:8.

5.9 Resultados dos ensaios de impacto de corpo duro

5.9.1 Paredes de Concreto Celular Autoclavado

Para o impacto de 2,5 J as paredes BCCA apresentaram um afundamento de profundidade média de 1,6 mm, de comprimento médio de 26,9 mm e altura média de 15,5 mm.

Para o impacto de 10 J as paredes BCCA apresentaram um afundamento de profundidade média de 6,1 mm, de comprimento médio de 49,9 mm e altura média de 35,7 mm.

5.9.2 Paredes de Blocos Cerâmicos

Para o impacto de 2,5 J o resultado típico foi o de não aparecimento de falhas, porém as paredes de bloco cerâmico que possuíam seções enfraquecidas apresentaram fissuras ou rompimento da parede externa do bloco.

Para o impacto de 10 J as paredes de bloco cerâmico apresentaram rompimento da parede externa do bloco, de comprimento médio de 46,6 mm e altura média de 33,9 mm.

5.9.3 Análise dos resultados

O critério de desempenho apresentado na norma é o de não ocorrência de falhas para a energia de impacto de 2,5 J e a não ocorrência de ruptura e transpassamento para a energia de impacto de 10 J para vedação vertical com ou sem função estrutural.

As paredes de bloco concreto celular autoclavado apresentaram o desempenho exigido na norma. Para a energia de 2,5 J a profundidade atingida de 1,6 mm não foi considerada como falha e para a energia de 10 J não ocorreu ruptura e transpassamento.

As paredes de bloco cerâmico apresentaram um desempenho aquém do exigido na norma. Para a energia de 2,5 J ocorreram falhas e para a energia de 10 J ocorreu ruptura da parede externa do bloco.

6. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios demonstram que o bloco de concreto celular ensaiado atende aos critérios normativos quanto à densidade de massa aparente seca e à resistência à compressão. Os blocos cerâmicos ensaiados apresentaram resistência à compressão inferior ao exigido por norma. Os blocos de concreto celular apresentaram resistência à compressão superior aos blocos cerâmicos.

Não se observou nos prismas de bloco de concreto celular autoclavado diferença no valor médio da resistência à compressão, em relação às duas argamassas utilizadas: argamassa industrializada e argamassa dosada em obra com o traço 1:3:8 (cimento:cal:areia). Porém, os prismas com argamassa industrializada apresentaram um comportamento mais uniforme.

Os prismas de bloco cerâmico apresentaram comportamento semelhante no que se refere à resistência à compressão em relação à utilização dos dois tipos de argamassa.

Observou-se que para as paredes de bloco de concreto celular autoclavado, a utilização da argamassa industrial conferiu um comportamento mais uniforme em relação à resistência à compressão.

Quanto às paredes de bloco cerâmico, foi observada uma maior eficiência com a utilização da argamassa industrial em relação à resistência à compressão.

Em relação aos sistemas, foi observado que o bloco isolado apresenta resistência à compressão maior que a dos os prismas e das paredes. Não houve diferença significativa entre a resistência à compressão dos prismas e das paredes, sendo que a diferença de maior significado é entre a resistência à compressão dos prismas e das paredes em relação ao bloco isolado.

A argamassa industrializada apresentou resistência à tração na flexão maior que a argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia) e resistência à compressão menor. Devido à ruptura do sistema ocorrer na tração, a argamassa industrializada mostrou um melhor desempenho em relação à argamassa de traço 1:3:8 (cimento:cal:areia).

Para o ensaio de corpo duro observou-se que o sistema BCCA atendeu as exigências normativas e o sistema de bloco cerâmico não.

De acordo com os resultados obtidos dos sistemas construtivos conclui-se que o sistema BCCA com a utilização de argamassa industrializada apresenta um melhor desempenho que os demais sistemas em relação aos aspectos analisados.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

Para trabalhos posteriores sugere-se:

- i) estudo da influência do módulo de elasticidade no comportamento da resistência à compressão dos sistemas;
- ii) avaliação do desempenho do sistema composto por paredes com a utilização de bloco cerâmico rebocados através do ensaio de corpo duro;
- iii) avaliação do desempenho dos sistemas através do ensaio de corpo mole;
- iv) avaliação do desempenho dos sistemas quanto à absorção de água.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6023 – Informações e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. NBR 8215 – Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural – preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. NBR 8949 – Paredes de alvenaria estrutural – ensaio à compressão simples. Rio de Janeiro, 1985.

_____. NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2001.

_____. NBR 13279 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 13438 – Blocos de concreto celular autoclavado – Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13439 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13440 – Blocos de concreto celular autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 14956 – Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 15270 – Componentes cerâmicos; Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos e Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutura e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

CASCUDO O. et al. Microestrutura dos Materiais Cerâmicos. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª edição, São Paulo: IBRACON, 2007. p. 321-349.

KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de Cerâmica Vermelha. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª edição, São Paulo: IBRACON, 2007. p.563-585.

GUIA PRÁTICO CONCRETO CELULAR PRECON

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 12ª edição, São Paulo: GLOBO, 2003. p. 1-51

PIROLI, E. **Construções de Edifícios I**, notas de aula. COTEC, 1985.p. 21-23

RIBEIRO, C. C. et al. **Materiais de Construção Civil**. 2ª edição, Minas Gerais: UFMG, 2006. p. 85-88

RIPPER, E. **Manual Prático de Materiais de Construção**. São Paulo: PINI, 1995.

SENAI-RS, 2000 apud KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de Cerâmica Vermelha. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª edição, São Paulo: IBRACON, 2007. p.563-585

SILVA, G. M et al. **Painéis de Vedação**. 2ª edição, Rio de Janeiro, 2004. p. 8-10

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios**. 1ª edição, São Paulo: PINI, 1989. p. 138-143

YAZIGI, W. **A Técnica de Edificar**. PINI, 2ª edição, São Paulo, 1999. p. 409-424

www.ceramicaforte.com.br, acessado em março. 2010.

www.precon.com.br, acessado em março. 2010.