

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Lucas Vinícius Assmann

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO: BLOCO DE
CONCRETO CELULAR E BLOCO CERÂMICO RACIONAL.**

Santa Cruz do Sul
2016

Lucas Vinícius Assmann

**COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE ALVENARIA DE VEDAÇÃO: BLOCO DE
CONCRETO CELULAR E BLOCO CERÂMICO.**

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
de Santa Cruz do Sul, UNISC, para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Prof. Orientador: Prof. Ms. Marcus Daniel
Friederich dos Santos

Santa Cruz do Sul
2016

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de tudo por ter me dado a oportunidade de seguir o caminho que eu desejei e correr atrás de um futuro promissor.

A toda minha família, principalmente meus pais Cláudio e Josélia por terem me dado o suporte e apoio para alcançar as metas que tracei.

A todos meus amigos por terem me apoiado nesta jornada discutindo o assunto e auxiliando nas dificuldades encontradas.

Ao professor orientador Marcus Daniel pelo auxílio durante o trabalho, direcionando os estudos, levantando obras para visitas técnicas e me induzindo a exercitar meu senso crítico.

A todas construtoras que abriram suas portas para me receber dedicando o seu concorrido tempo para me fornecer informações e realizar este estudo.

Sem o apoio de todos vocês este trabalho não seria concretizado.

RESUMO

A necessidade de evolução acompanha o homem desde a sua criação. Assim como todos os elementos que constituem a vida em sociedade, a construção também tem a necessidade de evoluir, porém anda em um passo mais lento que muitos outros setores. Diante deste cenário, este trabalho vem com a finalidade de comparar dois materiais diferenciados, utilizados na construção civil como elemento de vedação vertical, o bloco de concreto celular autoclavado e o bloco cerâmico racional. Por meio de pesquisas em obras que estão em andamento e que utilizam os sistemas estudados, foi possível levantar detalhes sobre cada etapa da construção de ambos os sistemas. Da mesma forma foi possível identificar pontos considerados como possíveis deficiências dos sistemas merecendo uma atenção maior. Por meio de pesquisas foi possível comparar o desempenho destes sistemas com o exigido pela NBR 15575 (ABNT, 2013), facilitando a comparação direta entre os dois. Identificado por ser um sistema racionalizado, os blocos cerâmicos demonstram melhor rendimento de execução e melhor desempenho em grande parte dos quesitos exigidos pela norma, sendo inferior apenas na segurança contra incêndio e desempenho térmico quando comparado ao bloco de concreto celular autoclavado. Ambos os sistemas não apresentaram desempenho suficiente para atender a redução acústica exigida pela norma. Se por um lado os blocos de concreto celular autoclavado apresentam um menor peso, gerando redução nas cargas de estrutura e fundações, por outro lado seu custo de mercado é bastante elevado quando comparado com o bloco cerâmico. Os blocos de concreto celular autoclavado não atingiram o desempenho mínimo exigido pela ANBT NBR 15575:2013 em relação à resistência de carga à peças suspensas, em ensaio realizado dentro do campus da universidade.

Palavras-chave: Bloco de concreto celular autoclavado. Bloco cerâmico racional. Sistema de alvenaria vedação vertical. Desempenho das edificações habitacionais.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Transmitância térmica mínima dos SVVIE.....	18
Tabela 2 – Capacidade térmica mínima dos SVVIE	18
Tabela 3 - Composição do BCCA.....	21
Tabela 4 - Família de BCCA.....	22
Tabela 5 – Classes , resistência à compressão e densidade de massa.....	34
Tabela 6 – Critérios para o ensaio de peças suspensas com mão francesa	36
Tabela 7 – Peso blocos de concreto celular autoclavado	38
Tabela 8 – Dimensionamento de vergas e contravergas.....	50
Tabela 9 - Resultados ensaio de mão francesa.....	53
Tabela 10 - Impactos de corpo mole para alvenarias de vedação externa.....	55
Tabela 11 - Massa de corpo percursor de impacto, altura e energia de impacto.....	56
Tabela 12 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas) ...	56
Tabela 13 - Transmitância térmica máxima	59
Tabela 14 - Capacidade térmica mínima para paredes externas	59
Tabela 15 – Classes, resistência à compressão e densidade de massa.....	62
Tabela 16 – Resistência à compressão	63
Tabela 17 - Índice de absorção de água	65
Tabela 18 - Peso dos blocos cerâmicos com furos na vertical - 7MPa.....	69
Tabela 19 – Desempenho térmico dos blocos cerâmicos	91
Tabela 20 - Comparativo de custo.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Prédio executado em alvenaria estrutural	10
Figura 2 - Alvenaria de Vedação	11
Figura 3 - Exemplo de alvenaria tradicional	13
Figura 4 - Exemplo de alvenaria racionalizada.....	13
Figura 5 – Zonas bioclimáticas brasileiras	18
Figura 6 - Esquema do proceso de fabricação de BCCA.....	21
Figura 7 - Embutimento de instalações	23
Figura 8 - Bloco cerâmico com furos na vertical.....	24
Figura 9 - Máquina de corte de blocos cerâmicos.....	26
Figura 10 - Secagem de blocos.....	27
Figura 11 - Vagões de queima de blocos cerâmicos	27
Figura 12 - Localização dos corpos de prova.....	32
Figura 13 - Mão francesa conforme NBR 15575:2013	35
Figura 14 – Alvenaria desalinhada horizontalmente.....	39
Figura 15 – BCCA armazenados no canteiro de obra	40
Figura 16 – Transporte de argamassa	41
Figura 17 – Corte dos blocos com serra e serrote	44
Figura 18 – Auxilio de ferramentas para nívelar a alvenaria	44
Figura 19 – Preenchimento dos blocos com argamassa.....	45
Figura 20 – Encunhamento com junta abaixo do recomendável.....	47
Figura 21 – Juntas de movimentação	47
Figura 22 – Execução de aberturas	49
Figura 23 – Visualização frontal verga, contraverga e respectivos transpasses	50
Figura 24 - Alvenaria recebendo instalações elétricas e hidráulicas	51
Figura 25 - Bucha SXR	53
Figura 26 - Detalhe dos blocos e juntas após a execução do ensaio.....	58
Figura 27 - Ensaio de resistência à compressão.....	62
Figura 28 - Etapas do ensaio de absorção.....	64
Figura 29 – Sequencia do ensaio de peças suspensas	66
Figura 30 - Ensaio de peças suspensas com 800 N	67
Figura 31 - Ensaio de mão francesa após rompimento	67
Figura 32 – Bloco cerâmico com furos na vertical.....	68

Figura 33 - Exemplo de blocos especiais	70
Figura 34 - Carregadeira adaptada para empilhadeira.....	71
Figura 35 - Carrinho duas rodas.....	72
Figura 36 – Marcação da alvenaria interna	74
Figura 37 - Ferramentas utilizadas para execução da alvenaria	75
Figura 38- Ferramentas mais utilizadas para assentamento de blocos cerâmicos ...	76
Figura 39 – Amarração dos blocos em formato de castelo	77
Figura 40 - Encunhamento com argamassa.....	78
Figura 41 - Detalhe de encontro de paredes	79
Figura 42 – Esquema de fixação da alvenaria à estrutura	80
Figura 43 - Gabaritos para execução de aberturas	81
Figura 44 - Máquina de projeção de reboco.....	81
Figura 45 - Transpasse de vergas e contravergas	82
Figura 46 - Utilização de shaft na obra.....	83
Figura 47 - CD e eletrodutos embutidos na alvenaria	84
Figura 48 – Espera de ar condicionado.....	84
Figura 49 - Caixa de luz em formato circular.....	85
Figura 50 - Bancada para estudo de projetos	87

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BCCA	Bloco de Concreto Celular Autoclavado
CCA	Concreto Celular Autoclavado
SVVIE	Sistema de vedação vertical interna e externa
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros Quadrados
CP	Corpo de Prova
Kgf	Quilograma Força
Kgf/cm ²	Quilograma Força por Centímetro Quadrado
mm	Milímetros
m	Metros
NBR	Norma Brasileira
N	Newton
RS	Rio Grande do Sul
T	Temperatura
s	Segundo
°C	Temperatura em graus Célsius
N	Newtons
KN	Quilonewtom
K	Kelvin

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	5
1.1 Área e limitação do tema	6
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo Geral	6
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Justificativa	7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 Alvenaria	9
2.1.1 Alvenaria estrutural	9
2.1.2 Alvenaria de vedação	10
2.1.3 Alvenaria de vedação racionalizada	11
2.2 Norma de desempenho – ABNT NBR 15575 - parte 4 (2013)	14
2.2.1 Capacidade de suporte de peças suspensas	15
2.2.2 Impacto de corpo mole	15
2.2.3 Impacto de corpo duro	15
2.2.4 Segurança contra incêndio	16
2.2.5 Estanqueidade	17
2.2.6 Desempenho Térmico	17
2.2.7 Desempenho Acústico	19
2.3 Bloco de concreto celular autoclavado	19
2.3.1 História	19
2.3.2 Fabricação	20
2.3.3 Características	21
2.3.4 Racionalização	23
2.4 Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical	23
2.4.1 História	24
2.4.2 Fabricação	25
2.4.3 Características	28
2.4.4 Racionalização	28
3 METODOLOGIA	30
3.1 Levantamento de informações sobre os sistemas construtivos	30
3.2 Ensaios complementares	32

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS OBTIDOS	37
4.1 Alvenaria de vedação com blocos de concreto celular autoclavado	37
4.1.1 Fundação e estrutura	37
4.1.2 Blocos utilizados	37
4.1.3 Armazenamento	39
4.1.4 Rendimento	40
4.1.5 Transporte dos materiais	40
4.1.6 Alvenaria	41
4.1.6.1 Argamassa	42
4.1.6.2 Marcação da alvenaria	42
4.1.6.3 Execução da alvenaria	43
4.1.6.4 Juntas	46
4.1.6.5 Amarrações e conectores	48
4.1.6.6 Aberturas	48
4.1.6.7 Revestimento	49
4.1.6.8 Vergas e contravergas	50
4.1.6.9 Instalações elétricas e hidrossanitárias	51
4.1.7 Sustentabilidade	51
4.1.8 Desempenho	52
4.1.8.1 Peças suspensas	52
4.1.8.2 Impacto de corpo mole	54
4.1.8.3 Impacto de corpo duro	55
4.1.8.4 Análise de estanqueidade à água da chuva	57
4.1.8.5 Segurança contra incêndio	57
4.1.8.6 Desempenho térmico	58
4.1.8.7 Desempenho acústico	59
4.1.9 Observações em relação ao sistema de BCCA	60
4.1.9.1 Resistência à compressão	61
4.1.9.2 Absorção	63
4.1.9.3 Ensaio de peças suspensas	65
4.2 Alvenaria racional com blocos cerâmicos	68
4.2.1 Blocos utilizados	68
4.2.2 Armazenamento	70
4.2.3 Rendimento	71

4.2.4 Transporte dos materiais	71
4.2.5 Alvenaria	72
4.2.5.1 Argamassa	72
4.2.5.2 Marcação da alvenaria	73
4.2.5.3 Execução da alvenaria	74
4.2.5.4 Juntas	78
4.2.5.5 Amarrações e conectores	79
4.2.5.6 Aberturas	80
4.2.5.7 Revestimento	81
4.2.5.8 Vergas e contravergas	82
4.2.5.9 Instalações elétricas e hidrossanitárias	83
4.2.5.10 Projeto de paginação e integração de projetos	85
4.2.6 Sustentabilidade	87
4.2.7. Desempenho	88
4.2.7.1. Ensaio de peças suspensas	88
4.2.7.2. Ensaio de corpo mole	88
4.2.7.3. Ensaio de corpo duro	89
4.2.7.4. Segurança contra incêndio	89
4.2.7.5. Análise da estanqueidade à água da chuva	90
4.2.7.6. Desempenho térmico	91
4.2.7.7. Desempenho acústico	92
4.3 Custo	93
5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
5.1 CONCLUSÃO	94
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
REFERÊNCIAS	96
ANEXO A – QUESTIONÁRIO PARA SER APLICADO EM OBRA	99
ANEXO B – DESEMPENHO ACÚSTICO DAS HABITAÇÕES	101

1 APRESENTAÇÃO

A construção civil está presente na sociedade desde os tempos mais remotos, apresentando obras incríveis de tempos onde não havia grandes recursos, e que até hoje se discutem o modo como foram executadas, a exemplo disto lembramo-nos das pirâmides do Egito. Nos tempos atuais os métodos construtivos são diferentes, muitos elementos foram descobertos como, por exemplo, o concreto e alguns tiveram suas composições alteradas, neste caso falamos sobre o aço.

A invenção do computador fez com que tudo evoluísse de maneira muito rápida, nos últimos cinquenta anos parte da população teve dificuldades de se adaptar aos novos meios de comunicação e trabalho, além da inclusão da tecnologia como lazer. Nossos carros não são mais movidos a vapor e apresentam uma porção de recursos computadorizados, cirurgias de grandes riscos hoje são feitas com auxílio de computadores que garantem um grande percentual de sucesso, e assim se prossegue em boa parte dos setores importantes para a vida em sociedade.

Em um processo mais lento os métodos construtivos, principalmente no Brasil, não evoluíram de tal maneira. Os métodos tradicionais são muito próximos dos arcaicos com mudanças pouco perceptíveis, parte disto se deve ao fato de existir certo receio de fugir de métodos tradicionais, dificultando a adesão de produtos mais eficazes e com qualidade comprovada principalmente nos países mais desenvolvidos.

Atualmente no Brasil o crescimento da população, junto com incentivos governamentais gerou uma grande procura por imóveis, aquecendo o mercado da construção civil. Cidades se expandiram, terrenos vazios se tornaram raros em áreas centrais e inclusive casas foram demolidas para dar espaço a prédios. A facilidade para vender imóveis populares teve como principal adversário o custo da mão de obra, que mais escassa do que nunca, aumentava o valor dos imóveis. Com salários generosos, aos poucos a necessidade da mão de obra foi suprida, porém para isso, a qualidade foi prejudicada.

Em busca de uma forma para reduzir o custo das edificações, novas tecnologias foram procuradas pelo mercado, a mão de obra começou a dar espaço para às máquinas, além dos materiais utilizados em países mais desenvolvidos que começaram a aparecer em nossas obras.

O bloco de concreto celular, apesar de existir e ser usado a muito tempo, é

um exemplo de inovação nos modos construtivos no Brasil. Este material também pode ser considerado sustentável, quando empregar materiais reutilizados como o EPS. Sua principal característica é o peso reduzido, além de ter bom isolamento térmico e acústico. Já o bloco cerâmico de vedação com furos na vertical, não é tão recente no Brasil, porém é utilizado em pouca escala quando comparado aos seus concorrentes, apresentando modulação e possibilidade de embutimento de instalações.

Neste trabalho serão comparados os métodos construtivos entre blocos de concreto celular autoclavado e blocos cerâmicos racionalizados.

1.1 Área e limitação do tema

O presente trabalho será realizado na área de materiais de construção, comparando a eficiência como elemento de vedação e processo de execução, entre blocos de concreto celular autoclavado e blocos cerâmicos de vedação com furos na vertical.

1.2 Objetivos

Os objetivos são divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal levantar informações sobre as vantagens e desvantagens do método de vedação com blocos de concreto celular, comparado com o método de vedação com blocos cerâmicos racionalizados, utilizando como base, dados de ensaios, pesquisas no mercado e visitas a obras.

1.2.2 Objetivos Específicos

Levantar informações sobre os sistemas estudados, como:

- Rendimento de execução (m^2 por hora);
- Custo do bloco por m^2 ;
- Técnicas construtivas aplicadas em obras;

- Eficiência como bloco racional;
- Desempenho perante a ABNT NBR 15575-4:2013, seguido de análise crítica;
- Presença de possíveis deficiências do sistema construtivo.

1.3 Justificativa

Atualização e modernização são fundamentais para qualquer indústria. Quando uma obra é vista como uma fábrica, fica evidente a necessidade destes elementos, visto que grande parte do serviço é manual e por vezes, a falta de organização e o desperdício geram um acréscimo de custo considerável, apresentando produtos finais caros e com qualidade inferior.

A proximidade das técnicas construtivas atuais com os moldes mais arcaicos de construção demonstram a necessidade de olhar para frente e encontrar novas ideias que andem junto com a modernização. Ao inserir a tecnologia no ramo da construção, a evolução futura se torna mais fácil, à medida que a tecnologia avança, a indústria da construção pode ser inserida neste avanço.

Conforme materiais de construção inovadores forem inseridos no mercado, acompanhado destes, serão adotadas novas técnicas construtivas. Em tempos que a mão de obra qualificada é rara, sistemas construtivos racionais, visam a reduzir as perdas e facilitar a vida de quem executa a obra, apresentando um produto final com boa qualidade e custo inferior.

A primeira negativa à vir em mente é em relação à adequação da mão de obra a um sistema diferenciado. O treinamento da mão de obra é imprescindível para a obtenção de uma boa execução, seja utilizando um método tradicional ou não. Sendo assim, a adequação da mão de obra com métodos novos passa por treinamentos e uma referencia técnica com conhecimento do sistema construtivo dentro do canteiro de obras.

A desconfiança, a falta de conhecimento, além de dúvidas quanto à qualidade e desempenho de sistemas novos, são as principais barreiras a serem ultrapassadas. Materiais que busquem racionalidade e produtividade podem proporcionar a satisfação dos construtores assim como os usuários da edificação, porém a opressão ao novo atrasa a adesão de alguns produtos ao mercado.

Entre alguns métodos construtivos diferenciados, está o sistema de alvenaria de vedação com BCCA. Este sistema apresenta vantagens como seu baixo peso

específico, reduzindo o peso próprio da edificação, e aliado a sua grande dimensão aumenta o rendimento da mão de obra. A facilidade de corte deste bloco reduz os esforços para execução das alvenarias e das instalações complementares do prédio. Ainda conta com um bom desempenho térmico e acústico.

Quanto ao sistema de alvenaria de vedação com blocos cerâmicos com furos na vertical, também conhecido como bloco racional, a presença da modulação dos blocos acarreta em um grande potencial de racionalização, e facilidade de se adaptar a realidade dos canteiros de obra, uma vez que o bloco utilizado se assemelha aos blocos de alvenaria estrutural.

Ambos os materiais possuem características racionais e desempenho superiores ao tradicional bloco cerâmico com furos na horizontal amplamente utilizado no estado do RS, além de apresentarem uma gama de ferramentas auxiliares a sua utilização. Estas características podem trazer economia e qualidade, trazendo vantagens para o acirrado mercado imobiliário encontrado no Brasil.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Alvenaria

Segundo Azeredo (1997), alvenaria é o resultado da união de blocos sólidos, por argamassa ou outros elementos fixadores, tendo como principal função suportar cargas de compressão, além de ter como característica secundária o isolamento térmico e acústico. Os blocos sólidos podem ser compostos de inúmeros materiais, podendo ser de elementos naturais, como rochas, ou de elementos fabricados especialmente para este fim, como por exemplo, blocos de concreto celular autoclavado, blocos cerâmicos, blocos de concreto, gesso, vidro e outros.

Entre os vários tipos de alvenaria, iremos dividi-la em dois grupos, a alvenaria de estrutural, e a alvenaria de vedação.

2.1.1 Alvenaria estrutural

Conforme Camacho (2006) é considerada Alvenaria Estrutural, o sistema construtivo onde a função estrutural é desempenhada pela alvenaria, sendo assim projetados e executados de forma racional. Segundo Guilherme (2000) as paredes são dimensionadas para suportar além de seu próprio peso, as cargas das lajes, cargas de ocupação, ação do vento entre outros. Este sistema é capaz de substituir o sistema de concreto armado, dispensando pilares e vigas.

Na Figura 1 é apresentado um exemplo de prédio executado em alvenaria estrutural.

Figura 1- Prédio executado em alvenaria estrutural



Fonte: Autor, 2015

2.1.2 Alvenaria de vedação

Conforme Lordsleem (2001), as alvenarias de vedação tem função de delimitar espaços e criar divisórias, controlando a ação de agentes indesejáveis, entre os quais: intrusos, vento, chuva, poeira e ruído. Além das funções citadas, também servem para suporte e proteção para as instalações de edifícios, quando embutidas. Geralmente empregadas em obras que utilizam outro método estrutural, de aço, ou principalmente concreto armado, as alvenarias têm apenas com a função de vedação não são dimensionadas para resistir à cargas além de seu peso próprio. São tradicionalmente utilizadas nos edifícios construídos em cidades brasileiras. Segundo Ramalho (2003), as paredes de vedação devem atender aos seguintes critérios para o tipo de parede a ser projetada:

- a) economia na execução e manutenção;
- b) resistência ao fogo;
- c) estética;
- d) materiais e processos disponíveis;
- e) isolamento acústico;
- f) capacidade de embutir tubulações;

- g) peso;
- h) vida útil;

Figura 2 - Alvenaria de Vedação



Fonte: Indústria Brasileira.com

2.1.3 Alvenaria de vedação racionalizada

Em conformidade com Barros (1998), o conceito de racionalização não é recente e há muito tempo fala-se em racionalizar uma determinada coisa ou atividade. É um termo que tem um significado bem definido, tanto coloquialmente, como no meio técnico, ou seja, o termo racionalização pode ser entendido como o ato ou o efeito de racionalizar alguma coisa, tornar racional, tornar mais eficientes os processos de trabalho ou a organização de empreendimentos.

Sala (2008) apresenta informações que em torno de 20 anos atrás, a indústria da construção civil passou por uma fase com pouca demanda e muita competitividade. Para sobreviver a esta fase, a necessidade de investimentos e desenvolvimentos tecnológicos para vencer a concorrência foi uma medida tomada por muitas empresas. Criando programas para desenvolver métodos e procedimentos adequados à realidade das obras, e que permitissem racionalizar a atividade, a melhora do desempenho da produção em relação ao método construtivo tradicional foi uma das principais armas para superar a crise. Assim se deu início ao processo de desenvolvimento da alvenaria racionalizada, frente à alvenaria tradicional praticada até então.

A partir deste evento econômico, surgiu um novo estudo, batizado de alvenaria racionalizada. Conforme Barros (1998) este estudo tinha como principais objetivos:

- a) eliminar a postura predominante de adoção de soluções construtivas criadas no canteiro de obras no momento da realização dos serviços de alvenaria;
- b) criar um projeto de produção de alvenaria que exige planejamento prévio de todas as atividades e permite soluções mais racionais da produção;
- c) introduzir o uso de equipamentos e ferramentas novas que permitam aumento de produtividade e qualidade;
- d) treinar e motivar a mão de obra para adoção de novas posturas de trabalho;
- e) implementar procedimentos de controle do processo de produção e aceitação do produto.

De acordo com Rodrigues (2013), o processo de racionalização traz como principais benefícios a redução de perdas, maior resistência da parede, maior velocidade de execução, redução do volume de entulho, melhor integração com as demais etapas da obra, redução das espessuras dos revestimentos e redução de patologias.

Analisando de um modo de vista mais específico, segundo Rodrigues (2013), o processo de construção com alvenaria racionalizada pode ser caracterizado com a utilização de blocos modulares, materiais complementares, técnicas construtivas otimizadas, equipamentos racionalizados, projetos de produção (compatibilização e modulação), embutimento de tubulações na execução de paredes, execução em etapas (marcação, elevação e fixação), serviço técnico especializado, procedimentos padronizados, prazos técnicos entre etapas, controle de qualidade e planejamento do canteiro.

Silva (2007) exalta que a utilização de alguns equipamentos é imprescindível para a execução de uma alvenaria com boa qualidade de serviço. Entre eles podemos citar o escantilhão, que garante o prumo das alvenarias e orienta o nivelamento das fiadas, o carrinho porta pallets, que transportam os pallets de bloco, agilizando a descarga e ajudando na logística de transporte dos materiais dentro da obra, além de mesas andaime, pistola finca pinos, e demais itens básicos como esquadro, trena e régua de aço.

Lordsleem (2001) ressalta a importância da presença de ações para racionalizar a produção da alvenaria. Partindo da padronização das atividades de execução, o projeto voltado à produção a definição de responsabilidades, o controle de produção além do treinamento e a motivação da mão de obra. É possível observar a diferença causada pelo processo de racionalização observando a figura 3 que apresenta uma alvenaria tradicional e a figura 4 que apresenta uma alvenaria racionalizada.

Figura 3 - Exemplo de alvenaria tradicional



Fonte: Autor

Figura 4 - Exemplo de alvenaria racionalizada



Fonte: Pauluzzi, 2015

Neste trabalho serão analisados os blocos como material racionalizado, além das ferramentas disponíveis para cada caso.

2.2 Norma de desempenho – ABNT NBR 15575 - parte 4 (2013)

Entrando em vigor em 2013, a ABNT NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho, gerou muitas mudanças no ramo da construção civil. Conforme Martins (2013), após muitos anos de baixo investimento em infraestrutura e habitação, o país reencontrou sua rota de progresso na construção civil. Com a evolução da tecnologia e a busca por redução de custos, assim como em todos os outros setores, a construção civil teve que se adequar a nova realidade. A norma de desempenho chegou para estabelecer parâmetros e objetivos que podem ser medidos, buscando dessa forma o disciplinamento de todos os elos da construção civil, reduzindo as incertezas quanto ao desempenho dos materiais disponíveis no mercado e o desempenho do produto final.

Conforme Martins (2013), todos os critérios da norma estabelecem um parâmetro mínimo (M) de desempenho que deve ser obrigatoriamente atendido. Para alguns critérios existem os níveis intermediário (I) e superior (S), que não apresentam caráter obrigatório.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é dividida em seis partes, organizada por elementos da construção percorrendo uma sequência de exigências relativas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Neste trabalho será abordado apenas a parte quatro da norma, Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE.

Entre os requisitos presentes na NBR 15575-4 (ABNT, 2013) serão citados neste trabalho:

- a) solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos SVVIE;
- b) impacto de corpo-mole nos SVVIE;
- c) impacto de corpo-duro incidente nos SVVIE;
- d) segurança contra incêndio;
- e) estanqueidade;
- f) desempenho térmico;
- g) desempenho acústico.

2.2.1 Capacidade de suporte de peças suspensas

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), os SVVIE quando postos sob ação de cargas de peças suspensas não podem apresentar fissuras, deslocamentos horizontais, lascamento ou ruptura, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento. O ensaio é realizado utilizando uma mão francesa com dimensões padronizadas, que simulam armários, prateleiras, lavatórios, entre outros. A carga aplicada no ensaio determina o desempenho em que o bloco se enquadra.

2.2.2 Impacto de corpo mole

Conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), este ensaio verifica a resistência do SVVIE, simulando a energia de impacto dos choques acidentais ou provocados por atos de vandalismo, tentativas de intrusão, entre outros. Os ensaios são realizados aplicando o impacto de um saco cilíndrico de couro com 35cm de diâmetro e 70cm de altura e com massa de $400 \pm 4\text{N}$, que com um movimento pendular atinge a alvenaria. Sob ação progressiva dos impactos de corpo mole a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige que os SVVIE não devam:

- a) sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança), que caracterize o estado limite ultimo, para as correspondentes energias de impacto;
- b) apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização) que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais;
- c) provocar danos a componentes, instalações ou aos cabos acoplados ao SVVIE, de acordo com as energias de impacto indicadas.

2.2.3 Impacto de corpo duro

Segundo a NBR 15575-4:2013, o ensaio de impacto de corpo duro, assim como o ensaio de impacto de corpo mole, simula choques acidentais, ou por ato de vandalismo, entre outros. Neste caso os impactos são gerados pelo choque de uma

esfera de aço com 5cm de diâmetro e massa de 5N para impactos de utilização, para impactos de segurança é utilizada uma esfera de aço com 6,25cm de diâmetro e massa de 10N. Sob a ação dos impactos o SVVIE não deve:

- a) ser transpassado, sofrer ruptura ou instabilidade sob ação de impactos de segurança com energias indicadas pela norma;
- b) apresentar fissuras, escamações, delaminações ou outras falhas que comprometam o estado de utilização, sob ação dos impactos de utilização indicados pela norma.

2.2.4 Segurança contra incêndio

Em relação a segurança contra o incêndio, a NBR 15575-4:2013 exige que a edificação dificulte a inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, e a propagação de fumaça excessiva que dificulte a saída dos ocupantes nestas situações.

Em relação ao SVVIE a face interna da alvenaria é considerada, assim sendo, em relação aos sistemas de vedação externos apenas a face interna da alvenaria é avaliada, no caso de sistemas de vedação internos, ambas as faces são avaliadas. A NBR 15575-4:2013 classifica as alvenarias conforme o seu ambiente dentro da edificação para critério de rigorosidade.

Conforme MARTINS (2013) a NBR 15575-4:2013 para a classificação das da resistência ao fogo de paredes, são considerados os critérios:

- a) estanqueidade: avalia se as chamas ou gases são liberados por fissuras ou aberturas na alvenaria;
- b) isolamento térmico: avalia se o calor transmitido por radiação e condução através da alvenaria colocam em risco pessoas ou objetos encontrados na face exposta ao fogo, considera-se que o isolamento térmico deixa de ser atendido quando a temperatura da face não exposta ao fogo atinge $140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ na média, ou $180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ em qualquer ponto de medida;
- c) estabilidade: avalia se a alvenaria não perde seu caráter funcional, ou seja, se não apresenta ruína durante o ensaio.

A NBR 15575-4(2013) classifica a alvenaria em:

- a) estável ao fogo: quando atender ao critério de estabilidade;

- b) para-chamas: quando atender ao critério de estabilidade e isolamento térmico;
- c) corta-fogo: quando atender aos três critérios citados.

A altura da edificação determina o tempo que a alvenaria será exposta ao fogo para atender os critérios de aceitação, variando de 30 (trinta) minutos para sobrados, até 180 (cento e oitenta) minutos para edificações acima de 120m de altura.

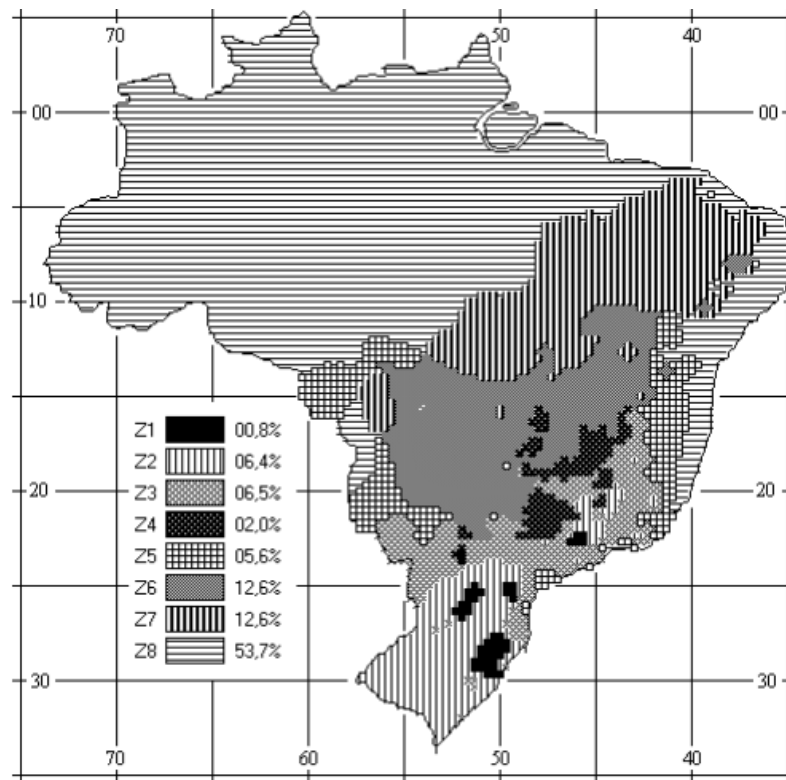
2.2.5 Estanqueidade

De acordo com Covelo Silva (2015) o ensaio de estanqueidade permite verificar se a alvenaria é estanque à água oriunda de chuvas e outras fontes. Para atendimento a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) a alvenaria testada não pode apresentar infiltrações que gerem borrifamentos, formação de gotas ou escorrimentos de água, sendo permitida apenas pequenas manchas de umidade. O método de ensaio simula a incidência de chuva e vento por sete horas, onde a pressão estática é indicada conforme a região de vento brasileira em que a obra se localiza e a vazão de água é 3 L/m² min.

2.2.6 Desempenho Térmico

Em relação às alvenarias, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013) define os limites de transmitância e capacidade térmica baseando-se na zona bioclimática em que a obra se encontra. Na figura 5 é possível observar as zonas bioclimáticas brasileiras, a tabela 1 apresenta os valores de transmitância térmica de acordo com as zonas em que se enquadram. A tabela 2 apresenta a capacidade térmica exigida conforme a zona em que a edificação esta presente.

Figura 5 – Zonas bioclimáticas brasileiras



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2003)

Tabela 1 – Transmitância térmica mínima dos SVVIE

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U W/m².K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3,4,5,6,7 e 8	
$U \leq 2,5$	$a \leq 0,6$	$a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
a : é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela 2 – Capacidade térmica mínima dos SVVIE

CAPACIDADE TÉRMICA (CT) kJ/m².K	
Zona 8	Zonas 1,2,3,4,5,6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

2.2.7 Desempenho Acústico

Conforme Covelo Silva (2013), desempenho acústico permite verificar a eficiência da edificação em relação aos sons produzidos externamente ou internamente à edificação. Um sistema de isolamento envolve vários fatores, como a alvenaria, esquadrias, pisos, e sistemas hidráulicos, sendo que o desempenho mínimo do conjunto é definido pela NBR 15575-4 (2013).

Para a realização de ensaios em laboratório, o desempenho acústico mínimo em relação às alvenarias está apresentado no ANEXO B. Ensaios elaborados in loco têm uma redução de exigência em 5 dB.

2.3 Bloco de concreto celular autoclavado

A NBR 13438 (ABNT, 2013) define concreto celular autoclavado, como concreto leve, obtido através de um processo industrial, constituído por materiais calcários 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 a pressão e temperatura através de vapor saturado. O concreto celular autoclavado contém células fechadas, aeradas e uniformemente distribuídas.

Segundo a NBR 13438 (ABNT, 2013), os blocos de concreto celular autoclavado são componentes de edificações, maciços, com função estrutural ou não, utilizados principalmente para a construção de paredes internas, externas e preenchimento de lajes.

2.3.1 História

Este material foi descoberto originalmente na Suécia em 1914, por Johan Axel Eriksson, ao adicionar alumínio em pó a tradicional mistura de cimento, cal e água, verificou-se que este material se expandia ao acrescentar alumínio em pó. Apresentando comportamento parecido com madeira, o elemento cimentício podia ser cortado, serrado, lixado e furado, porém não era alvo de matérias orgânicas e apresentava boa resistência ao fogo. Este material foi aprimorado e em 1920 começou a ser produzido comercialmente na Europa. No ano de 1995 mais de 31

milhões de metros cúbicos de concreto celular já tinham sido produzidos por cerca de 50 fábricas em todo o mundo. Estes blocos surgiram no Brasil por volta de 1957, conhecido pelo nome de PUMEX. (GUGLIELMI 2007).

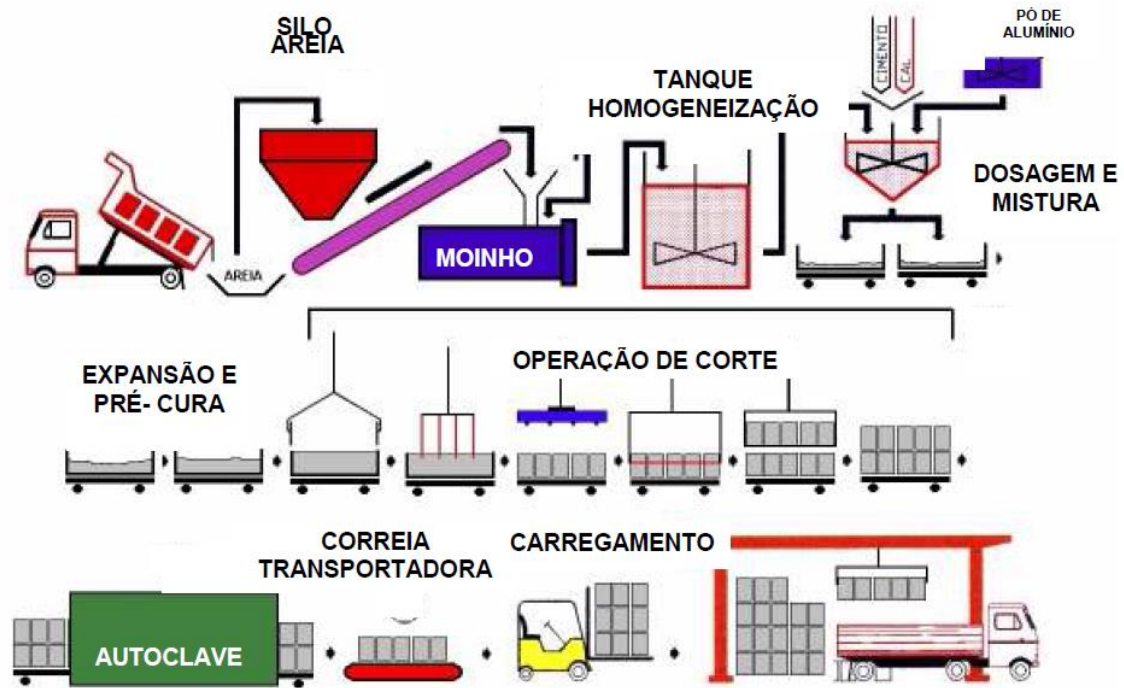
2.3.2 Fabricação

Segundo Désir (2012) a produção pode ser totalmente automatizada seguindo as seguintes etapas:

- a) Preparação da pasta com a mistura de areia quartzosa (44%), cimento (3%), cal (12%), água (41%) e aditivos (menos de 1%).
- b) Descanso durante um período de duas horas da mistura em grandes tanques a uma temperatura de 20°C para criar uma estrutura com microporosidades.
- c) Moldagem e corte da pasta sólida e estável em pedaços com grande precisão.
- d) Os blocos vão para reservatório onde permanecem á alta pressão (12 atmosferas) e temperatura (200°C) por um período de doze horas. Este processo confere aos blocos suas características finais de resistência e de estabilidade dimensional. Após esta etapa os blocos se tornam uma pedra artificial muito leve e fácil de trabalhar.
- e) Controle de qualidade na saída do autoclave para garantir conformidade.
- f) Embalagem, estocagem e paletização.

Estas etapas podem ser observadas na figura 6.

Figura 6 - Esquema do processo de fabricação de BCCA



Fonte: Precon, 2015.

2.3.3 Características

Segundo Guglielmi (2007), a alta porosidade do material (cerca de 80%), o torna muito leve, com densidades variando entre 300 e 1800 kg/m³, em relação ao concreto tradicional com 2300kg/m³ a diferença se demonstra muito significativa.

Conforme Désir (2012), para um concreto celular de 450kg/m³, as células sólidas e vazias representam as porcentagens de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 - Composição do BCCA

Tipo de Células	%
Células Sólidas	20
Macro-células	50
Microcelulas Capilares	30

Fonte: DÉsir, Jean Marie. (UFRGS, 2012)

Désir (2012) afirma que a produção do concreto celular apresenta um aspecto ecológico muito importante, uma vez que a massa sólida ocupa 20% enquanto o ar

ocupa os 80% restantes. Desta forma 1 m³ de matéria prima pode produzir 5m³ de concreto celular.

Segundo Ferraz (2011) por ser constituído de uma estrutura com grande volume de ar, com a estrutura de poros bem fechada, o BCCA absorve melhor as ondas sonoras e dificulta a transmissão para outro ambiente, gerando um bom desempenho acústico.

Mota (2001) indica que a condutividade térmica é a propriedade que representa o fluxo de calor através do material. Os materiais de construção em sua grande maioria possuem no seu interior matéria no estado sólido, líquido e gasoso. Este fato faz com que os materiais sofram transferência de calor por três processos distintos: a condução através do sólido, do líquido do gasoso, a convecção através dos movimentos dos gases e a radiação entre as superfícies sólidas. Os blocos de concreto celular possuem baixa condutividade térmica justamente ao fato de ter baixa massa específica, a transferência de calor por meio gasoso é inferior em relação aos meios líquidos e sólidos.

Conforme a Guglielmi (2007), o BCCA é incombustível por não apresentar matéria orgânica. A família de BCCA mais encontrada no mercado tem dimensão padrão 30x60 cm, podendo ser encontrada também a família com dimensão 30x25 cm. A tabela 4 apresenta as dimensões mais comuns encontradas no mercado.

Tabela 4 - Família de BCCA

Tamanho do Bloco (cm)	Espessura (cm)
60x30	7,5
	10,0
	12,5
	15,0
	17,5
	20,0
30x25	7,5
	10,0
	12,5
	15,0
	17,5
	20,0

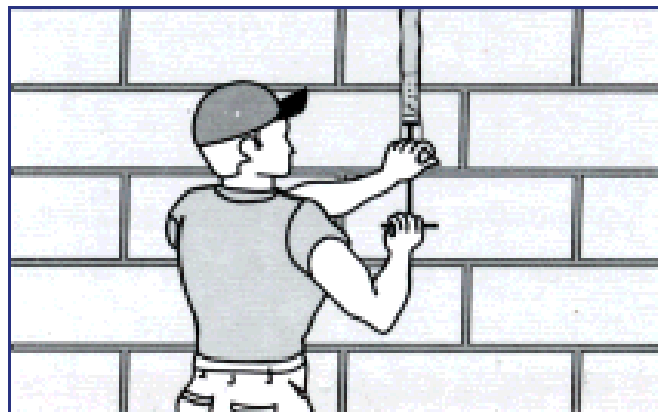
Fonte: PRECON (2015).

2.3.4 Racionalização

No que se diz respeito à racionalização dos BCCA Costa e Franco (1996) afirmam que o bloco de concreto celular tem grande potencial de racionalização representado pela leveza, grande dimensão, boa textura, uniformidade dimensional e facilidade de corte, permitindo a otimização da execução da alvenaria, reduzindo custos e aumentando a qualidade. A grande dimensão e baixo peso dos blocos são responsáveis pelo aumento da produtividade de execução, além de reduzir o consumo de argamassa de assentamento e revestimento.

Como contraponto, o BCCA não tem a característica de embutimento de instalações de maneira racional. É necessário cortar a parede com um rasgador manual como se pode observar na figura 7. Este corte também pode ser realizado com outras ferramentas mais tradicionais da construção civil.

Figura 7 - Embutimento de instalações

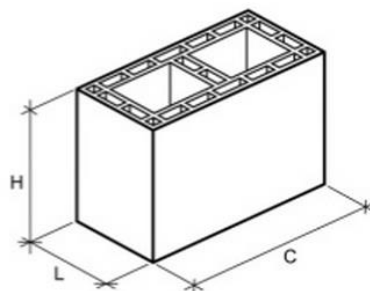


Fonte: www.racer.com.br

2.4 Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical

Segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) os blocos cerâmicos de vedação possuem furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, podendo ter furos na horizontal ou na vertical. Este bloco é apresentado na figura 8.

Figura 8 - Bloco cerâmico com furos na vertical



Fonte: NBR 15270-1 (ABNT, 2005).

O bloco a ser utilizado é o principal fator na escolha entre a alvenaria de vedação tradicional ou a alvenaria racionalizada. Os blocos utilizados no sistema de alvenaria racionalizada contêm em sua linha de blocos complementares, canaletas J e U, meio bloco, compensadores, blocos com caixa de luz entre outros.

Para o presente trabalho serão utilizados como modelo comparativo os blocos com furos na vertical, também conhecidos como blocos modulares, principais componentes da alvenaria de vedação racionalizada.

2.4.1 História

De acordo com Duarte (1999), os blocos cerâmicos são utilizados pelo homem desde 4000 a.C., sendo usados como substitutos das pedras por apresentarem boa durabilidade, além da abundância da matéria prima (argila) utilizada. Não se sabe exatamente a época e o local de origem do primeiro tijolo. Acredita-se que possam ter sido os romanos os primeiros a utilizar o produto na forma atual, por ser uma civilização que dominava o processo de queima da argila. Presume-se que a alvenaria tenha sido criada a cerca de 15.000 anos, empilhando pedras, pois o homem necessitava de proteção contra o frio, chuva, e animais selvagens. No entanto, quando a pedra natural começou a se escassear, o homem passou a substituí-la pelo tijolo seco ao sol.

Segundo Câmara (2012), o registro mais antigo do tijolo foi encontrado nas escavações arqueológicas em Jericó Oriente Médio, no período Neolítico inicial. A unidade de alvenaria (tijolo) era uma peça grande em forma de pão, seca ao sol, pesando em torno de 15 kg. Nestas unidades de barro, conformados à mão, se encontram marcados os dedos do homem neolítico que as elaborou.

Uma forma - a cônica - é de interesse, pois se repete e está presente em lugares distantes sem ligação direta e em situações semelhantes. As unidades cônicas se encontram em muros construídos, por exemplo, na Mesopotâmia, há cerca de 7.000 anos, e na zona da costa norte do Peru, no Vale do Rio Chicama.

2.4.2 Fabricação

Segundo Ferraz (2011), 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, tabelas, dentre outros.

Conforme Galassi e Tavares (2010) a argila, o principal componente para fabricação dos blocos cerâmicos, é coletada em uma jazida, apresentando características variadas de acordo com a profundidade em que se encontra. Após a retirada é armazenada a céu aberto. A fase seguinte é a preparação e mistura, onde são formados pequenos montes de argila que são misturados e homogeneizados por equipamentos mecânicos, para posteriormente serem transportados para a caixa alimentadora. Para facilitar o processo de homogeneização a mistura é umedecida com água, após esta fase, a mistura segue para o laminador, em forma de pasta consistente.

Galassi e Tavares (2010) afirmam que após a preparação e mistura a etapa seguinte é a extrusão, realizada pela maromba, responsável pelo formato desejado do bloco. A extrusão ocorre durante a passagem da massa, sob alta pressão pela boquilha (peça em aço com formato do bloco) que está instalada no final da extrusora para modelagem da massa. A massa extrusada, é encaminhada para o processo de corte.

Segundo Galassi e Tavares (2010), o corte dos blocos cerâmicos é realizado por meio de um sistema mecanizado acoplado na saída da extrusora como pode ser observado na Figura 9, este opera em sincronia com o deslocamento das peças, a

maquina é composta por fios de aço tensionado que efetuam o corte da barra cerâmica. Em seguida, os blocos produzidos são transportados para o galpão de secagem.

Figura 9 - Máquina de corte de blocos cerâmicos



Fonte: Pauluzzi, 2015

De acordo com Galassi E Tavares (2010), após a extrusão e o corte, começa a etapa de secagem. Esta etapa consiste na eliminação da água utilizada na fabricação dos produtos cerâmicos. A secagem dos blocos é realizada de forma lenta e em local fechado para evitar o surgimento de fissuras superficiais. As peças fabricadas são mantidas em temperatura ambiente, porém algumas empresas utilizam o calor dos fornos, reutilizando-o na secagem para melhores resultados. Durante a secagem os blocos reduzem 5% do volume original. Após secos, os blocos vão para o forno, e estão prontos para a queima. Na figura 10 é possível observar os blocos em processo de secagem.

Figura 10 - Secagem de blocos



Fonte: Pauluzzi, 2015

No processo de queima, Galassi E Tavares (2010) afirmam que as temperaturas podem permanecer entre 750°C e 1.000°C , por aproximadamente quatro dias. A temperatura de queima varia conforme cada empresa, sendo na etapa em que o bloco recebe resistência mecânica. A figura 11 apresenta os vagões onde é realizado o processo de queima dos blocos cerâmicos.

Figura 11 - Vagões de queima de blocos cerâmicos



Fonte: Pauluzzi, 2015

2.4.3 Características

As características dos blocos cerâmicos são definidas por suas normas vigentes, neste trabalho serão utilizadas as seguintes normas para blocos cerâmicos:

- ABNT NBR 15270-1:2005 - Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos;
- ABNT NBR 15270-2:2005 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos;
- ABNT NBR 15270-3:2005 - Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio.

Conforme a NBR 15270-1(ABNT, 2015), os blocos cerâmicos de vedação com furos na vertical, devem atender as seguintes características técnicas:

- a) Resistência à compressão: os blocos devem suportar no mínimo 3 MPa, referida à área bruta.
- b) Características Visuais: a norma especifica que o bloco não apresente defeitos sistemáticos, tais como quebras, superfícies irregulares ou deformações que impeçam sua utilização na função especificada. As características visuais do bloco cerâmico face-à-vista devem atender aos critérios de avaliação especificados.

Segundo Oliveira (2012) existe outros aspectos a serem analisados quanto às alvenarias de blocos cerâmicos:

- a) Arestas vivas e cantos resistentes;
- b) Som “claro” quando percutido;
- c) Ausência de fendas e cavidades;
- d) Facilidade no corte;
- e) Homogeneidade da massa e cor uniforme;

2.4.4 Racionalização

Conforme Silva (2007) para a execução da alvenaria com os blocos de vedação racional são necessários alguns equipamentos que facilitem e norteiem a mão de obra para garantir uma maior produtividade. Entre eles podemos citar o escantilhão, bisnaga de tecido ou palheta, nível alemão, andaime regulável, trena,

régua nível, gabaritos de aberturas, prumo entre outros.

Os blocos racionais apresentam grandes dimensões e modulação que permite a conferência da sobreposição dos vazios entre fiadas, tendo um rendimento superior aos blocos com furos na horizontal, além disto, a possibilidade de embutimento das instalações elétricas e hidrossanitárias reduzem o tempo de execução e as quebras em obra. Os vazados também podem ser preenchidos com diversos materiais em busca de alcançar um melhor desempenho em específico.

Exaltado por Lordsleem (2001) é muito considerável a presença de um projeto voltado à produção da alvenaria assim como a padronização das atividades de execução. O sistema de vedação vertical com blocos cerâmicos possibilita realizar isto de modo eficiente, podendo abranger diversas etapas da execução por meio da integração de projetos.

3 METODOLOGIA

O trabalho é dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste em realizar visitas em obras que adotem os sistemas construtivos em estudo, visando obter um levantamento de dados sobre os sistemas.

A segunda etapa consiste na apresentação de ensaios para qualificar o desempenho dos blocos em relação a NBR 15575 (ABNT, 2015).

3.1 Levantamento de informações sobre os sistemas construtivos

O levantamento foi realizado com a aplicação de um questionário, contendo perguntas sobre todas as etapas que envolvem o sistema de vedação da obra em construção.

O questionário foi respondido pelo engenheiro responsável pela execução ou funcionário com capacidade técnica e conhecimento sobre as etapas envolvidas. As obras envolvidas podem ser tanto comerciais, quanto residenciais, tendo como limitação, obras no estado do Rio Grande do Sul. Junto com o questionário serão feitas fotografias sobre as ocorrências encontradas no local.

Este questionário serve como base para estudar os sistemas construtivos almejando obter o máximo de informações possíveis, assim como peculiaridades dos sistemas que contenham peso para o prosseguimento do trabalho. Esta etapa é fundamental para direcionar os estudos posteriores em relação a ensaios e busca de recomendações. As informações levantadas foram utilizadas para realizar um comparativo entre os dois sistemas de alvenaria de vedação, analisando os principais passos da execução da alvenaria.

O questionário é dividido em tópicos abrangendo as seguintes etapas:

a) Fundação:

- tipo e profundidade;
- dimensão das vigas de fundação.

b) Alvenaria:

- tipo de bloco
- espessura das paredes internas e externas;
- equipamentos utilizados para o assentamento de blocos;

- peso dos blocos;
- tamanho dos blocos;
- produtividade média de assentamento por pedreiro (m^2/dia);
- quantidade de argamassa de assentamento por m^2 ;
- espessura da argamassa de assentamento e revestimento;
- preenchimento das juntas verticais e horizontais;
- equipamentos para os transportes horizontal e vertical;
- ensaios realizados;
- projeto de fiada;
- formas de controle de qualidade na execução da alvenaria.

c) Argamassa:

- tipo de argamassa;
- traço da argamassa de assentamento e revestimento;
- presença de placas sinalizando o traço;
- modo de transporte.

d) Aberturas:

- forma de fixação das esquadrias;
- modelo de verga e contra verga;
- ferragem utilizada nas vergas e contra vergas;
- transpasse das vergas e contra vergas.

e) Instalações elétricas e hidrossanitárias:

- embutimento das instalações;
- utilização de tubulações horizontais;
- projetos de elevação das paredes (vistas);
- utilização de blocos especiais;
- ferramentas especiais para instalações;
- utilização de shaft;
- utilização de forro falso.

f) Revestimentos:

- utilização de cerâmicas/porcelanatos;
- argamassa colante utilizada;
- cuidados especiais para assentamento.

O questionário utilizado encontra-se no ANEXO A.

3.2 Ensaios complementares

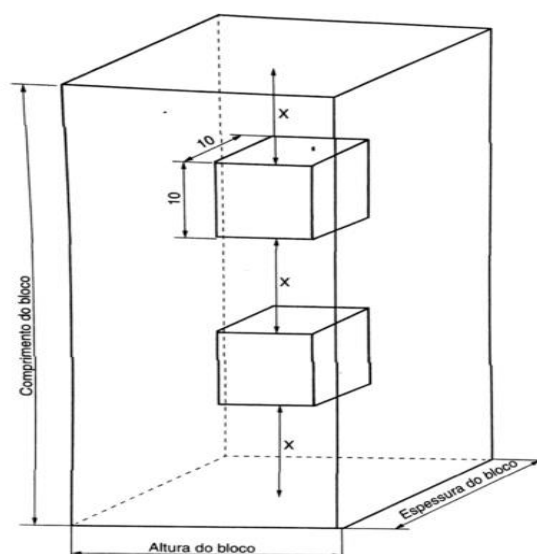
Os ensaios são realizados no laboratório da Universidade de Santa Cruz do Sul e em obras situadas dentro do campus, com o objetivo de adquirir as informações técnicas dos blocos e verificar sua situação perante as normas. Os corpos de prova são submetidos a ensaio de compressão, absorção de água e peças suspensas.

3.2.1.1 Extração e preparação dos corpos de prova

Conforme a ABNT NBR 13440:2013 – Blocos de concreto celular autoclavado – métodos de ensaio, os corpos de prova são obtidos através da utilização de um dispositivo de corte a seco. De cada bloco devem ser extraídos dois corpos de prova cúbicos, conforme a Figura 12, com as seguintes dimensões:

- a) blocos com espessura inferior a 100 mm: arestas dos corpos de prova iguais a 75 mm;
- b) blocos com espessura igual ou superior a 100 mm: arestas dos corpos de prova iguais a 100 mm.

Figura 12 - Localização dos corpos de prova



Fonte: NBR 13440 (ABNT, 2013)

De acordo a NBR 13440 (ABNT, 2013), nos corpos de prova extraídos, são anotados os números de referência do bloco e a posição destes no bloco. Deve ser desenhado em uma das faces de cada corpo de prova um segmento de reta que indica a direção de rompimento. Este segmento de reta deve ser paralelo à altura ou ao comprimento do bloco de CCA. Após retificar todas as superfícies e medir as dimensões dos corpos de prova, estes devem ser secos em uma estufa à temperatura de $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$, até que a diferença de duas pesagens sucessivas, efetuadas em um período de 24 h, seja menor ou igual a 1 g. Para os ensaios de densidade, os blocos vão ser pesados imediatamente após a secagem, utilizando uma balança com resolução de 1 g, e volume calculado com base nas medidas já realizadas.

3.2.1.2 Densidade de massa aparente seca (ρ_a)

Conforme a NBR 13440 (ABNT, 2013), este ensaio é determinado pela média aritmética das densidades de massas aparentes secas dos corpos de prova. A densidade de massa aparente seca de cada corpo de prova é calculada pela equação 1.

Equação 1 – Cálculo para densidade de massa aparente seca

$$\rho_a = \frac{m}{v}$$

onde:

- ρ_a é a densidade de massa aparente seca do corpo de prova, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);
- m é a massa do corpo de prova, expressa em quilogramas (kg);
- v é o volume do corpo de prova, expresso em metros cúbicos (m^3)

Fonte: NBR 13440 (ABNT, 2013)

3.2.1.3 Resistência à compressão (F_{cb})

O ensaio de resistência à compressão é baseado na NBR 13438:2013, que apresenta inicialmente a verificação da classe do bloco conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Classes , resistência à compressão e densidade de massa

Classe	Resistência à compressão (seca)		Densidade aparente seca
	Valor médio mínimo Mpa*	Menor valor isolado Mpa*	Média Kg/m ³
C 12	1,2	1,0	< 450
C 15	1,5	1,2	< 500
C 25	2,5	2,0	< 550
C 45	4,5	3,6	< 650
* Considerar: 1MPa $\cong$ 1N/mm ² $\cong$ 10 kgf/cm ² .			

Fonte: NBR 13438 (ABNT, 2013)

Conforme a NBR 13440 (ABNT, 2013), para o ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova devem ser carregados até a ruptura, sendo que a velocidade do carregamento à compressão deve ocorrer conforme sua classes de resistência. O carregamento do ensaio à compressão deve durar aproximadamente 1 min.

A resistência à compressão dos corpos de prova é calculada pela equação 2.

Equação 2 – Cálculo de resistência à compressão

$$f_{cb} = \frac{F}{S}$$

onde:

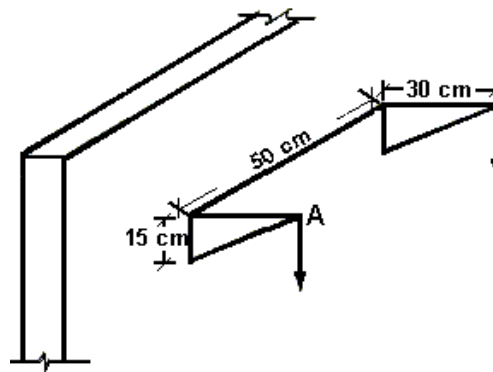
- f_{cb} é a resistência à compressão do corpo de prova, expressa em megapascals (MPa);
- F é a carga máxima suportada pelo corpo de prova, expressa em newtons (N);
- S é a área da seção transversal comprimida, determinada geometricamente, expressa em milímetros quadrados (mm²).

Fonte: NBR 13440 (ABNT, 2013)

3.2.1.4 Ensaio de peças suspensas

O ensaio de peças suspensas é baseado na NBR 11678:1990. O desempenho do sistema é indicado pela 15575-4 (ABNT, 2013). Este ensaio consiste na fixação de uma mão francesa padrão, conforme a apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Mão francesa conforme NBR 15575:2013



Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Os equipamentos necessários para a realização do ensaio são os seguintes:

- a) número suficiente de pesos de 50 N cada;
- b) régua graduada com resolução de 1,0 mm;
- c) régua metálica indeformável;
- d) paquímetro ou qualquer outro dispositivo com resolução de 1 mm para medir os deslocamentos.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) indica que os dispositivos de fixação sejam indicados pelo fabricante, no caso de não haver essa indicação deve ser utilizado o elemento mais usual.

Após a fixação da mão francesa, devem ser aplicadas cargas em patamares de 50 N sem golpes, aguardando um intervalo de três minutos entre cada patamar.

Para classificação na NBR 15575-4 (ABNT, 2013) a mão francesa deve suportar a carga de 800 N por um período de 24 horas. Caso suporte, o mesmo procedimento deve ser realizado aumentando o carregamento até 1000 N, e 1200 N posteriormente. O ensaio é considerado finalizado quando houver ruptura ou os deslocamentos horizontais ultrapassarem o mínimo. Na tabela 6 é possível observar as cargas de ensaios e critérios de desempenho para peças suspensas fixadas por mão francesa padrão.

Tabela 6 – Critérios para o ensaio de peças suspensas com mão francesa

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada na peça kN	Critério de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $D_h < h/500$ $D_{hr} < h/2500$	M
0,5	1,0	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $D_h < h/500$ $D_{hr} < h/2500$	I
0,6	1,2	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $D_h < h/500$ $D_{hr} < h/2500$	S
Onde: h é a altura do elemento parede; dh é o deslocamento horizontal; dhr é o deslocamento residual.			

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE RESULTADOS OBTIDOS

Durante as visitas técnicas realizadas foi possível conhecer o sistema construtivo, acompanhando parte da execução é possível observar os aspectos que trazem vantagem para o sistema, e os aspectos que criam uma desvantagem ao sistema. Inicialmente foram realizadas quatro visitas em obras que utilizam o sistema com bloco de concreto celular autoclavado, todas localizadas no estado do Rio Grande do Sul, sendo duas delas na cidade de Santa Maria, uma na cidade de Portão e outra na cidade de Alvorada. Conforme as empresas constatadas, é a primeira vez que é utilizado este sistema de vedação, sendo que apenas uma das empresas pretende voltar a utilizar o sistema em suas próximas edificações.

Para apresentar as informações de forma mais clara, este tópico será dividido pelas etapas da construção.

4.1 Alvenaria de vedação com blocos de concreto celular autoclavado

4.1.1 Fundação e estrutura

O bloco é fortemente recomendado por representantes por apresentar 30% a menos peso que os blocos cerâmicos, desta forma reduziria as cargas de estrutura e fundação. Não é possível realizar neste trabalho uma análise comparativa das cargas nas fundações e sobre a estrutura das obras visitadas por envolver inúmeras variáveis. Neste quesito é muito importante avaliar percentualmente a carga final da alvenaria na fundação.

4.1.2 Blocos utilizados

A execução da alvenaria de todas as empresas foi realizada utilizando blocos com de 30 cm de altura e 60 cm de comprimento, sendo este o bloco padrão fornecido no mercado, tendo variação nas espessuras. A espessura das paredes não obteve um padrão nas obras visitadas, para alvenaria externa foram encontrados espessuras entre 15 e 20 cm, já para a alvenaria interna foram encontradas espessuras entre 10 e 20 cm. Em busca de melhor desempenho acústico entre duas unidades habitacionais, uma empresa criou uma parede

sanduche com dois blocos de 7 cm de espessura apresentando 4 cm de afastamento entre eles, somando 18 cm de espessura sem revestimento.

Outro fator importante é o peso dos blocos, apesar de ser um material mais leve, os blocos por apresentarem grandes dimensões e se tornam pesados. Na tabela 7 foi considerada a densidade dos blocos em 500 Kg/m³, utilizando suas medidas é possível encontrar o peso aproximado de cada bloco.

Tabela 7 – Peso blocos de concreto celular autoclavado

Dimensões (cm)	Peso (Kg)
7,5x30x60	6,75
10x30x60	9,00
12,5x30x60	11,25
15x30x60	13,50
20x30x60	18,00
Densidade considerada : 500kg/m ³	

Fonte: Autor, 2016

Em relação ao fator peso, deve-se tomar cuidado com o alinhamento horizontal da alvenaria, utilizando materiais como a linha, nível ou que for julgado necessário. Conforme a tabela acima pode-se encontrar blocos com 18 Kg de massa. Por este motivo equipes inexperientes podem ter dificuldades para assentar os blocos, resultando em uma alvenaria horizontalmente desencontrada. Para resolver este problema algumas empresas empregaram o uso de escantilhões para auxiliar no assentamento. A figura 14 demonstra uma alvenaria com desníveis horizontais e com a amarração dos blocos incorreta.

Figura 14 – Alvenaria desalinhada horizontalmente



Fonte: Autor, 2016

4.1.3 Armazenamento

Os blocos devem ser empilhados em pé, em local seco e plano, e de fácil acesso tanto para carga quanto para descarga, facilitando o transporte interno da obra. Entre as obras visitadas, apenas duas ainda executavam a alvenaria, em ambas as obras os blocos eram depositados em locais planos, de fácil acesso, porém sem cobertura, expostos ao tempo. Em relação a esta exposição, o único fator negativo salientado foi o aumento de peso de cada bloco devido à água da chuva absorvida, que também gera um aumento de esforço no momento que for realizado um corte com serrote. Na figura 15 é possível observar o armazenamento dos blocos em local não coberto.

Figura 15 – BCCA armazenados no canteiro de obra



Fonte: Autor, 2016

4.1.4 Rendimento

Em relação ao rendimento os fornecedores indicam que o assentamento apresente em média 25 m²/dia para uma jornada de oito horas. Durante as visitas realizadas todas as empresas afirmaram que o rendimento deste sistema era bom, porem, apenas uma empresa continha o controle do rendimento, apresentando um valor compatível com o indicado pelos fabricantes, após a equipe estar adaptada a esse sistema. Esta média pode ter uma pequena variação conforme a espessura do bloco utilizado, afinal a diferença de peso de cada bloco é consideravel.

4.1.5 Transporte dos materiais

Em todas as obras visitadas os fornecedores entregavam os blocos em pallets, devidamente unidos por plásticos e fitas. Das quatro obras visitadas, três descarregavam os blocos com empilhadeiras alugadas ou de propriedade da construtora, transportando-as até o local desejado, ou até o carrinho com rodas para ser realizado o deslocamento vertical. A obra restante descarregava os blocos diretamente encima de carrinhos com rodas utilizando o próprio caminhão munck, para posteriormente deslocar o carrinho até o local desejado. Todas as empresas continham em seu canteiro de obra um elevador cremalheira, sendo este o

responsável pelo deslocamento vertical dos blocos, apenas uma empresa visitada dispunha de grua, porem esta era utilizada apenas para execução da estrutura do prédio.

Os demais materiais são transportados de maneira semelhante. No caso das empresas que optaram por utilizar argamassa de assentamento e revestimento estabilizada, a argamassa fica armazenada em uma caixa intermediária por até 72 horas, a distribuição da argamassa pela obra é feita utilizando recipientes menores, estes são colocados encima do carrinho com rodas para serem transportados até o local desejado como é possível observar na Figura 16.

Figura 16 – Transporte de argamassa



Fonte: Autor, 2016

Em todas as obras visitadas o transporte de todos os demais materiais, assim como os funcionários passa pelo elevador cremalheira.

4.1.6 Alvenaria

De acordo com as recomendações de fabricantes, o assentamento dos BCCA é semelhante a qualquer outro sistema simples de vedação. A NBR 14956 (ABNT, 2013) é a principal norma regulamentadora para a utilização deste material, sendo dividida em duas partes que são abordadas neste trabalho:

- ABNT NBR 14956-1:2013 – Blocos de concreto celular autoclavado –

Parte 1: Procedimento com argamassa colante industrializada.

- ABNT NBR 14956-2:2013 – Blocos de concreto celular autoclavado –
Parte 2: Procedimento com argamassa convencional.

4.1.6.1 Argamassa

A NBR 14956 (ABNT, 2013) recomenda que a argamassa de assentamento tenha resistência de aderência ao bloco de no mínimo 0,20 MPa, enquanto a argamassa de fixação tenha no mínimo 0,30 MPa para os mesmos quesitos. A recomendação dos fabricantes é que seja utilizada argamassa colante para o assentamento, porém a norma considera que também pode ser utilizada argamassa convencional. Quando utilizada argamassa convencional, a NBR 14956-2 (ABNT, 2013) referencia o traço 1:3:8 em volume de materiais, sendo cimento, cal hidratada e areia média respectivamente. Fabricantes indicam que o consumo de argamassa seja aproximadamente 25,5 kg/m².

Conforme as visitas realizadas, metade das obras utilizou argamassa colante industrializada, a outra metade utilizou argamassa estabilizada. Nenhuma das construtoras visitadas tinha valores de ensaios de aderência da argamassa no bloco.

4.1.6.2 Marcação da alvenaria

Conforme a NBR 14956 (ABNT, 2013) a marcação deve ser iniciada pelo assentamento dos blocos de extremidades, encontro de paredes e pilares, permitindo assim a correta amarração das paredes entre si. A espessura argamassa de assentamento da primeira fiada deve ser idêntica à espessura das próximas fiadas. É recomendado utilizar instrumentos para o alinhamento vertical como, por exemplo, o prumo, um caibro, metal ou o instrumento que julgue auxiliar com eficiência. Para o alinhamento horizontal é indispensável a utilização de linha.

A marcação é um dos momentos mais importantes para obter uma alvenaria de qualidade, nesta etapa deve ser realizada uma avaliação rigorosa dos seguintes aspectos:

- a) nível;
- b) esquadro;
- c) prumo;

- d) junta vertical preenchida;
- e) utilização de duas linhas (topo e base do bloco) para perfeito alinhamento e prumo;
- f) conferência da marcação antes de iniciar a execução da alvenaria.

4.1.6.3 Execução da alvenaria

A NBR 14956 (ABNT, 2013) recomenda que inicie a execução da alvenaria quando o pavimento estiver concretado há pelo menos 45 dias, com a laje desformada há pelo menos 15 dias e ter pelo menos 4 lajes superiores já concretadas. A programação da execução da alvenaria deve ser feita de modo que se tenham no máximo dez fiadas executadas em um dia, preferencialmente cinco fiadas a cada meio dia de trabalho.

O corte dos blocos pode ser realizado com serrote ou serra. Durante as visitas realizadas, todas as obras utilizavam apenas o serrote, que quando em bom estado permite um corte com facilidade e precisão. Durante a preparação dos blocos para serem feitos os ensaios em laboratório, foi utilizado os dois meios de corte. Ao utilizar a serra de corte, o cuidado exigido pelo equipamento acaba retardando o processo, além de gerar pó em abundância. A utilização do serrote é mais eficiente, mais rápida e mais limpa. Para realizar os cortes na obra, é necessária uma superfície com altura adequada. Na figura 17 é possível observar a realização dos cortes em laboratório, utilizando serra e serrote respectivamente.

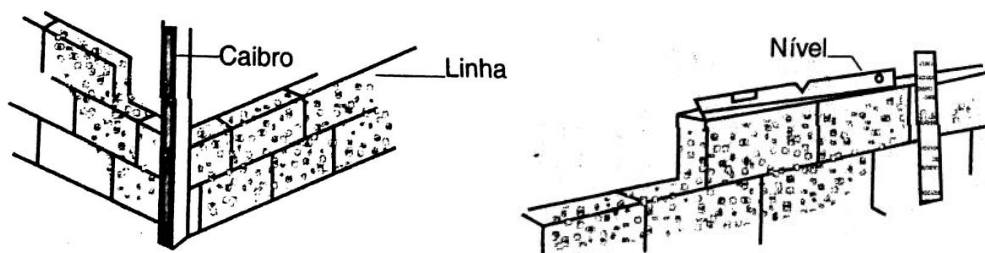
Figura 17 – Corte dos blocos com serra e serrote



Fonte: Autor, 2016

Assim como a marcação, a execução das alvenarias deve ser começada pelos encontros entre paredes ou pilares, sempre deixando a junta vertical entre bloco e pilar fortemente comprimida. A figura 18 apresenta algumas ferramentas que oferecem auxílio para nivelar a alvenaria, sendo essencial sua utilização para obter um bom resultado final. O ideal é que cada novo bloco assentado tenha seu posicionamento ajustado utilizando cuidadosamente um martelo de borracha para depois ser verificado o nível.

Figura 18 – Auxílio de ferramentas para nivelar a alvenaria



Fonte: NBR 14956-1 (ABNT, 2013)

A amarração do bloco deve ser realizada de modo tradicional, ligando o centro do bloco às extremidades dos blocos da fiada de baixo, caracterizando assim a ligação 1/2. A amarração pode ser aceita com no mínimo 1/3 e 2/3 do bloco.

O BCCA é assentado utilizando colher de pedreiro ou colher denteada, preenchendo toda a sua face com argamassa como pode se observar na Figura 19. Nesta figura também é possível observar que não foi realizada a fixação do bloco à estrutura. O uso da colher denteada deve ser sempre no sentido do assentamento do bloco. Com o uso desta ferramenta, obtém-se sempre a mesma quantidade de argamassa e a uniformidade entre fiadas. Nas obras visitadas onde as alvenarias estavam sendo executadas a colher de pedreiro foi a única utilizada. Caso seja detectado um desnível quando a argamassa já estiver endurecida, o bloco aceita ser lixado com uma lixa grossa antes de recomençar a próxima fiada.

Figura 19 – Preenchimento dos blocos com argamassa



Fonte: Autor, 2016

Sempre que o bloco for assentado deve se remover o excesso de argamassa antes que a mesma endureça.

A NBR 14956 (ABNT, 2013) exige para parâmetros de qualidade e aceitação da alvenaria, os seguintes valores:

- a) prumo das paredes: 5 mm para cada 2 m;
- b) prumo das laterais dos vãos: 5 mm para cada 2 m;
- c) nivelamento das fiadas: 10 mm para cada 2 m;

- d) nivelamento da ultima fiada e das fiadas inferiores e superiores dos vãos:
5 mm para cada 2 m;
- e) planicidade da parede: 5 mm de flecha no centro da régua de 2 m.

4.1.6.4 Juntas

Entre as obras visitadas, todas optaram pelo preenchimento das juntas verticais e horizontais, especialmente para garantir um desempenho acústico e térmico mais eficiente visando à aceitação pela NBR 15575 (ABNT, 2013). A ABNT NBR 14956:2013 - Blocos de concreto celular autoclavado – execução de alvenaria sem função estrutural, determina que as juntas horizontais quando utilizada a argamassa colante convencional devam ter entre 10 mm e 15 mm de espessura, sendo que a ultima fiada, quando em contato com a estrutura, deva ter entre 20 mm e 30 mm de espessura. No caso da utilização de argamassa colante industrializada, a ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012) recomenda que as juntas horizontais tenham espessura média de 5,0 mm, porém os fabricantes recomendam que tenham no máximo 10 mm. É muito difícil executar uma junta com 5,0 mm, uma vez que os blocos não são leves e apresentam cantos quebrados, necessitando maior preenchimento. Em relação às juntas verticais as espessuras são idênticas as horizontais, sendo dispensadas quando os blocos estiverem justapostos. Entretanto é exigida a junta vertical nos seguintes casos:

- a) juntas das fiadas de marcação e respaldo (primeira e ultima fiadas);
- b) juntas entre blocos que ao menos um não seja inteiro;
- c) juntas entre blocos onde a parede submetidas a intensas forças cisalhantes (paredes sobre balanços);
- d) paredes com relação altura/espessura superior a 30;
- e) paredes sujeitas a grandes impactos horizontais (garagens);
- f) paredes dos pavimentos superiores em edifícios com mais de 20 andares submetidos a intensos esforços de ventos;
- g) paredes com a extremidade superior livre (platibandas e peitoris);

O encunhamento deve ser feito após a argamassa de assentamento estar seca para garantir a perfeita estabilidade à alvenaria, podendo ser realizado com o próprio BCCA serrado, ou no caso da parede estar 3,0 cm abaixo da viga, a cunhagem pode ser feita preenchendo o espaço com argamassa colante.

A figura abaixo demonstra um local onde a junta de encunhamento está abaixo dos 3 cm, representando um possível ponto patologias no futuro.

Figura 20 – Encunhamento com junta abaixo do recomendável

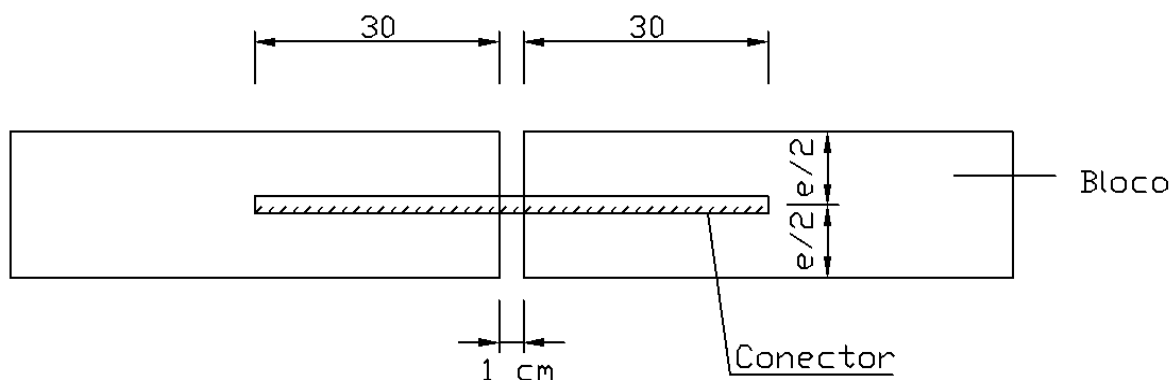


Fonte: Autor, 2016

Conforme a NBR 14956 (ABNT, 2012) em paredes com mais de 10,0 metros de comprimento, o vão deve ser dividido adicionando pilaretes na vertical. Já em paredes com altura superior a 4,5 metros, deve ser utilizada ao centro da parede uma cinta de concreto armado na horizontal. Esta situação ocorreu em diversas obras visitadas, porém nenhuma delas adotou esta técnica.

Conforme a NBR 14956 (ABNT, 2013) devem ser previstas juntas de movimento sempre que o comprimento do painel exceder 6 metros, devendo ter espessura entre 10 mm e 12 mm. Durante as visitas realizadas não foi vista nenhuma junta de movimentação mesmo com painéis que excederam os 6 metros.

Figura 21 – Juntas de movimentação



Fonte: NBR 14954 (ABNT, 2013)

4.1.6.5 Amarrações e conectores

Conforme a ABNT NBR 14956:2013 - Blocos de concreto celular autoclavado execução de alvenaria sem função estrutural - as ligações entre os pilares e os blocos podem ser feitas apenas pela aderência da argamassa de assentamento, ao preencher a junta vertical e preparar previamente a estrutura utilizando a argamassa colante e uma desempenadeira dentada. Porém a norma exige a utilização de conectores para as seguintes situações:

- a) paredes externas;
- b) paredes sobre lajes em balanço;
- c) paredes entre 4,0 m e 8,0 m;
- d) paredes com uma extremidade livre, sem ligação com outra parede ou pilar, o mesmo serve para paredes com extremidade vertical livre, por exemplo, platibandas;
- e) paredes submetidas a vibrações contínuas, como por exemplo, paredes com ar-condicionado, paredes da caixa de elevador, entre outras;
- f) paredes do primeiro pavimento, em edifícios sobre pilotis;

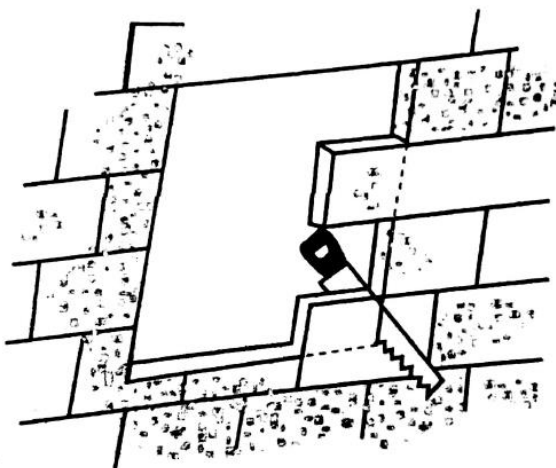
Os conectores recomendados são um fio de aço em formato de U, com diâmetro 4,2 ou 5 mm, também conhecido como ferro cabelo e telas eletrosoldadas com fios de 1mm de diâmetro e malha de 10,0mm, contendo 30 cm de comprimento, fixadas firmemente à estrutura por finca-pinus.

Nas visitadas realizadas foi possível encontrar os conectores por meio de telas eletrosoldadas. De forma geral as telas foram utilizadas a cada duas fiadas para a conexão com a estrutura e amarração entre paredes.

4.1.6.6 Aberturas

A execução das aberturas é facilmente realizada no sistema de blocos de concreto celular autoclavado. Com o auxílio de uma régua metálica pode se marcar o ponto onde serão cortados os blocos para fazer a abertura. Após isso é só cortar utilizando o serrote. A figura 22 demonstra como é realizado o corte nas aberturas, porém não apresenta verga e contraverga que podem gerar maiores dificuldades.

Figura 22 – Execução de aberturas



Fonte: NBR 14956-1 (ABNT, 2013)

4.1.6.7 Revestimento

Conforme a NBR 14956 (ABNT, 2013), pode-se revestir as paredes com argamassa colante convencional ou industrializada. No caso de utilização de argamassa convencional, o traço para revestimento é próximo ao traço de assentamento, 1:3:8 em volume de materiais secos sendo cimento, cal hidratada e areia respectivamente, recebendo apenas o acréscimo de aditivos elastômeros, como a resina de PVA por exemplo.

Os fabricantes de blocos recomendam que antes de iniciar o revestimento os blocos sejam molhados em excesso, com mangueira, caso isto não aconteça, a água presente no reboco irá infiltrar de maneira acelerada na alvenaria, gerando patologias no reboco. O bloco solta poeira em abundância, por este motivo é necessário fazer a limpeza da alvenaria com muita atenção, livrando assim a alvenaria de poeiras que prejudicam a aderência da argamassa.

De acordo com os fabricantes, não há a necessidade de chapiscar a alvenaria em caso de reboco interno. No caso de reboco externo o chapisco é essencial para aumentar a ancoragem do reboco. Onde houver revestimento com peças cerâmicas, estas podem ser assentadas diretamente sobre os blocos, apresentando apenas a argamassa colante como interface.

4.1.6.8 Vergas e contravergas

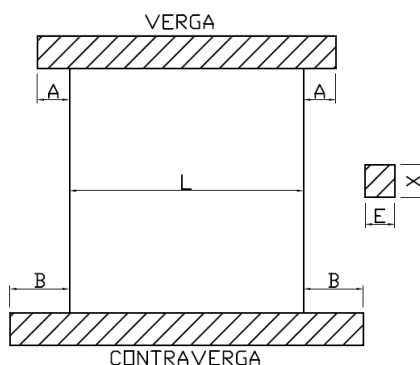
De acordo com a NBR 14956 (ABNT, 2013), todas as aberturas existentes na alvenaria devem ser providas de verga na parte superior e contraverga na parte inferior. Pode-se empregar estes elementos pré-fabricados em concreto celular autoclavado ou em peças de concreto armado, moldadas no local ou pré-fabricados. É dispensada a utilização de verga e contraverga apenas quando os vãos tiverem comprimento inferior ou igual a 50 cm, dependendo do carregamento sobre ele. Os valores para o dimensionamento de vergas e contravergas estão presentes na tabela 8, sendo complementando pela figura 23 que apresenta uma vista da abertura.

Tabela 8 – Dimensionamento de vergas e contravergas

Verga			Contraverga		
Vão (L) cm	Transpasse mínimo (A) cm	Comprimento máximo da parede m	Vão (L) cm	Transpasse mínimo (B) cm	Comprimento máximo da parede m
50 a 100	10	< 8,0	50 a 180	30	< 8,0
100 a 180	20	< 8,0	50 a 180	40	8,0 - 12,0
100 a 180	30	8,0 - 12,0	180 a 320	40	< 8,0
180 a 320	30	> 12,0	180 a 320	60	8,0 - 12,0
> 320	Verga dimensionada como viga		> 320	80	< 8,0
			> 320	80	8,0 - 12,0
			> 320	Analisar isoladamente	> 12,0

Fonte: NBR 14956 (ABNT, 2013)

Figura 23 – Visualização frontal verga, contraverga e respectivos transpasses



Fonte: NBR 14956 (ABNT, 2013)

4.1.6.9 Instalações elétricas e hidrossanitárias

As paredes feitas com bloco de concreto celular autoclavado têm no quesito instalações elétricas e hidrossanitárias (quando não necessitarem shafts), um ponto forte. Uma vez que a facilidade para cortar os blocos onde vão passar as tubulações agiliza o trabalho, além disto, não há grandes desperdícios na alvenaria como se pode observar na figura 24. Para realizar o corte da alvenaria é utilizado o rasgador específico para este material, porém conforme as informações coletadas por meio do questionário, a maioria das equipes utilizaram ferramentas tradicionais como a marreta e a talhadeira ou o rompedor de mão para executar o serviço, que ainda assim apresentou uma grande agilidade por conta da facilidade de corte do bloco.

Figura 24 - Alvenaria recebendo instalações elétricas e hidráulicas



Fonte: www.racer.com.br, 2015

4.1.7 Sustentabilidade

Esta característica é destacada principalmente por fabricantes do bloco, considerando-o como sustentável pelo fato de não haver desperdício. O bloco cortado pode ser reutilizado sem comprometer a alvenaria, deste modo não deveria haver perdas por quebras e restos. Nas visitas realizadas foram encontrados entulhos formados por blocos cortados ou quebrados, conforme as informações coletadas, grande parte do entulho foi gerado pela mão de obra não estar disposta a

reutilizar os blocos quebrados. Somando-se com isso a fragilidade do bloco, que tem facilidade em quebrar principalmente nos cantos, pode vir a gerar uma pequena quantidade de blocos inutilizáveis. A reutilização está mais relacionada à execução, do que ao bloco propriamente dito. Porém deve ser tomado muito cuidado para não reutilizar os blocos cortados em paredes que contenham uma grande exigência no futuro. Um exemplo disto, observado em algumas obras visitadas, é a reutilização de blocos em fachadas externas, que expostas às condições climáticas apresentam maior facilidade de infiltrações, entre outros possíveis problemas. Os blocos cortados podem ser reutilizados sem nenhum problema em paredes internas.

Em relação aos danos ambientais este bloco é considerado sustentável por muitas empresas, uma vez que sua fabricação não necessita uma grande quantidade de energia como nos processos de queima de outros materiais. A grande expansão volumétrica em relação ao volume da sua matéria prima faz com que a utilização de recursos naturais seja reduzida.

4.1.8 Desempenho

O desempenho dos sistemas de vedações verticais internos e externos são regidos pela parte 4 da ABNT NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho. Já citada no item 2.2 deste trabalho, esta norma define os critérios em que o SVVIE deve atender, neste trabalho serão avaliados os principais.

4.1.8.1 Peças suspensas

Uma das grandes preocupações percebidas pelas construtoras que utilizam o sistema de vedação com BCCA é o ensaio de peças suspensas. Conforme relatado, a porosidade do bloco não favorece a aderência de pregos ou parafusos com buchas comuns. Entretanto já existem materiais que prometem apresentar melhor desempenho neste quesito, como por exemplo, a linha de buchas UX e SRX da marca Fischer apresentada na figura 25.

Figura 25 - Bucha SXR



Fonte: Catálogo Fischer, 2014

Varisco (2014) realizou os ensaios utilizando uma mão francesa de acordo com as normas, fixando-a com três conjuntos de buchas e parafusos diferentes. Na primeira situação foi utilizada uma bucha plástica Fischer SX-8 e parafuso Chipboard (4,5 x 35 mm), na segunda situação foi utilizada bucha Fischer UX-8 e parafuso Chipboard (5,0 x 40 mm), na terceira situação foram utilizadas buchas Fischer FUR 8x80 SS e parafuso 6,0 x 80 mm. O corpo de prova utilizado é uma parede de bloco de concreto celular com 1,80 m de largura, 2,70 m de altura e 0,1 m de espessura.

Os resultados encontrados por Varisco (2014) durante os ensaios das três situações são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Resultados ensaio de mão francesa

	SITUAÇÃO 1	SITUAÇÃO 2	SITUAÇÃO 3
CARGA APLICADA	Ao carregar 500 N na peça, após 20 seg houve o rompimento	Ao carregar 650N na peça, após 2 min houve o rompimento	Ao carregar 800 N na peça, após 2,5 min houve o rompimento
NÍVEL DE DESEMPENHO	Abaixo do mínimo	Abaixo do mínimo	Abaixo do mínimo
DESLOCAMENTO RESIDUAL E HORIZONTAL	Dh: 0,09 mm Dhr: 0,08 mm	Dh: 0,15 mm Dhr: 0,14 mm	Dh: 0,13 mm Dhr: 0,12 mm
Alvenaria de 2700mm x 1800mm x 10mm Dh, máx: 5,5mm Dhr, máx: 1,1mm			

Fonte: Varisco, 2014

A NBR 15575 (ABNT, 2013) classifica o desempenho das alvenarias em relação ao ensaio de peças suspensas, determinando os carregamentos à mão francesa, e os critérios de desempenho para aceitação do ensaio. De acordo com os resultados encontrados por Varisco (2014) e as exigências da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) o sistema de blocos de concreto celular com os elementos fixadores utilizados não atinge o desempenho mínimo pela norma, uma vez que a mão francesa deveria suportar uma carga de 800 N por 24 horas.

4.1.8.2 Impacto de corpo mole

O princípio deste ensaio é provocar um impacto de corpo mole, gerado ao se abandonar um corpo de massa conhecida a uma altura determinada pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), que com um movimento pendular golpeia a alvenaria. Conforme Martins (2013), este ensaio simula choques acidentais gerados pela utilização da edificação.

Varisco (2014) realizou este ensaio de acordo com a norma vigente ao lançar um saco de couro em formato cilíndrico com 40 Kg de massa sobre a uma alvenaria de blocos de concreto celular apresentando 1800 mm de largura, 2750 mm de altura e 100mm de espessura. O saco de couro foi preso à um pórtico auxiliar e uma régua foi utilizada para auxiliar a posição do lançamento.

As exigências da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para alvenarias de vedação externas estão descritas na tabela 10.

Tabela 10 - Impactos de corpo mole para alvenarias de vedação externa

Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	Nível de desempenho
720	Não ocorrência de ruptura	I ; S
480		
360	Não ocorrência de falhas	
240	Não ocorrência de falhas; Limitação da ocorrência de deslocamento: dh ≤ h/125; dhr ≤ h/625	
180	Não ocorrência de falhas	
120		
480	Não ocorrência de ruína	M
360		
240	Não ocorrência de falhas; Limitação da ocorrência de deslocamento: dh ≤ h/125; dhr ≤ h/625	
180	Não ocorrência de falhas	
120		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Conforme os ensaios realizados por Varisco (2014) ao aplicar uma energia de impacto de 720 J, representando o lançamento do saco de couro a 1,80 m não houve nenhuma ocorrência de ruína, ruptura ou fissura. Durante os ensaios se obteve os seguintes resultados para os deslocamentos:

$dh = 0,3750 \text{ mm}$ $dh \text{ máximo permitido} = 22 \text{ mm}$

$dhr = -0,0285 \text{ mm}$ $dhr \text{ máximo permitido} = 4,4 \text{ mm}$

Deste modo o sistema de vedação externa utilizando blocos de concreto celular com 100 mm de espessura obteve desempenho **I** ou **S**.

4.1.8.3 Impacto de corpo duro

O ensaio de corpo duro é executado baseando se nas informações fornecidas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). O ensaio consiste no abandono de um corpo com massa de 1 Kg e 0,5 Kg, à uma altura fornecida pela norma, que em um movimento pendular atinge a alvenaria. A tabela 11 apresenta os dados para a realização do ensaio.

Tabela 11 - Massa de corpo percussor de impacto, altura e energia de impacto

Corpo percussor de impacto	Massa Kg	Altura m	Energia J
corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) - 10 impactos para cada energia	1	1	10
	1	2	20
corpo duro de grandes dimensões (esfera de aço) - 10 impactos para cada energia	0,5	0,5	2,5
	0,5	0,75	3,75

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Varisco (2014) concretizou este ensaio conforme a norma vigente ao lançar as esferas de 0,5 Kg e 1 Kg em uma alvenaria de blocos de concreto celular apresentando 1800 mm de largura, 2750 mm de altura e 100 mm de espessura.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) define como parâmetros de desempenho para os SVVIE os valores e critérios demonstrados na tabela 12.

Tabela 12 - Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)

Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Altura m	Energia J
Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc. Mossas com qualquer profundidade	M
	20	Não ocorrência de ruína e traspasseamento Permitido mossas, fissuras e desagregações	
	3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc Profundidade das mossas $p \leq 5,0\text{mm}$	I
	20	Não ocorrência de ruína e traspasseamento Permitido mossas, fissuras e desagregações	
Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações etc Profundidade das mossas $p \leq 2,0\text{mm}$	S
	20	Não ocorrência de ruína e traspasseamento Permitido mossas, fissuras e desagregações	

Fonte: NBR 15575 adaptada por Martins, 2013

Os resultados que Varisco (2014) obteve em seus ensaios classificaram a alvenaria com desempenho **S**. Ao aplicar 3,75 J de energia em 10 golpes, a massa com maior profundidade apresentava apenas 1,03 mm.

4.1.8.4 Análise de estanqueidade à água da chuva

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o requisito exigido para o ensaio de estanqueidade à água nos sistemas de vedações verticais externas é ser estanque à água proveniente de chuvas e outras fontes de água. Este ensaio é realizado conforme a região do Brasil, alterando a pressão estática do ensaio.

Varisco (2014) realizou este ensaio construindo uma câmara retangular de 135 cm de largura por 105 cm de altura, onde apenas uma face foi feita com a alvenaria de blocos de concreto celular. Aplicando uma pressão estática uniforme de 50 Pa, que correspondente à maior pressão estática da norma, no interior da câmara e uma vazão de água de 3 L/m² min.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige que o ensaio para um prédio com mais de um pavimento, após sete horas de ensaio, apresente apenas cinco por cento de área com incidência de manchas de umidade na face oposta à face com incidência a água.

De acordo com o ensaio realizado por Varisco (2014) o sistema não apresentou nenhuma mancha na face oposta, durante as sete horas de ensaios. Desta forma a alvenaria foi qualificada com nível de desempenho **I** ou **S**.

4.1.8.5 Segurança contra incêndio

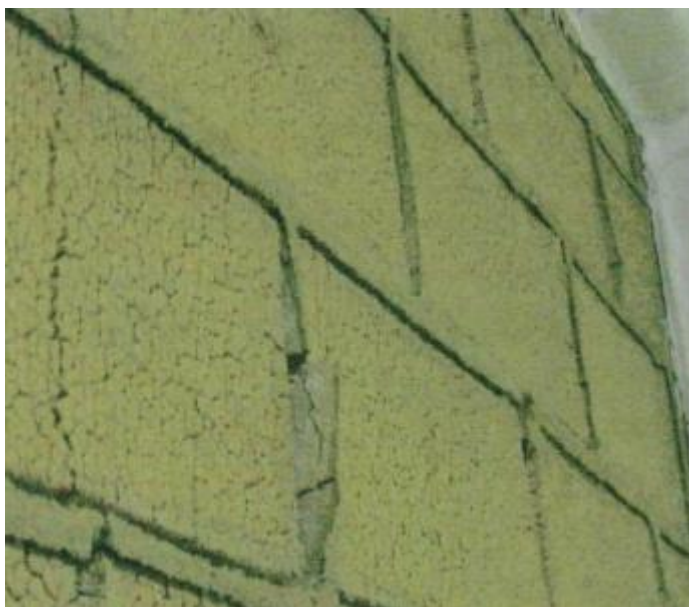
A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) define como requisito dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio, não gerando fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio.

É considerado o isolamento térmico quando a face não exposta da alvenaria apresentar temperatura inferior a $140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ na média, ou $180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ em qualquer ponto da alvenaria.

O Instituto de Pesquisa Tecnológicas (IPT) em 2008 realizou um ensaio de segurança contra incêndio em um corpo de prova BCCA, com 2600 mm de largura, 2600 mm de altura e 15 mm de espessura. Sendo realizado a uma temperatura ambiente de 21°C, durante o ensaio que durou 360 minutos, o temperatura da face não exposta ao fogo apresentou 114°C na sua média, não ultrapassando assim os 161°C determinados pela norma, e a maior temperatura em qualquer ponto da alvenaria atingiu 199°C, não ultrapassando os 201°C definidos por norma. Aos 357

minutos de ensaio foi realizado o choque mecânico onde o corpo de prova permaneceu estável, caracterizando-se como material corta fogo. Na figura 26 é possível observar a situação do bloco após o ensaio.

Figura 26 - Detalhe dos blocos e juntas após a execução do ensaio



Fonte: Instituto de pesquisas tecnológicas, 2008

Conforme os fornecedores de BCCA, este produto é muito procurado por seu desempenho perante incêndios, sendo muito utilizado em edificações apenas nas partes que necessitam a característica de corta fogo.

4.1.8.6 Desempenho térmico

O desempenho térmico tem influência direta no bem estar dos ocupadores da edificação. Em alguns casos, materiais com bom desempenho térmico reduzem custos em climatização. Conforme Martins (2013), a capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar uma unidade de temperatura de um sistema em $\text{KJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Já a transmitância térmica é a transmissão de calor em uma unidade de tempo e através de uma área unitária.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define as exigências para a transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) como é possível observar na tabela 13 e 14 respectivamente.

Tabela 13 - Transmitância térmica máxima

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	αa ≤ 0,6	αa > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5
a - α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela 14 - Capacidade térmica mínima para paredes externas

Capacidade térmica CT KJ/m ² .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Conforme um ensaio realizado pela empresa Latitude – bio arquitetura, uma parede de blocos de concreto celular de 10 cm de espessura, 3 cm de revestimento externo e 2,5 cm de revestimento interno, totalizando 15,5 cm de espessura, obteve $U = 1,6871 \text{ W/m}^2.\text{k}$. Esta mesma parede de fachada obteve uma capacidade térmica igual a $174 \text{ KJ/m}^2.\text{K}$. Ambos os resultados obtiveram bom desempenho, passando com sobras pelas exigências da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

4.1.8.7 Desempenho acústico

Este bloco é evidenciado comercialmente por apresentar um bom desempenho acústico, devido a sua estrutura aerada que absorve as ondas sonoras incidentes sobre ele. Porém quando comparado à norma de desempenho a redução acústica causada por ele se torna insuficiente.

Em um laudo realizado pela empresa Síntese – acústica arquitetônica, foram construídos três cômodos justapostos com blocos de concreto celular autoclavado. Neste ensaio foram avaliadas duas paredes, sendo uma executada com blocos de 12,5 cm de espessura e a outra com blocos de 15 cm de espessura. Ambas as

paredes foram revestidas com reboco interno de 2 cm e reboco externo com 3 cm, totalizando 18,5 cm e 20,0 cm de espessura respectivamente.

Ambos os cômodos apresentavam uma janela e uma porta simulando um ambiente de uma residência. No cômodo que utilizou blocos com 15 cm de espessura, detectado pelo medidor de nível sonoro uma redução de 43 dB, enquanto no cômodo que utilizou os blocos com 12,5 cm de espessura foi detectado uma redução de 39 dB. Este ensaio foi realizado de forma que os cômodos simulam a situação de uma habitação. Desta forma os valores exigidos em norma apresentam uma redução de 5 dB na exigência de desempenho. Assim as situações mais críticas exigem que se alcance uma redução de 45 dB.

Uma alvenaria de BCCA com espessura de 20 cm revestida com argamassa industrializada com 3 cm em ambos os lados, totalizando 26 cm de espessura total, foi analisada em um ensaio pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC no ano de 2015. Neste ensaio a alvenaria com dimensão total de 4,12 m de comprimento e 3,20 m de altura obteve um índice de redução sonora de 48 dB. Neste caso os desempenhos mais rigorosos exigidos pela norma atingem os 50 dB.

Apesar de ser evidenciada comercialmente por apresentar bom desempenho acústico, em ensaios isto não é observado, sendo necessários complementos para atingir os valores mínimos exigidos pela ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013). A tabela com as exigências da norma se encontram no ANEXO B.

Em busca de alternativas para melhorar o desempenho acústico e atingir os requisitos da norma de desempenho, uma das empresas visitadas criou uma parede com dois blocos de 7,5 cm distanciados 4 cm entre si, porém não é possível definir se esta estratégia é suficiente para atender a norma, uma vez que não foram realizados ensaios.

Para se atingir o desempenho exigido pela norma é necessário fazer uso de técnicas que reforcem o desempenho acústico. Pare este caso as paredes com espaçamento entre si podem ser uma boa alternativa ou até adicionar um revestimento em gesso acartonado em uma ou em duas faces da alvenaria.

4.1.9 Observações em relação ao sistema de BCCA

Durante os estudos realizados e coleta de informações nas obras visitadas, algumas observações foram realizadas merecendo uma atenção maior.

De forma quase que unânime foi realçado o fato do bloco ser frágil, tendo seus cantos quebradiços e sofrer muitos danos no transporte. Partindo disto, foi realizado um ensaio de resistência à compressão dos blocos conforme o descrito no item 3.2.1.3.

O fato de ser um bloco poroso preocupa em relação à absorção de água. Uma vez que a variação na umidade tende a expandir ou retrain o material, os revestimentos podem ser danificados. Com base nisto foi realizado um ensaio de absorção dos blocos conforme o descrito no item 3.2.1.2.

A dificuldade para fixar parafusos também preocupou algumas construtoras. O bloco é fácil de perfurar, porem os parafusos e buchas não aderiam com perfeição na alvenaria. Conforme o ensaio realizado por Varisco (2014), citado no item 4.1.8.1 a alvenaria não obteve o desempenho mínimo exigido pela norma de desempenho. Desta forma foi realizado o ensaio de peças suspensas conforme descrito no item 3.2.1.4.

4.1.9.1 Resistência à compressão

O ensaio da resistência à compressão foi com nove blocos da fornecedora “A”, e seis blocos da fornecedora “B”. A Figura 27 apresenta a sequência de ações para o ensaio de compressão.

Figura 27 - Ensaio de resistência à compressão



- A – Bloco capeado em ambos os lados para garantir planeza.
 B – Bloco sendo ensaiado em máquina.
 C – Bloco rompido.

Fonte: Autor, 2016

De acordo com os fornecedores, a massa específica de ambos os blocos é 500 Kg/m^3 , desta forma classificados como C15 pela NBR 13438 (ABNT, 2013) como é demonstrado pela tabela 15.

Tabela 15 – Classes, resistência à compressão e densidade de massa

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

Fonte: NBR 13438 (ABNT, 2013)

Desta forma os blocos devem ensaios devem obter uma média mínima de 1,5 MPa e menor valor isolado de 1,2 MPa. A resistência à compressão é apresentada na tabela 16.

Tabela 16 – Resistência à compressão

CORPO DE PROVA	FORNECEDOR A	FORNECEDOR B
	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)	
1	2,00	2,33
2	1,48	1,94
3	2,18	1,82
4	2,09	2,26
5	1,71	2,19
6	1,55	1,93
7	2,18	-
8	2,00	-
9	2,16	-
MÉDIA (MPa)	1,93	2,08

Fonte: Autor, (2016)

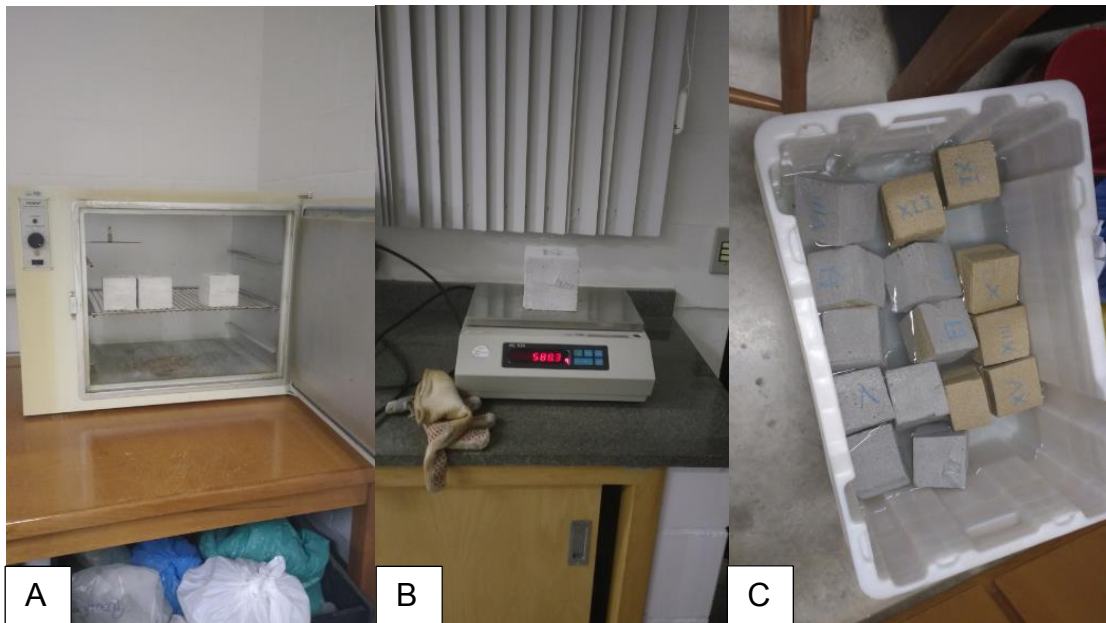
Com os resultados obtidos, os blocos ensaios ultrapassaram a resistência à compressão média e mínima individual prevista pela NBR 13438 (ABNT, 2013).

4.1.9.2 Absorção

Até o momento do presente trabalho, não há normatização quanto ao ensaio de absorção de água de BCCA.

O ensaio de absorção foi realizado com os blocos cortados no formato e tamanho exigidos para realização do ensaio de compressão. Os BCCA foram secos em estufa até que duas medidas consecutivas fossem sejam semelhantes. Assim que se apresentavam secos foram pesados e colocados em um recipiente com água. A sequência das ações é demonstrada na figura 28.

Figura 28 - Etapas do ensaio de absorção



- A – Blocos inseridos em forno.
B – Verificação de massa do bloco.
C – Blocos repousando em recipiente.

Fonte: Autor, 2016

Durante o ensaio pode-se observar que o bloco boia na água, uma vez que sua densidade é inferior à densidade da água. Após 48 horas os blocos estavam completamente submersos e foram retirados do recipiente para realizar uma nova pesagem. A determinação de massa úmida é apresentada pela tabela 17.

Tabela 17 - Índice de absorção de água

Fornecedor A				Fornecedor B			
Corpo de prova	Peso seco (g)	Peso úmido (g)	Determinação de massa úmida (%)	Corpo de prova	Peso seco (g)	Peso úmido (g)	Determinação de massa úmida (%)
1	666,60	985,80	47,88	1	392,80	575,30	46,46
2	696,00	985,50	41,59	2	395,10	554,10	40,24
3	609,50	925,00	51,76	3	368,60	583,30	58,25
4	556,40	886,00	59,24	4	393,70	585,60	48,74
5	645,60	946,70	46,64	5	378,60	615,00	62,44
6	590,00	894,90	51,68	6	400,30	559,40	39,75
7	649,30	992,10	52,80			MÉDIA (%)	49,31
8	644,90	975,60	51,28				
9	658,50	956,80	45,30				
		MÉDIA (%)	49,80				

Fonte: Autor, 2016

4.1.9.3 Ensaio de peças suspensas

Durante as visitas técnicas foi recebida a informação que há dificuldade em firmar parafusos na alvenaria. Desta forma foi dada uma maior atenção ao ensaio de peças suspensas realizando o mesmo em duas situações.

Uma parede teste sem revestimento, pertencente a uma obra em andamento dentro da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), executada com blocos de BCCA de 15 cm de espessura e juntas de assentamento com 15 mm foi analisada ao receber a fixação de uma mão francesa com dimensões de acordo com a norma vigente. A mão francesa foi fixada com duas buchas da marca Fischer modelo UX com 10 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, esta bucha é indicada para trabalhos com concreto celular.

Após a fixação da mão francesa, o carregamento foi iniciado, acrescentando 50 N a cada 3 minutos. Na figura 29 é possível observar a sequência dos procedimentos.

Figura 29 – Sequencia do ensaio de peças suspensas



Fonte: Autor, 2016

A mão francesa suportou a carga de 100 N, no momento em que estava sendo acrescentado mais 50 N esta se desprendeu da alvenaria. Foi possível observar que a bucha utilizada não foi acionada, permanecendo intacta e empoeirada ao final do ensaio. O bloco não apresentou nenhum dano externo ao final do ensaio. Desta forma o sistema não atingiu o requisito mínimo pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Foi realizado um segundo ensaio na mesma obra, porém desta vez em uma parede testes revestida com reboco fino com 10 mm de espessura. Desta vez foi utilizada uma bucha Fischer FU 8x50 mm, utilizando um parafuso 5x65 mm. O procedimento foi idêntico ao ensaio anterior, fixando a mão francesa e adicionando cargas de 50 N em patamares de 3 minutos. A figura 30 mostra a sequência dos procedimentos.

Figura 30 - Ensaio de peças suspensas com 800 N



Fonte: Autor, 2016

No ensaio realizado a carga aplicada em patamares atingiu 800 N, permanecendo intacta por 1 minuto e 10 segundos, quando a bucha de um dos lados da mão francesa soltou da parede como pode ser observado na figura 31. Desta forma o sistema não obteve o desempenho mínimo exigido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), onde a carga de 800 N deve permanecer por 24 horas sem apresentar nenhum dano.

Figura 31 - Ensaio de mão francesa após rompimento



Fonte: Autor, 2016

4.2 Alvenaria racional com blocos cerâmicos

O sistema de alvenaria racional não é tão recente quanto o sistema de blocos de concreto celular autoclavado, sendo utilizado em escala muito maior atualmente. Apenas uma visita técnica foi realizada, na cidade de Porto Alegre, porém a empresa que abriu suas portas e possibilitou esta visita é referência em qualidade de construção no país, além de contar com equipes de assessoria para que execução seja realizada da melhor forma possível.

A empresa em estudo está executando sua terceira obra com o sistema construtivo. Esta obra contém duas torres com quatorze pavimentos e dois subsolos em cada, além de 10 sobrados.

4.2.1 Blocos utilizados

A execução da alvenaria racional necessita que sejam utilizados blocos com esta característica. O bloco apresentado na figura 32 possibilita que a sua utilização racionalize diversas etapas da construção.

Figura 32 – Bloco cerâmico com furos na vertical



Fonte: Pauluzzi, 2016

A obra em questão utilizou blocos cerâmicos com furos na vertical da empresa Pauluzzi. Apesar de ter função apenas de vedação, os blocos utilizados eram do tipo estrutural com resistência à compressão de 7 MPa, apresentando comprimento de 19 cm e altura de 29 cm, também conhecido como bloco da família

de 20 cm. Também é possível encontrar no mercado algumas empresas que fornecem este mesmo bloco com resistências à compressão inferiores.

As paredes externas receberam o bloco com 19 cm de espessura, já as internas o bloco com 14 cm de espessura. O peso dos blocos é indicado na tabela 18.

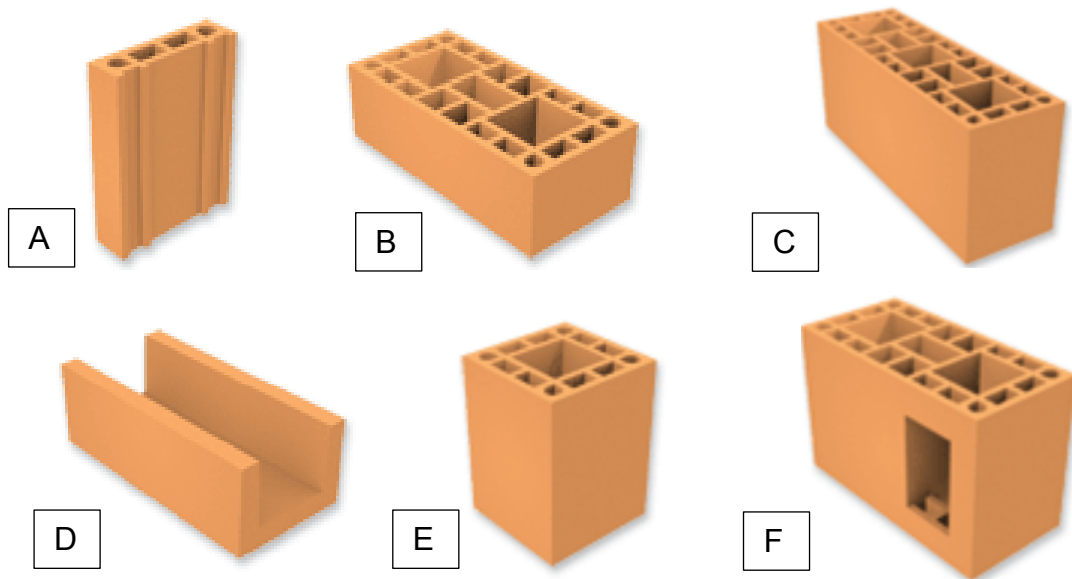
Tabela 18 - Peso dos blocos cerâmicos com furos na vertical - 7MPa

Dimensões (cm)	Peso (Kg)
14x19x29	6,3
19x19x29	7,5

Fonte: Pauluzzi, 2016

Uma das grandes vantagens da utilização do sistema de alvenaria racional é a possibilidade de ter o projeto de paginação. Por meio deste projeto as paredes que serão executadas têm todos os detalhes descritos, localizando os blocos e onde serão utilizados blocos especiais como compensadores, meio bloco, bloco e meio, meio horizontal, blocos com corte para caixa de luz, canaletas entre outros. O projeto de paginação também indica amarrações para serem feitas e caso necessário o preenchimento do interior dos blocos. Desta forma o tempo utilizado em projetos, dispensa a necessidade de improvisos durante a execução, compensando o tempo gasto em escritório, reduzindo custos e melhorando a qualidade da alvenaria. Na figura 33 são apresentados alguns blocos especiais.

Figura 33 - Exemplo de blocos especiais



- A – Compensador.
 B – Meio bloco horizontal.
 C – Bloco e meio.
 D – Canaleta.
 E – Meio bloco.
 F – Bloco com cx. luz 4x2.

Fonte: Pauluzzi, 2016

4.2.2 Armazenamento

De modo semelhante ao sistema com BCCA, os fabricantes recomendam que o armazenamento dos blocos cerâmicos se localize em um local plano para evitar quebras. É recomendado que os blocos permaneçam encima do pallet utilizado para o transporte até o local da obra, evitando assim o contato com direto com o solo. Os pallets com blocos não devem ser empilhados, sendo que a altura máxima em cada pallet não deve ultrapassar 1,20 m.

Sempre é essencial que os blocos estejam depositados em um local de fácil acesso para carga e descarga e movimentações horizontais dentro da obra.

Na visita realizada os blocos foram armazenados em um local de bom acesso, porém pallets foram empilhados. No caso dos blocos ficarem expostos ao tempo é recomendado por Thomaz (2009) que se cubram os blocos com uma lona, de forma que os blocos não sejam assentados com excesso de umidade. Os blocos

recebidos foram envolvidos por fitas e plásticos.

4.2.3 Rendimento

Um dos pontos fortes do sistema de alvenaria racionalizada é o grande rendimento para execução das alvenarias. A empresa visitada contém em seus registros o rendimento da mão de obra do começo até o momento atual da obra. A média apresentada até o momento é de 32,75 m²/dia por operário.

4.2.4 Transporte dos materiais

O transporte horizontal dos blocos é feito inicialmente por uma mini carregadeira adaptada (figura 34), possibilitando o transporte dos pallets carregados dentro do canteiro, o carrinho de duas rodas (figura 35) é fundamental para distribuir os blocos dentro do pavimento a ser executado, apresentando maior agilidade e podendo ser movimentado por apenas um funcionário. O transporte vertical dos blocos é realizado pelo elevador cremalheira em conjunto com o carrinho de quatro rodas. Os demais materiais da obra são transportados de maneira semelhante.

Figura 34 - Carregadeira adaptada para empilhadeira



Fonte: Autor, 2016

Figura 35 - Carrinho duas rodas



Fonte: www.pauluzzi.com.br, 2016

4.2.5 Alvenaria

A alvenaria de vedação racionalizada com blocos cerâmicos é muito semelhante ao sistema construtivo de alvenaria estrutural. A principal norma regulamentadora é a NBR 8545 (ABNT, 1984). Neste trabalho foram utilizadas algumas técnicas presentes na NBR 15812-2 (ABNT, 2010). Esta norma é dedicada apenas a blocos cerâmicos para alvenaria estrutural, porém são os mesmos blocos empregados na alvenaria de vedação.

4.2.5.1 Argamassa

As normas regulamentadoras específicas não fornecem valores mínimos ou máximos para a resistência da argamassa de assentamento e revestimento. Conforme Thomaz (2009) o ideal é que se utilizem argamassas mistas compostas por cimento e cal hidratada para o assentamento podendo ser industrializada ou preparada em obra. A obra visitada utiliza argamassa estabilizada, permanecendo em caixa intermediária até 45 horas para ser utilizada.

Parsekian (2010) indica um traço de argamassa para assentamento de alvenarias de vedação em 1:2:8-9, sendo os materiais cimento, cal hidrata e areia respectivamente. O consumo aproximado informado por fabricantes é de 25 Kg/m².

4.2.5.2 Marcação da alvenaria

A marcação da alvenaria é a etapa mais importante para obter um bom resultado quando a alvenaria estiver pronta. Munidos de projeto e ferramentas que auxiliem no seu trabalho, é recomendado que esta etapa seja designada a uma equipe de pedreiros qualificados, uma vez que qualquer desconformidade com o projeto irá causar um efeito dominó ou retrabalho.

Conforme Lordsleem (2001) o ideal é que antes de realizar a marcação seja verificado o nivelamento da laje através de nível de mangueira ou aparelho de nível. Caso houver desnivelamento superior a 2 cm, este deverá ser corrigido.

Lordsleem (2001) indica que o início da marcação seja pelas paredes de fachada, considerando o prumo do conjunto de pavimentos já executados. O acompanhamento do prumo entre pavimentos distintos resulta em redução de material para o revestimento externo destas paredes.

Com os blocos de extremidade devidamente posicionados, deve se estender uma linha na face externa destes, delimitando assim onde os blocos serão assentados. Ao estender uma linha na face interna simultaneamente, está garantindo-se o perfeito alinhamento dos blocos.

A sequência da marcação da alvenaria é pelas paredes internas, sempre seguindo o projeto, é imprescindível que as paredes internas sejam amarradas com as externas. No caso de não haver esta possibilidade utilizando a transposição dos blocos, podem ser adotados conectores. Nesta etapa é muito importante a verificação do esquadro, sendo o momento mais fácil de sanar dúvidas e corrigir erros de execução.

A espessura de argamassa da primeira fiada pode ser entre um e três centímetros, a fim de se adequar a qualquer imperfeição da laje. Lordsleem (2001) também indica que sejam preenchidas todas as juntas verticais da primeira fiada, desta forma se garante maior resistência a choques e distribui melhor as cargas para a estrutura.

Na figura 36 é possível observar a marcação da alvenaria interna na obra onde foi realizada a visita técnica.

Figura 36 – Marcação da alvenaria interna



Fonte: Autor, 2016

4.2.5.3 Execução da alvenaria

A execução da alvenaria racional com blocos cerâmicos se torna muito mais eficiente quando as equipes dispõem de materiais compatíveis com a atividade. Este sistema de vedação permite adotar alguns materiais que colaboram para a qualidade do produto final. Conforme Parsekian (2010) entre os equipamentos imprescindíveis para a execução estão:

- a) andaime regulável;
- b) bisnaga, colher meia cana ou colher de pedreiro;
- c) escantilhão, linha guia e esquadro;
- d) nível alemão;
- e) régua de prumo e nível;
- f) carrinho porta-masseira e suporte regulável;
- g) gabaritos de portas e janelas.

Na figura 37 é possível observar a presença de alguns destes equipamentos na obra visitada.

Figura 37 - Ferramentas utilizadas para execução da alvenaria



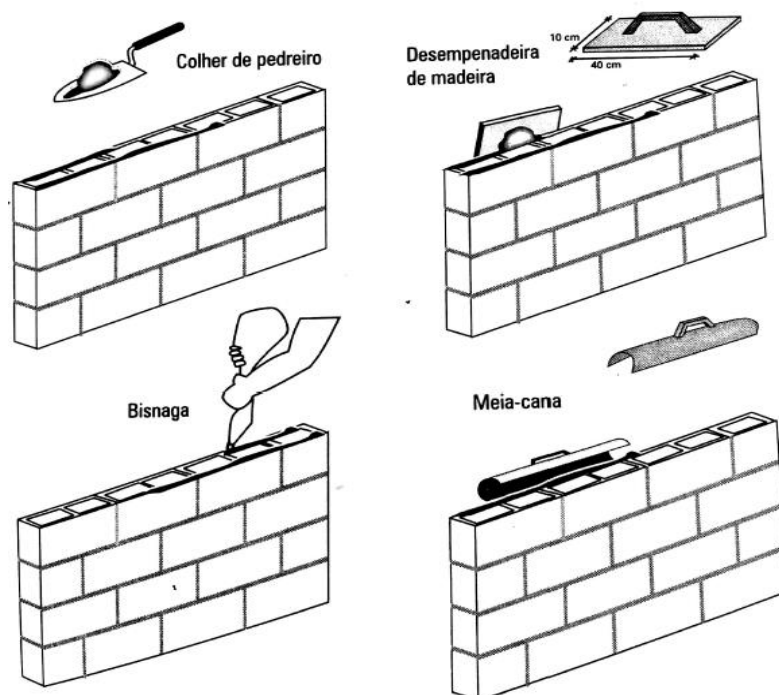
- A – Escantilhão telescópico
- B – Régua nível
- C – Caixa para argamassa
- D – Carrinho para caixa de argamassa

Fonte: Autor, 2016

Assim como o sistema de vedação com BCCA, Sabattini citado por Lordsleem (2001) recomenda que antes de iniciar a elevação da alvenaria, se tenha quatro lajes concretadas e duas completamente desformadas acima do pavimento.

O bloco cerâmico racional é assentado preenchendo suas paredes, tendo como diferencial a utilização da meia cana, que quando bem empregada, apresenta um maior rendimento e uma espessura uniforme. Na visita técnica realizada ainda foi possível ver a utilização da colher de pedreiro. De acordo com os técnicos esta ocorrência está ligada a dificuldade de adaptação da mão de obra, principalmente pedreiros que trabalharam a vida inteira com este instrumento.

Figura 38- Ferramentas mais utilizadas para assentamento de blocos cerâmicos



Fonte: Lordsleem, 2001

Durante o assentamento, a amarração dos blocos cerâmicos racional é bastante simples, os blocos devem estar intercalados, o fato de serem vazados facilita a verificação da correta amarração, uma vez que os furos se encontram na alvenaria. Na obra visitada os encontros de paredes recebem a devida atenção, sendo executados até a altura final e distribuído nas fiadas seguintes, o popular “castelo” apresentando na figura 39. É muito importante que todos os blocos estejam de acordo com este alinhamento, uma vez que por dentro destes furos podem passar dutos e elementos da rede hidrossanitária.

Figura 39 – Amarração dos blocos em formato de castelo



Fonte: Autor, 2016

É importante ter o cuidado de retirar os excessos de argamassa, durante o assentamento, uma vez que a pressão realizada pelo bloco na argamassa faz com que a mesma se expanda horizontalmente para dentro do bloco, desta forma os furos podem ficar obstruídos. Em caso de dificuldade para retirar o excesso de argamassa interno, após a argamassa estar seca pode-se utilizar uma pequena barra de aço para desobstruir os furos.

Durante a elevação das paredes a utilização de um escantilhão e uma linha oferece o auxílio necessário para demarcar os limites de cada fiada de modo ágil e preciso. É importante também que o responsável pela execução esteja sempre munido de uma régua nível, verificando o alinhamento da alvenaria.

Em relação a parâmetros de qualidade para aceitação da alvenaria, não há nenhuma norma específica dos blocos cerâmicos de vedação que abrange este tema, porém pode se utilizar como base a ABNT NBR 15812-2:2010 – Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 2: Execução e controle de obras. Esta norma apresenta as seguintes exigências para aceitação da alvenaria:

- a) prumo da parede: ± 5 mm a cada 3 m, ± 13 mm no máximo;
- b) alinhamento da parede: ± 5 mm a cada 3 m, ± 13 mm no máximo;
- c) descontinuidade máxima das paredes e pilares entre os andares: ± 20 mm.

4.2.5.4 Juntas

No sistema de vedação vertical com blocos cerâmicos com furos na vertical não é necessário o preenchimento da junta vertical nem o preenchimento das paredes transversais dos blocos. Realizar este processo fica a critério da construtora. O preenchimento destas juntas aumenta a resistência da alvenaria, porém por se tratar de uma alvenaria apenas de vedação em alguns casos não há esta necessidade. Quando houver esta necessidade, pode se discutir o custo benefício em adotar um bloco de maior resistência.

Na visita técnica a empresa optou pelo preenchimento das juntas verticais e horizontais em toda a edificação, adotando a espessura de 1 cm. A NBR 15812-2 (ABNT, 2010), indica que a espessura das juntas de assentamento apresentem 10 mm de espessura, já a espessura da junta de assentamento da primeira fiada, deve estar entre 5 e 20 mm.

Figura 40 - Encunhamento com argamassa



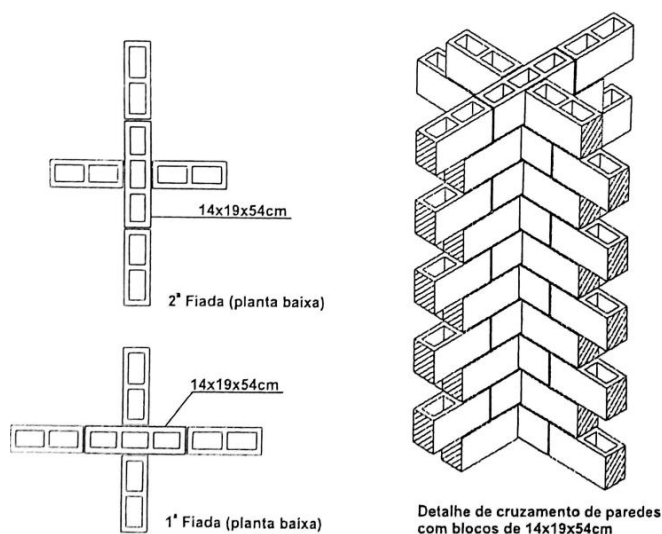
Fonte: Autor, 2016

Nos casos que envolvem encunhamento, a empresa visitada adotou uma folga de 30 mm até a estrutura, para posteriormente preencher com argamassa. Uma peculiaridade em relação ao encunhamento foi o preenchimento com argamassa dos furos de todos os blocos que se apresentavam abaixo de vigas, aumentando assim a resistência da alvenaria.

4.2.5.5 Amarrações e conectores

A amarração dos blocos é bastante simples, apenas intercalar os blocos durante o assentamento já é suficiente. No encontro entre paredes deve ser tomado um cuidado maior principalmente na elaboração do projeto. Na visita técnica realizada foi possível observar que os cantos de paredes foram realizados conforme a figura 41, nos locais onde houve encontros no formato T foi empregado o bloco e meio. Nos locais onde não se conseguiu realizar esta transposição, as paredes podem ser amarradas utilizando tela metálica, estribos ou grampos preenchendo os vazios dos blocos com argamassa.

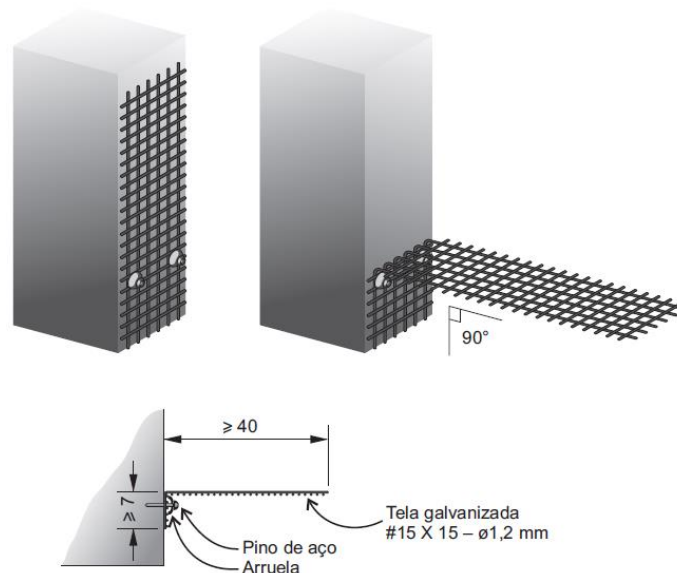
Figura 41 - Detalhe de encontro de paredes



Fonte: Parsekian, 2010

Conforme Thomaz (2009) ao fixar a alvenaria com a estrutura, é sempre indicado a utilização de chapisco rolado ou industrializado pressionando fortemente o bloco na alvenaria, resultando no refluxo da argamassa e a solidez da junta. Em caso geral, para reforço na ligação são utilizadas telas de metálicas a cada duas fiadas firmadas conforme a figura 42. Na obra visitada a fixação das telas foi realizada de acordo com as indicações do autor citado.

Figura 42 – Esquema de fixação da alvenaria à estrutura



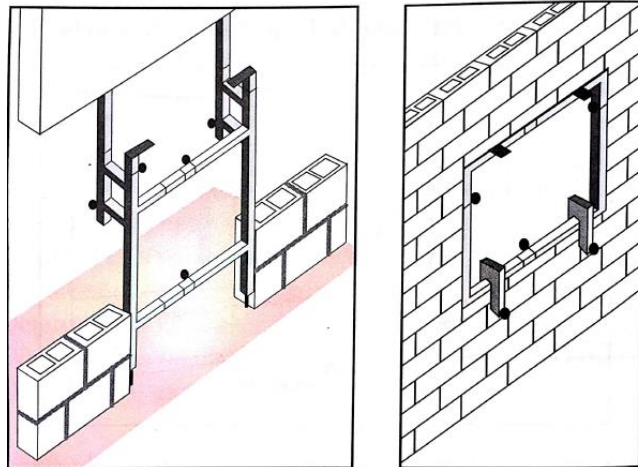
Fonte: Thomaz, 2009

4.2.5.6 Aberturas

Na obra visitada as aberturas eram realizadas utilizando como apoio os projetos de paginação. No projeto é possível verificar a localização das esquadrias conforme a quantidade de blocos da fiada, nesta etapa é muito usual a utilização de meio bloco e meio bloco horizontal. Quando a alvenaria for executada de forma uniforme, a adequação da abertura para receber as esquadrias se torna bastante simples.

Lordsleem (2001) recomenda a utilização de gabaritos (figura 43) que auxiliam a execução de aberturas. Na obra visitada não foi observada a utilização deste sistema.

Figura 43 - Gabaritos para execução de aberturas



Fonte: Lordsleem, 2001

4.2.5.7 Revestimento

Na obra onde foi realizada a visita técnica o revestimento interno foi executado com reboco projetado. Este reboco é realizado utilizando argamassa industrializada específica para este sistema, onde uma máquina (figura 44) faz a mistura da argamassa com água e posteriormente projeta esta pelo mangote. Em seguida à projeção da argamassa na alvenaria, é realizado o desempeno do reboco com régua de alumínio e desempenadeira de aço. A espessura do reboco interno foi de 1,5 cm, já a espessura prevista para o reboco externo é de 2,5 cm.

Figura 44 - Máquina de projeção de reboco



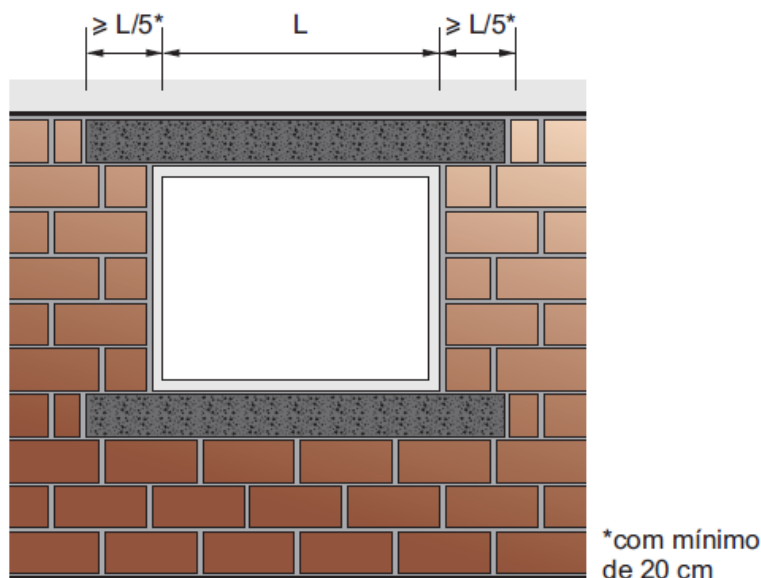
Fonte: Autor, 2016

O fornecedor dos blocos cerâmicos utilizados por esta empresa recomenda que seja utilizado chapisco, emboço e reboco para realizar o revestimento das alvenarias. A utilização da argamassa projetada elimina estas etapas melhorando o rendimento.

4.2.5.8 Vergas e contravergas

Conforme Thomaz (2009) para o transpasse das vergas e contravergas geralmente é recomendado adotar 20% do vão das aberturas, sendo no mínimo 20 cm de transpasse para cada lado do vão. Esta regra pode ser observada na figura 45. Para vãos com 60 cm de distância entre si é recomendado a utilização de verga e contra verga contínua.

Figura 45 - Transpasse de vergas e contravergas



Fonte: Thomaz, 2009

Na obra visitada foram utilizadas vergas e contravergas pré-moldadas, transpassando 20 cm na alvenaria. Em geral as aberturas não apresentavam grandes vãos, havendo apenas algumas portas janela que foram providas de vigas.

Caso seja preferido realizar as vergas e contravergas na própria abertura, pode ser utilizada a canaleta da mesma família do bloco, recebendo a ferragem adequada e o concreto.

4.2.5.9 Instalações elétricas e hidrossanitárias

Durante a visita técnica foi possível observar a disposição das instalações elétricas e hidrossanitárias da edificação. Nos locais onde se apresentaram tubulações aglomeradas, ou tubulações com diâmetro elevado, foram utilizados shafts como pode-se observar na figura 46.

Figura 46 - Utilização de shaft na obra



Fonte: Autor, 2016

As instalações elétricas e hidrossanitárias que não necessitam grandes passagens são embutidas dentro dos furos verticais dos blocos, evitando assim a necessidade de cortes na alvenaria. Nos casos onde houver deslocamento horizontal das instalações, os blocos podem receber cortes em suas paredes internas, ou podem ser utilizadas canaletas. A alvenaria racionalizada com blocos cerâmicos, quando bem aplicada, não necessita quebras com talhadeira para a realização das instalações.

Na obra visitada foram observados cortes para as instalações de caixas de CD e caixas de ar condicionado. Na figura 47 é possível observar o CD, recebendo as tubulações embutidas na alvenaria.

Figura 47 - CD e eletrodutos embutidos na alvenaria



Fonte: Autor, 2016

Quando não for possível aproveitar a modulação dos blocos para integrar algum elemento à alvenaria, não é recomendado que se realize quebras, e sim cortes com máquina e disco adequados. Na figura 48 é possível identificar a quebra dos blocos para instalação de uma espera para ar condicionado.

Figura 48 – Espera de ar condicionado



Fonte: Autor, 2016

Conforme as informações passadas durante a visita foi dispensada a utilização do bloco com caixa de luz pela empresa. Conforme relatado, a posição da caixa de luz no bloco não se adequava as medidas do projeto. Porém neste caso foi realizado o corte das para as caixas de luz de forma racional. Utilizando uma serra copo, os blocos foram perfurados conforme as indicações do projeto, e uma caixa de luz com formato circular foi posicionada (figura 49).

Figura 49 - Caixa de luz em formato circular



Fonte: Autor, 2016

4.2.5.10 Projeto de paginação e integração de projetos

Na obra visitada foi utilizado um projeto de paginação, que consiste numa visão frontal da parede apresentando as amarrações e todos os elementos presentes na alvenaria. Uma das principais características necessárias para realizar este projeto é a modulação presente nos blocos cerâmicos racionais.

Conforme Parsekian (2010) os projetos iniciam normalmente ajustando as medidas de cada peça. Depois de ajustadas as medidas, é realizada a integração de projetos, transmitindo no projeto arquitetônico os projetos complementares, como o estrutural, hidrossanitário, elétrico, combate a incêndio e os demais projetos envolvidos na edificação. Assim que se completar esta integração, podem ser realizados os projetos de primeira e segunda fiada. É muito importante verificar o posicionamento das aberturas e seus detalhes construtivos, uma vez que vergas e contra vergas podem influenciar nos projetos complementares.

Os projetos de paginação são realizados tomando cuidado para utilizar o menor número possível de blocos especiais e compensadores quando as dimensões não forem múltiplas da família de blocos utilizada. A integração dos projetos é fundamental desde o início da execução da alvenaria, onde as tubulações de espera já são posicionadas conforme o projeto final. O projeto de paginação apresenta todos os elementos que estarão presentes nas paredes de modo individual, demonstrando a posição aberturas, eletrodutos, tubulações, caixas de luz, pontos de telefone, gás, entre outros.

De acordo com Silva (2006), os principais itens que devem constar nos projetos utilizados no canteiro de obra são:

- a) planta com a numeração das paredes
- b) plantas de primeira e segunda fiadas;
- c) paginação de cada parede;
- d) demarcação de vergas e contravergas quando utilizadas;
- e) especificação dos elementos utilizados na execução da alvenaria (blocos e argamassa de assentamento);
- f) modo de ligação entre alvenaria e estrutura.

É de extrema importância a presença destes projetos em obra em bom estado de conservação e com o adequado treinamento da mão de obra. Estes projetos devem ser claros de forma que não criem dúvidas. É recomendável a utilização de bancadas para facilitar a interpretação do projeto, assim como as utilizadas pela empresa visitada que são apresentadas na figura 50.

Figura 50 - Bancada para estudo de projetos



Fonte: Autor, 2016

4.2.6 Sustentabilidade

O fato dos blocos cerâmicos racionais permitirem utilizar seus furos verticais para as instalações reduz quebras, além disto, a modulação dos blocos reduz a necessidade de improvisos durante a obra, desta forma os blocos não necessitam serem quebrados para fazer encaixes, estes dois fatores reduzem consideravelmente a quantidade de entulhos gerada.

O ponto negativo no quesito sustentável é a fabricação do bloco, uma vez que o mesmo necessita uma grande quantidade de calor para ser realizada sua queima e a sua secagem. De modo geral este calor este é proveniente da queima de madeira. Porém, algumas empresas conseguem minimizar este dano causado ao meio ambiente, criando ações de sustentabilidade como planos de reflorestamento, reaproveitamento de resíduos de outras indústrias, reaproveitamento do calor dos fornos, entre outros.

4.2.7. Desempenho

De acordo com a visita realizada, os conhecimentos obtidos durante os estudos e pelo fato do bloco cerâmico ser um sistema já consagrado, não foi detectado nenhum ponto que necessitasse um ensaio específico em relação aos blocos. A análise do desempenho deste sistema é apresentada nos tópicos a seguir conforme as principais exigências solicitadas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). O bloco a ser analisado é o mesmo encontrado na obra visitada.

4.2.7.1. Ensaio de peças suspensas

O ensaio de peças suspensas foi realizado pelo laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Santa Maria, onde foi analisada uma alvenaria com bloco cerâmico estrutural 14x19x29 – 7 MPa, apresentando 4,12 x 3,20 metros de dimensão. Os blocos foram assentados com argamassa de assentamento estrutural 4 MPa e com peso aproximado de 181 Kg/m². A parede foi ensaiada com revestimento externo de reboco grosso com 2,5 cm e com revestimento interno de reboco médio com espessura de 1 cm. A espessura total da parede foi de 17,5 cm. A fixação da mão francesa padrão foi feita utilizando-se buchas plásticas marca Fischer SX10 (Parafuso 6-8). A carga máxima de 1,2 KN aplicada na peça foi mantida constante por um período de 24 horas, sem alterações. (SILVA, 2015).

De acordo com o ensaio, o bloco cerâmico com furos na vertical, apresentou desempenho superior no quesito peças suspensas. (SILVA, 2015)

4.2.7.2. Ensaio de corpo mole

O ensaio de corpo mole também foi realizado com o bloco cerâmico de vedação 14x19x29 – 7 MPa, realizado pelo laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Santa Maria, onde foi analisada uma alvenaria apresentando 4,12 x 3,20 metros de dimensão. Os blocos foram assentados com argamassa de assentamento estrutural 4 MPa e com peso aproximado de 181 Kg/m². A parede foi ensaiada com revestimento externo de reboco grosso com 2,5

cm e com revestimento interno de reboco médio com espessura de 1 cm. A espessura total da parede foi de 17,5 cm. Os resultados do ensaio de impacto de corpo mole na parede acima descrita apresentaram que não foram observados danos visíveis à parede quando submetida a impactos de até 960 J. (SILVA, 2015).

De acordo com o ensaio, o bloco cerâmico com furos na vertical apresentou desempenho superior no quesito ensaio de corpo mole.

4.2.7.3. Ensaio de corpo duro

O ensaio de corpo duro foi realizado pelo laboratório de materiais de construção civil da Universidade Federal de Santa Maria Parede, onde foi analisada uma alvenaria com bloco cerâmico de vedação 14x19x29 – 7 MPa, com dimensão total de 4,12 x 3,20 metros, assentadas com argamassa de assentamento estrutural 4 MPa e com peso aproximado de 181 Kg/m². A parede totalizando 17,5 cm de espessura foi ensaiada com revestimento externo de reboco grosso com 2,5 cm e com revestimento interno de reboco médio com espessura de 1 cm. Os resultados dos ensaios de impacto de corpo duro com 10 repetições para 20J (esfera de 1 Kg) e de 3,75 J (esfera de 0,5 Kg), apresentaram ocorrência apenas de mossas com profundidades não maiores do que 2,0 mm.

De acordo com o ensaio, o bloco cerâmico com furos na vertical apresentou desempenho superior no quesito ensaio de corpo duro.

4.2.7.4. Segurança contra incêndio

O ensaio de segurança contra incêndio foi realizado no instituto tecnológico (ITT Performance) da UNISINOS, analisando um sistema vertical de vedação externa (SVVE), composto pelos mesmos blocos cerâmicos estruturais encontrados na obra visitada, apresentando 14x19x29 cm de tamanho e 7 MPa de resistência à compressão, os blocos foram assentados com argamassa de assentamento industrializada de granulometria média apresentando 1cm de espessura, revestida com chapisco (traço 1:3) e reboco de 1,5 cm de espessura, em ambos os lados. O peso aproximado da parede foi de 181 Kg/m². Para a avaliação deste sistema a alvenaria não recebeu aberturas, totalizando sua dimensão em 3150x3000 mm, sendo a superfície exposta diretamente ao fogo de 2500x2500 mm. Para este

ensaio, o carregamento utilizado foi de 24 Tf, uma vez que se avaliou uma parede com função estrutural. Durante o período decorrido do ensaio, a amostra apresentou temperatura média abaixo de 140°C e temperatura máxima dos termopares inferior a 180°C. A respeito da estanqueidade da amostra, realizou-se o teste do chumaço de algodão sobre as fissuras da amostra, o qual não inflamou. Durante os 240 minutos decorridos do ensaio, houve um deslocamento transversal de 19 mm, com a amostra apresentando comportamento estável. (SILVA, 2015)

Desta forma pode-se concluir que o corpo de prova se enquadra como corta-fogo, com o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) de 240 minutos, atendendo as exigências de estabilidade, isolamento térmico e estanqueidade.

4.2.7.5. Análise da estanqueidade à água da chuva

O ensaio de estanqueidade à água foi realizado pelo instituto tecnológico (ITT Performance) da UNISINOS. Uma alvenaria realizada com blocos cerâmicos estruturais com Fbk de 7 MPa de simulando uma alvenaria externa. Os blocos foram assentados com argamassa de assentamento industrializada, recebendo chapisco e reboco de 2,5 cm de espessura além de quatro demãos de tinta em uma das faces, sendo executadas da seguinte forma:

- Na primeira demão foi aplicado com rolo de lã um selador acrílico pigmentado sem diluição.
- Na segunda demão foi aplicada com rolo de espuma para textura prolongada uma tinta acrílica quartzo textura hidro-repelente sem diluição.
- A terceira demão foi aplicada com rolo de lã uma tinta acrílica pintura fosca diluída com 10% de água.
- Na quarta demão foi aplicada uma tinta acrílica pintura fosca diluída com 10% de água, também aplicada com rolo de lã.

A amostra ensaiada obteve desempenho superior, apresentando comportamento satisfatório mediante a incidência de água e pressão de ar, sem apresentar nenhuma mancha de umidade ou falhas no sistema de vedação. (SILVA, 2015)

4.2.7.6. Desempenho térmico

O ensaio de desempenho térmico foi realizado pelo laboratório de tecnologia construtiva (LABTEC) da Universidade de Caxias do Sul, analisando blocos cerâmicos de vedação 14x19x29 com Fbk de 7 MPa, revestidos com diferentes materiais. Os resultados são indicados na tabela 19. (SILVA, 2015)

Tabela 19 – Desempenho térmico dos blocos cerâmicos

	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA (U) W/m².K	CAPACIDADE TÉRMICA (CT) kJ/m².K
Parede com junta de 1 cm de argamassa e revestimento de 2,5 cm (5 mm de chapisco + 2 cm reboco) em uma das faces e 1 cm na outra face.	2,1	156
Parede com junta de 1 cm de argamassa e revestimento de 2,5 cm (5 mm de chapisco + 2 cm reboco) em uma das faces e 2 cm na outra face.	2,1	176
Parede com junta de 1cm de argamassa, revestimento externo de 2,5cm (5mm de chapisco + 2cm de reboco) e revestimento interno de argamassa de gesso 1cm.	2,1	147

Fonte: Silva, 2015

De acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013), na pior hipótese referida pela norma, no caso as zonas 1 e 2, a transmitância térmica (U) deve ser inferior a 2,5. Já a capacidade térmica (CT) deve ser superior a 130. No caso do bloco estudado, sua transmitância térmica e capacidade térmica se encontram com desempenho acima do exigido em qualquer um dos revestimentos testados.

4.2.7.7. Desempenho acústico

O desempenho acústico foi analisado pelo laboratório de acústica da Universidade Federal de Santa Maria, utilizando o bloco cerâmico de vedação 14x19x29, tendo Fbk de 7 MPa, foi construída uma alvenaria com dimensões de 4,12x3,20 metros na abertura interna de uma câmara reverberante. A alvenaria foi assentada com argamassa de assentamento estrutural 4 MPa e com peso aproximado de 181 Kg/m². A parede foi ensaiada com revestimento externo de reboco grosso com 2,5 cm e com revestimento interno de reboco médio com espessura de 1 cm. A espessura total da parede foi de 17,5 cm. Conforme o resultado do ensaio, a alvenaria alcançou uma redução sonora de 41 dB.

Este mesmo bloco foi ensaiado pelo instituto tecnológico (ITT Performance) da UNISINOS com uma alvenaria de 4,2x3,5 metros e revestimento de 3 cm (chapisco + reboco) em ambas as faces, totalizando uma espessura de 20 cm. Conforme o resultado do ensaio, a alvenaria alcançou uma redução sonora de 45 dB.

Neste quesito o sistema não obteve desempenho suficiente para atender a norma de desempenho em algumas situações, como no caso de divisão entre duas unidades habitacionais (parede de geminação) onde pelo menos um dos ambientes seja dormitório. A tabela com as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) em relação ao desempenho acústico se encontra no ANEXO B.

A favor do bloco cerâmico racional, seus vazados podem ser preenchidos com materiais que apresentam bom isolamento acústico, criando assim uma boa alternativa para alvenarias em ambientes que necessitam maior redução sonora. De outra forma, podem ser empregados em paredes específicas, blocos estruturais com outra densidade que apresentam a mesma modulação e desempenho acústico superior. Assim como a alvenaria de BCCA este sistema de vedação também pode receber como alternativa a adição de revestimentos externos específicos para esta finalidade.

4.3 Custo

Em algumas obras visitadas foi comentado o descontentamento com o valor dos blocos de concreto celular autoclavado. Partindo disto foi realizada uma comparação entre o valor dos blocos, utilizando valores presentes na tabela do SINAPI de março de 2016. Este comparativo pode ser observado na tabela 20 onde foi calculado o custo em blocos para 1 m².

Tabela 20 - Comparativo de custo

Bloco	Custo unitário R\$/m²	Blocos por m²	Custo total R\$/m²
BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO 15 x 30 x 60	12,33	5,56	68,50
BLOCOS CERÂMICOS COM FUROS NA VERTICAL 14 x 19 x 29 - 7 MPa	1,37	16,67	22,83

Fonte: SINAPI, março 2016

Para saber o custo de execução do sistema de vedação, deve ser levado em consideração que os blocos de concreto celular autoclavado utilizam argamassa colante, material com custo mais elevado que a argamassa convencional utilizada nos blocos cerâmicos. Também deve ser analisado o rendimento de execução que neste estudo teve um valor favorável à utilização dos blocos cerâmicos.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÃO

Os dois blocos estudados neste trabalho apresentam inúmeras diferenças entre si, desde sua composição, suas características e até o modo como é executada a alvenaria.

Em relação a execução das alvenarias, o sistema de vedação com blocos cerâmicos racionais leva vantagem no comparativo. Com o rendimento de assentamento maior e a presença do projeto de paginação, ele reduz a necessidade de improvisos durante a execução. Os furos verticais nos blocos cerâmicos além de poderem ser utilizados para passagem de instalações podem ser utilizados para buscar uma melhor eficiência de desempenho, seja térmico, acústico ou de resistência. A gama de produtos ofertados pelo mercado de blocos cerâmicos também contribui para a execução da alvenaria de forma mais racional que os blocos de concreto celular autoclavado.

Os blocos de concreto celular autoclavado são mais leves que os blocos cerâmicos, desta forma é possível reduzir custos na estrutura da edificação, por outro lado o preço em que o bloco é encontrado no mercado é bastante superior em relação ao bloco cerâmico.

No quesito desempenho os blocos as conclusões tiradas são as seguintes:

A resistência a peças suspensas do sistema de blocos de concreto celular não atinge o valor mínimo exigido pela NBR 15575-4:2013. O sistema com blocos cerâmicos atingiu desempenho superior no mesmo quesito.

Nos ensaios de corpo mole e corpo duro, ambos os sistemas atingiram desempenho superior. O mesmo foi verificado na análise de estanqueidade à água da chuva.

No ensaio de segurança contra incêndio, os dois sistemas tiveram bons resultados. A alvenaria de BCCA suportou 360 minutos permanecendo estável, já a alvenaria com blocos cerâmicos suportou 240 minutos. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) exige que a alvenaria suporte 120 minutos estável para ser considerada corta fogo.

O desempenho térmico de ambos os sistemas obteve bons resultados, a parede com BCCA obteve um valor melhor que a parede de blocos cerâmicos e

muito a frente das exigências da NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

A maior dificuldade para atendimento das normas é desempenho acústico. Nenhum dos dois elementos apresentou desempenho suficiente para atingir o quesito mínimo da NBR 15575-4 (ABNT, 2013) para os casos mais rigorosos como por exemplo, paredes de geminação onde pelo menos um dos ambientes seja dormitório. Para os demais elementos presentes na norma no quesito desempenho acústico, ambos os blocos podem encontrar dificuldades para atingir os valores necessários, principalmente se tratando do sistema com BCCA que apresenta um desempenho acústico inferior ao sistema com blocos cerâmicos.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

As sugestões para trabalhos futuros sobre os sistemas de vedação vertical estudados são:

- Análise de materiais complementares à alvenaria visando ampliar o desempenho acústico.
- Ensaio de peças suspensas em alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado diferentes dispositivos de fixação.
- Análise do comportamento dos blocos de concreto celular autoclavado perante a presença de umidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10636:Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 13438:Blocos de concreto celular autoclavado – Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 13440:Blocos de concreto celular autoclavado – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14956-1:Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural. Parte 1: Procedimento com argamassa colante industrializada. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 14956-2:Blocos de concreto celular autoclavado – Execução de alvenaria sem função estrutural. Parte 2: Procedimento com argamassa convencional. Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. NBR 15270:Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15270:Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15812-2: Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos. Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

AZEREDO, Hélio Alves de. O edifício até sua cobertura. 2ª ed. [S.L]: Edgard Blucher, 1997.

BARROS, M. M. S. B. O processo de produção das alvenarias racionalizadas. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1º.: 1998: São Paulo) Anais; ed. Por F.H. Sabbatini, M.M.S.B. de Barros, J.S. Medeiros, São Paulo, EPUSP/PCC, 1998.

CAMACHO, Jefferson Sidney. Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural. Universidade Estadual Paulista, Ilha solteira SP, 2006. Disponível em: <<http://www.nepae.feis.unesp.br/Apostilas/Projeto%20de%20edificios%20de%20alvenaria%20estrutural.pdf>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

CÂMARA, Cássio Freire. Estudos e Propriedades Mecânicas de um novo tipo de Bloco Cerâmico “HÍBRIDO” PARA Edificações em Alvenarias Estruturais.

Dissertação (Mestrado Ciência e Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2012.

COSTA, M.R.M.M.; FRANCO, L.S. Método Construtivo de Alvenaria de Vedação de Blocos de Concreto Celular Autoclavado. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, SP, 1996.

DÉSIR, Jean Marie. Alvenaria Estrutural. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, RS 2012. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/alvenaria-estrutural/index.php>. Acesso em: 06 out. 2015.

DUARTE, R.B. Recomendações para o Projeto e Execução de Edifícios de Alvenaria Estrutural. Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Porto Alegre, RS, 1999.

FERRAZ, Fabiana de Carvalho. Comparação dos sistemas de alvenaria de vedação: Bloco de concreto celular autoclavado x Bloco cerâmico. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas. Belo Horizonte, MG, 2011.

GALASSI, C.; TAVARES, Dra. C.R.G. Processo produtivo de blocos cerâmicos. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, PR, 2010. Disponível em: www.dep.uem.br/simepro/anais/index.php/simepro/6_simepro/paper/download/9/10+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em: 1 nov. 2015.

GERMANO, Juan Carlos. Recomendações Pauluzzi. 2011.

GUGLIELMI, Paula de Oliveira. Investigação da porosidade e resistência mecânica de um concreto celular argiloso curado em autoclave. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2007.

LORDSLEEM JÚNIOR, Alberto Casado. Execução e Inspeção de Alvenaria Racionalizada. 3ª ed. [S.L]: Nome da Rosa, 2001.

MARTINS, José Carlos. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara brasileira de Indústria da Construção. Brasília, DF, 2013.

MOTA, Jacqueline Ávila Ribeiro. Influência da junta vertical na resistência à compressão de prismas em alvenaria estrutural de blocos de concreto e blocos de concreto celular autoclavado. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estrutura da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2001.

OLIVEIRA, Dayana Ruth Bola. Estudo comparativo de alternativas para vedações internas de edificações. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2013.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M.M. Alvenaria Estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle. São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Matheus de Luna. Ganhos na construção com adoção da alvenaria com blocos cerâmicos modulares. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2013.

SALA, Halysson Bobic. Controle de qualidade geométrica de execução de alvenaria de vedação racionalizada em bloco cerâmico – Estudo de caso com implementação de procedimentos de controle e avaliação de tolerâncias. Monografia (Especialista - MBA em tecnologia e gestão da Produção de Edifícios) – Escola Politécnica da USP, São Paulo, SP, 2008.

SILVA, Lindoaldo Deodato da. Técnicas e procedimentos para assentamento de alvenaria de vedação e estrutural. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2007.

SILVA, Maria Angélica Covelo. Desempenho: sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos Pauluzzi. 2015

SILVA, Reginaldo carneiro da. Alvenaria Racionalizada. PINI, São Paulo, SP, 2006. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/112/artigo285542-4.aspx>. Acesso em: 26 mai. 2016. 2006)

THOMAZ, Ercio. Código de práticas nº1: alvenaria de vedação em blocos cerâmicos. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.

VARISCO, Marcelo Queiroz. Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa. Programa de Pós-Graduação em desenvolvimento de tecnologia. Instituto de Engenharia do Paraná. Curitiba, PR, 2014.

ANEXO A – QUESTIONÁRIO PARA SER APLICADO EM OBRA

DADOS DA EMPRESA	
Nome da construtora:	
Endereço:	
Cidade:	Estado:
Telefone:	
Nome do engenheiro responsável pela execução da obra:	
Quantidade de obras com o sistema construtivo:	
Número de pavimentos:	
Quantidade total de funcionários na obra:	
Tempo total previsto para construção da obra:	
Quantidade de prédios do empreendimento:	
INFORMAÇÕES DA OBRA	
FUNDAÇÃO	
Tipo de fundação:	
Profundidade da fundação:	
Dimensões da fundação:	
ALVENARIA	
Bloco utilizado:	
Espessura das paredes internas e externas:	
Dimensões dos blocos:	
Peso do bloco:	
Modo de transporte dos blocos:	
Rendimento do pedreiro (m ² /dia):	
Espessura da argamassa de assentamento:	
Utilização de misturador para argamassa:	
Consumo de argamassa de assentamento por m ² :	
Preenchimento das juntas verticais e horizontais:	
Utilização e espessura de emboço, chapisco e reboco:	
Utilização de blocos especiais:	
Presença de junta de dilatação:	
Utilização de ferramentas especiais:	
Modo de revisão para controle de qualidade:	
Espessura da argamassa de revestimento:	
Projeto de fiada:	
Ensaio realizados:	
Quantidade de funcionários na execução da alvenaria:	

ANEXO B – DESEMPENHO ACÚSTICO DAS HABITAÇÕES

ELEMENTO	DnT,w [dB]	NÍVEL DE DESEMPENHO
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home theater, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades).	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Ensaios realizados in loco tem redução de 5 dB no desempenho acústico		

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013)