



ORGANIZADOR
GIHAD MOHAMAD

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Materiais, projeto e desempenho

2ª edição ampliada e revisada conforme a NBR 16868/2020



Blucher

GIHAD MOHAMAD
Organizador

CONSTRUÇÕES EM
ALVENARIA ESTRUTURAL

Materiais, projeto e desempenho

2ª edição ampliada e revisada
conforme a NBR 16868/2020

Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho, 2. ed.

© 2020 Gihad Mohamad (organizador)

1ª edição – 2015

Editora Edgard Blücher Ltda.

Imagens de capa: iStockphoto.com

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar

04531-934 – São Paulo – SP – Brasil

Tel.: 55 11 3078-5366

contato@blucher.com.br

www.blucher.com.br

Segundo o Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

É proibida a reprodução total ou parcial por quaisquer
meios sem autorização escrita da editora.

Todos os direitos reservados pela Editora
Edgard Blücher Ltda.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Alvenaria estrutural : materiais, projeto e
desempenho / organizado por Gihad Mohamad.
– 2. ed. – São Paulo : Blucher, 2020.

422 p. : il., color.

Vários autores

Bibliografia

ISBN 978-85-212-1459-5 (impresso)

ISBN 978-85-212-1460-1 (e-book)

1. Engenharia de estruturas 2. Alvenaria
I. Mohamad, Gihad.

19-0499

CDD 624.1

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia de estruturas

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO À ALVENARIA ESTRUTURAL	13
1.1 Histórico	13
1.2 O emprego da alvenaria estrutural no Brasil	18
1.3 Comparativo do desempenho térmico e acústico em alvenaria estrutural	19
Referências	51
2. PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL – DEFINIÇÕES E CARACTERÍSTICAS	53
2.1 Considerações iniciais	53
2.2 Projeto arquitetônico	54
2.3 Distribuição e arranjos das paredes estruturais no projeto arquitetônico	55
2.4 Definições de projeto e detalhamentos	62
2.5 Compatibilização de projetos	89
2.6 Execução e controle de obras em alvenaria estrutural	100
2.7 Estudo de caso	105
Referências	109

3. MATERIAIS E COMPONENTES PARA ALVENARIA ESTRUTURAL	111
3.1 Considerações iniciais	111
3.2 Normas técnicas para alvenaria estrutural	113
3.3 Propriedades da alvenaria estrutural e de seus componentes	119
3.4 Especificações normativas de classificação das unidades	121
3.5 Argamassas de assentamento para alvenaria estrutural	134
3.6 Grautes para alvenaria estrutural	143
3.7 Ruptura da alvenaria à compressão	146
3.8 Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho da alvenaria estrutural	160
3.9 Conclusão	161
Referências	162
4. JUNTAS DE MOVIMENTAÇÃO NA ALVENARIA ESTRUTURAL	165
4.1 Introdução	165
4.2 Junta de dilatação	166
4.3 Definição de juntas de controle	168
4.4 Condições de estabilidade estrutural e isolamento	168
4.5 Características físicas dos materiais (concreto e cerâmico)	170
4.6 Recomendações normativas	172
4.7 Critérios de projeto	174
Referências	182
5. DIMENSIONAMENTO DE PAREDES À COMPRESSÃO E AO CISALHAMENTO	183
5.1 Introdução	183
5.2 Critérios de segurança nas estruturas	183
5.3 Ações e resistência na alvenaria estrutural de acordo com a ABNT NBR 16868-1:2020	186
5.4 Ações e resistência de acordo com a BS 5628-1:1992	203
5.5 Ações e resistência de acordo com o Eurocode 6:2005 (ECS EN 1996-1-1:2005)	209

5.6	Dimensionamento da alvenaria	213
5.7	Proposição para a estimativa da resistência da argamassa da alvenaria	285
	Referências	289
6.	PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	293
6.1	Introdução	293
6.2	Patologias frequentes em alvenaria estrutural	295
6.3	Intervenções em elementos de alvenaria estrutural	300
6.4	Técnicas convencionais	301
6.5	Polímeros reforçados com fibras (PRF)	304
	Referências	320
7.	DANOS ACIDENTAIS E COLAPSO PROGRESSIVO EM ESTRUTURAS DE ALVENARIA ESTRUTURAL	323
7.1	Introdução	323
7.2	Risco de dano acidental	324
7.3	Ações excepcionais em estruturas	326
7.4	Consideração de situações acidentais em projeto	327
7.5	Aspectos normativos sobre danos acidentais e colapso progressivo em alvenaria estrutural	335
7.6	Comentários finais	352
	Referências	352
8.	SEGURANÇA CONTRA O FOGO EM EDIFICAÇÕES DE ALVENARIA ESTRUTURAL	355
8.1	Considerações iniciais	355
8.2	Códigos normativos para avaliar os efeitos de incêndios em edificações	366
	Referências	397

9. PRINCÍPIOS DE SUSTENTABILIDADE NA ALVENARIA ESTRUTURAL	401
9.1 Introdução	401
9.2 Aspectos técnicos da sustentabilidade nas edificações	407
9.3 Alvenaria estrutural com tijolos ecológicos de solo-cimento	410
9.4 Estudo da “Casa Popular Eficiente” com tijolos de solo-cimento	414
Agradecimentos	420
Referências	420

CAPÍTULO 1

Introdução à alvenaria estrutural

Gihad Mohamad

Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos

Jorge Luiz Pizzutti dos Santos

Alessandra Haas

Kamila Kappaun Kothe

1.1 HISTÓRICO

As principais construções que marcaram a humanidade graças a seus aspectos estruturais e arquitetônicos eram compostas por unidades de blocos de pedra ou cerâmicos intertravados com ou sem material ligante, o que pode ser visto em construções como as pirâmides do Egito, o Coliseu Romano, na Itália, e a catedral de Notre Dame, na França. Esses são alguns exemplos de edificações que se destacam em relação ao tipo de material, à forma tipológica da construção e à segurança estrutural. A presença de unidades de pedra ou cerâmicos tornava o sistema estrutural mais limitado quanto ao vão, e a tipologia em arco permitia atender as necessidades construtivas sem que surgissem tensões de tração que levassem o material à ruptura (Figura 1.1). O princípio da transmissão de esforços segue a lógica do formato do ovo ou da corda suspensa, que, quando submetidos a cargas verticais, conseguem distribuir as tensões, minimizando as trações responsáveis pela ruptura frágil da estrutura.

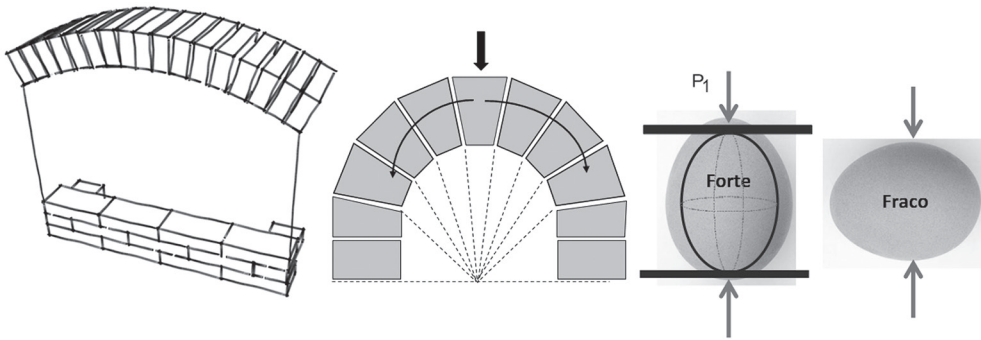


Figura 1.1 Disposição das tensões no formato do arco.

A alvenaria estrutural existe há milhares de anos. No princípio, utilizava o conhecimento empírico, ou seja, baseado na experiência de seus construtores, que foi passado de geração em geração até, aproximadamente, o início do século XX. Basicamente, o que garantia a rigidez e a estabilidade estrutural era o formato da edificação. Essas obras magníficas, existentes até hoje em excelente estado de conservação, comprovam o potencial, a qualidade e a durabilidade desse sistema construtivo. A arquitetura dessas épocas era uma combinação de efeitos, que faziam com que as estruturas funcionassem basicamente à compressão, absorvendo os esforços horizontais em razão do vento por meio dos contrafortes externos de grande espessura de parede e arcobotantes, formando um pórtico resistente às tensões de tração, como mostra a Figura 1.2.

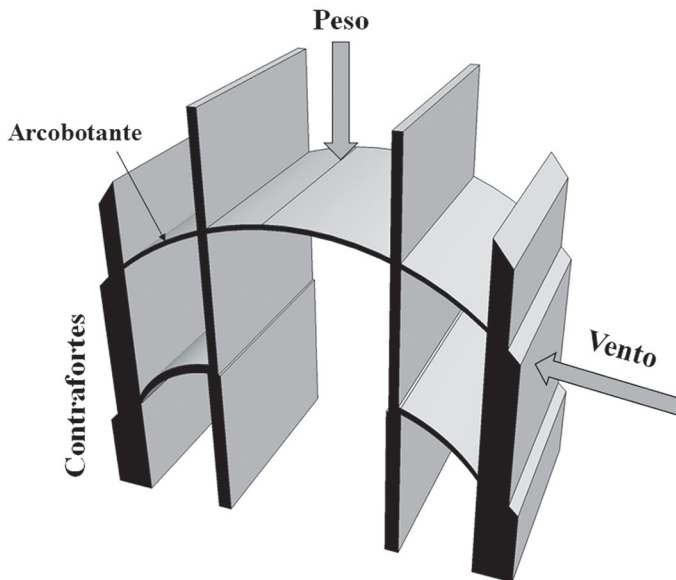


Figura 1.2 Transmissão dos esforços horizontais nas estruturas nas alvenarias em pedra.

Nas edificações antigas em alvenaria construídas em pedra, a preocupação com a modulação dos blocos irregulares já estava presente nas obras, com a disposição de unidades amarradas entre as diferentes fiadas (Figura 1.3). Em muitas obras, mesmo não havendo material ligante entre as pedras, os pesos destas garantiam a estabilidade para as ações verticais e horizontais. Verificava-se nas construções uma integração entre os materiais empregados com a tipologia e a técnica construtiva para a sua execução.



Figura 1.3 Amarrações nas diferentes fiadas nas alvenarias em pedra.

Um exemplo marcante construído entre os anos de 1889 e 1891 foi o Monadnock Building, em Chicago, nos Estados Unidos, construção em alvenaria de dezesseis pavimentos e 65 m de altura, com paredes cuja espessura, de 1,80 m no pavimento térreo, diminui nos pavimentos superiores (Figura 1.4). Esse tipo de construção era caracterizado pela dificuldade de racionalização do processo executivo e pelas limitações de organização espacial, tornando o sistema lento em termos de produção e de custo elevado. Em consequência, a alvenaria estrutural foi um dos métodos construtivos mais empregados apenas entre a Antiguidade e o período da Revolução Industrial. O aparecimento do aço e do concreto tornou as obras mais versáteis em termos de produção, esbeltez e, principalmente, obtenção de grandes vãos, garantindo a chamada busca pela liberdade arquitetônica dos grandes espaços.

A chamada “moderna alvenaria estrutural” teve início com os estudos realizados pelo professor Paul Haller, na Suíça, o qual conduziu uma série de testes em paredes de alvenaria em razão da escassez de concreto e aço causada pela Segunda Guerra Mundial. Durante sua carreira, foram testadas mais de 1.600 paredes de tijolos maciços. Os dados experimentais serviram como base para o projeto de um prédio de dezoito pavimentos, com espessuras de parede que variavam entre 30 e 38 cm. Essas paredes, com espessura muito reduzida para a época, causaram uma revolução no processo construtivo existente. A partir desses estudos, teve início a intensificação e a

disseminação do uso da alvenaria estrutural como sistema construtivo, mediante amplos resultados experimentais que proporcionaram a criação de teorias e critérios de projeto aliados ao intenso progresso na fabricação de materiais e componentes apropriados para a execução dessas edificações. Somente na década de 1950 as normalizações forneceram os critérios básicos para o projeto de elementos de parede à compressão. Entretanto, essas normalizações possuíam procedimentos analíticos e teóricos rudimentares quando comparadas às normalizações de aço e concreto. Os problemas principais consistiam, basicamente, no caráter frágil do material à compressão, sendo amenizado, posteriormente, com o surgimento da teoria de colunas. Os códigos dessa época eram limitados pela dificuldade em determinar as condições de excentricidade da parede, considerando as extremidades dos elementos por meio da interação parede-laje. Esse fator é fundamental para analisar a ação do vento e dos sismos na construção. Com isso, a apropriação de bases teóricas e experimentais criou métodos analíticos que proporcionaram uma melhor compreensão do comportamento das alvenarias sob compressão, tração e cisalhamento. Isso reforçou os procedimentos, ainda empíricos, utilizados nos códigos de construção. Posteriormente, durante as décadas de 1960 e 1970, em razão de problemas de colapsos progressivos verificados em construções desse período, foi desenvolvida uma série de estudos concentrados na avaliação dos efeitos de carga lateral nos painéis de alvenaria, do efeito de explosão de gás e de impactos acidentais de veículos sobre os elementos estruturais.



Figura 1.4 Monadnock Building, construído entre 1889 e 1891 em Chicago, nos Estados Unidos.

Os avanços nas pesquisas possibilitaram a realização, na década de 1960, de testes em escala real de prédios em alvenaria de cinco andares em tijolos maciços, desenvolvidos pela Universidade de Edimburgo sob a responsabilidade dos professores A. W.

Hendry e B. P. Sinha. As pesquisas consistiam em um estudo sistemático dos perigos de explosão de gás e outros acidentes que pudessem levar à retirada abrupta de um elemento estrutural (HENDRY, 1981). Os resultados dos experimentos foram utilizados como base comparativa para a avaliação de novos projetos, a fim de efetivar a avaliação das precauções estruturais para danos acidentais e, principalmente, da resposta da construção em caso de perda instantânea de um elemento estrutural. Os estudos representaram um importante avanço no conhecimento e no desenvolvimento de testes experimentais em alvenarias estruturais em tijolos maciços.

Na América do Sul, uma construção que se destacou em termos de domínio da técnica construtiva e da forma foi realizada na década de 1950 pelo engenheiro uruguaio Eladio Dieste, cujas obras marcantes utilizavam cascas armadas, construídas com o sistema em alvenaria estrutural em cerâmica, como pode ser visto na Figura 1.5 na obra da Iglesia del Cristo Obrero em Atlântida (1955-1960). As construções em cascas em alvenaria estrutural de cerâmica armada eram compostas por tijolos cerâmicos, juntas de argamassa armada entre as lajotas cerâmicas e uma camada superior de argamassa armada. Essa tipologia segue o comportamento de uma membrana fina, na forma de uma catenária, semelhante às que seriam geradas por uma corda suspensa pelas suas extremidades. O modelo estrutural da igreja de Atlântida assemelha-se a um pórtico de alvenaria em que os vértices entre a parede e a casca formam um engastamento em virtude do aumento da área de apoio provocado pelas ondulações da parede na parte superior, diminuindo, assim, o momento fletor no meio do vão entre as paredes estruturais da igreja, como mostra a Figura 1.5.

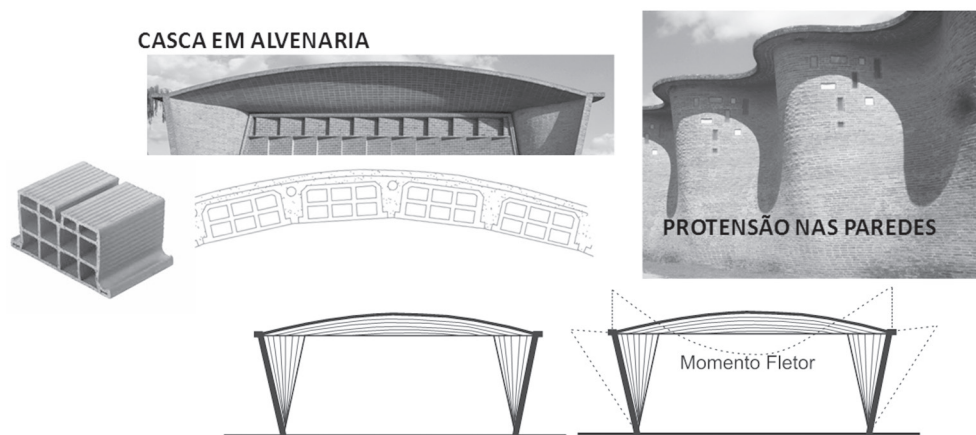


Figura 1.5 Iglesia del Cristo Obrero em Atlântida, no Uruguai, construída entre 1955 e 1960.

Na construção civil, a evolução do conhecimento técnico-científico sobre o comportamento global das construções e do elemento parede proporcionou um progresso efetivo na fabricação dos materiais, do comportamento da interação entre os componentes e equipamentos para a sua execução, surgindo unidades que tornam a alvenaria estrutural eficiente em termos de rapidez de produção e capacidade de suporte a cargas.

1.2 O EMPREGO DA ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

No Brasil, alvenaria surgiu como uma técnica de construção apenas no final da década de 1960, pois, anteriormente, poderia ser considerada como uma “alvenaria resistente”, ou seja, fruto apenas de conhecimento empírico, como consequência da inexistência de regulamentos que fixassem critérios de dimensionamento e segurança dos elementos estruturais, de forma a relacionar as diferentes tensões atuantes à resistência do elemento. Camacho (1986) observa que, no princípio da alvenaria estrutural, as construções antecederam as pesquisas na área e estavam concentradas em algumas regiões, como São Paulo (na década de 1970) e em Porto Alegre (em 1984-1985). Nesses períodos, eram comuns edificações de até quatro pavimentos com critérios de dimensionamento e de execução baseados na experiência dos projetistas e dos construtores. Comumente, as paredes dessas edificações eram constituídas por unidades cerâmicas maciças (tijolos) nos três primeiros pavimentos, sendo que no último eram usadas unidades vazadas, com furos na direção do assentamento da parede.

O ano de 1966 foi o marco inicial do emprego do bloco de concreto em alvenarias estruturais armadas no Brasil, com a construção do conjunto habitacional Central Park Lapa, em São Paulo (SP). Essa obra foi realizada com paredes com espessura de 19 cm e quatro pavimentos. Em 1972 foram construídos, no mesmo conjunto habitacional, quatro prédios de doze pavimentos cada, em alvenaria armada. Em 1970, em São José dos Campos (SP), foi construído o edifício Muriti, com dezesseis pavimentos, em alvenaria armada de blocos de concreto. O edifício pioneiro em alvenaria não armada, no Brasil, foi o Jardim Prudência, construído na cidade de São Paulo em 1977, edificação de nove pavimentos em blocos de concreto de sílico-calcário com paredes de 24 cm de espessura. Também em São Paulo, na década de 1990, foi construído o edifício residencial Solar dos Alcântaras. Atualmente, essa edificação é a maior do Brasil em alvenaria estrutural armada de 21 pavimentos, com paredes de blocos de concreto com 14 cm de espessura do primeiro ao último andar.

Os blocos cerâmicos e de concreto nas obras em alvenarias estruturais não armadas ou armadas começam a ser usados somente na década de 1980, com a introdução no mercado da construção de unidades com dimensões modulares e furos na vertical que proporcionassem a passagem de instalações elétricas sem os rasgos comumente feitos em obras.

As constantes dificuldades, em razão do aumento gradual da concorrência e dos níveis de exigência construtiva, têm provocado, nas empresas construtoras, uma mudança de estratégia a fim de possibilitar a introdução de melhorias na produção, empregando alternativas que levem à racionalização do processo. As principais perguntas das empresas construtoras em geral são: como garantir a habitabilidade e o desempenho do ambiente construído? Como ganhar dinheiro vendendo uma casa ou apartamento de 150 mil reais? Essas duas perguntas são fundamentais para entender o atual cenário brasileiro, em face do aumento do crédito para as construções de habitações de interesse social no âmbito do programa Minha Casa Minha Vida. Por isso, a alvenaria estrutural está sendo largamente utilizada como sistema construtivo capaz de

responder a essas perguntas, pois é capaz de atender aos critérios globais de desempenho e, ao mesmo tempo, de custo.

A alvenaria estrutural possui diversas vantagens, sendo a econômica uma das principais, em virtude da otimização de tarefas em obra por meio de técnicas executivas simplificadas, facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando redução no desperdício de materiais em decorrência do constante retrabalho. Como consequência, o sistema construtivo em alvenaria estrutural é capaz de proporcionar flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso torna o sistema em alvenaria competitivo no Brasil quando comparado com o concreto armado e o aço.

1.3 COMPARATIVO DO DESEMPENHO TÉRMICO E ACÚSTICO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

1.3.1 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Conhecer o desempenho térmico dos fechamentos das edificações permite aos projetistas estabelecer estratégias para que os edifícios possam responder de maneira eficiente às variações climáticas, fornecendo as condições necessárias para o conforto do usuário, minimizando o uso de equipamentos de climatização e o consumo de energia. Esse cuidado deve ser ainda maior para as habitações de interesse social, em que as áreas construídas dos apartamentos e pés-direitos são menores que os padrões normalmente encontrados e os recursos para climatização artificial são reduzidos. A fim de demonstrar o desempenho térmico de edificações em alvenaria estrutural, apresentamos os resultados obtidos em um estudo de caso de habitações construídas em alvenaria de blocos de concreto e cerâmico, desenvolvido pelo grupo de pesquisa Habitabilidade e Eficiência Energética de Edificações, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sob a orientação do prof. Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos. Kappaun (2012) analisou, durante os períodos de inverno e verão, o comportamento térmico de edificações de um conjunto habitacional construído em alvenaria estrutural com o uso de diferentes tipos de blocos, a fim de avaliar a influência do tipo de bloco de fechamento nas variações térmicas internas das unidades habitacionais. Foram analisadas duas edificações construídas lado a lado no mesmo condomínio habitacional, na cidade de São Leopoldo (RS), zona bioclimática 2 brasileira, com a mesma distribuição em planta e orientação solar, sendo uma edificação construída em alvenaria estrutural com blocos de concreto e a outra edificação em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. A Figura 1.6 apresenta os dois tipos de edifícios executados lado a lado, enquanto a Figura 1.7 mostra a planta baixa dos edifícios, na qual está assinalado o posicionamento dos registradores de temperatura utilizados (tipo HOB0, modelo H08-003-02) e a área de cada ambiente.

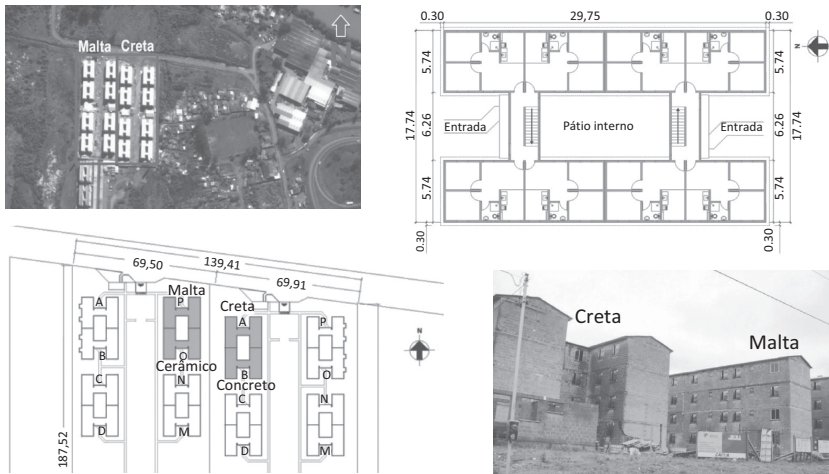


Figura 1.6 Disposição das edificações em alvenaria de blocos de concreto e cerâmico.

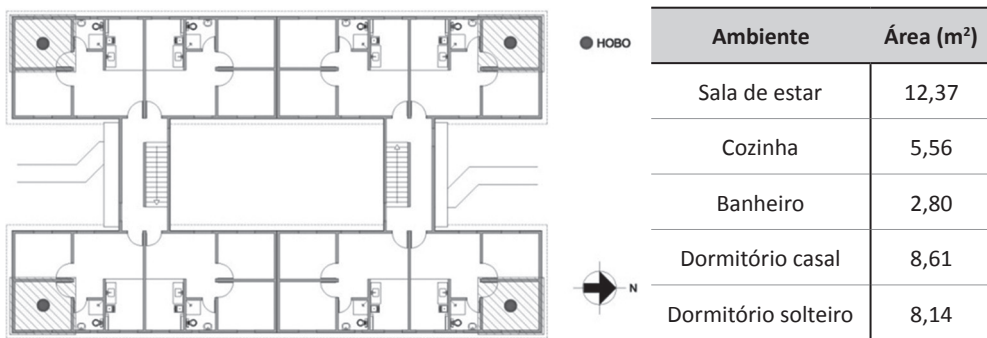


Figura 1.7 Posição das medições e áreas de cada apartamento.

As paredes internas e externas das edificações foram executadas com blocos estruturais de concreto e cerâmica, com espessura de 14 cm, conforme a Figura 1.8, possuindo acabamento interno e externo de argamassa de revestimento de dois 2 cm, o que faz com que a espessura total da parede seja de 18 cm. A pintura externa tem cor bege-clara em ambos os edifícios.

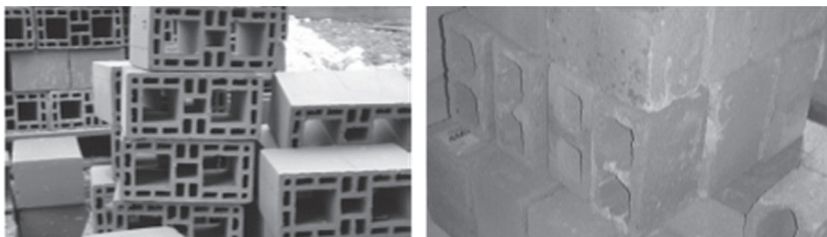


Figura 1.8 Formato dos blocos cerâmicos e de concreto empregados nas edificações.

A cobertura da edificação é em telha de fibrocimento, com laje de entrepiso do tipo pré-moldado de concreto com espessura de 10 cm, com beiral em todo o perímetro de 30 cm. Na cobertura existem aberturas de ventilação isoladas na cumeeira e elementos vazados com furos na horizontal nas faces laterais (oitões) da alvenaria, que em conjunto permitem a troca de ar no espaço entre a laje de cobertura e a telha de fibrocimento, como destaca a Figura 1.9.



Figura 1.9 Posições dos dutos das aberturas horizontais e dos dutos verticais de ventilação da cobertura.

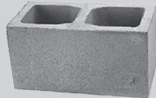

As janelas são de alumínio, com duas folhas de correr, sendo as dimensões nos dormitórios, salas e cozinhas de 1,00 × 2,00 m, com vidro liso incolor de 3 mm, com área efetiva de ventilação de 50% do vão. Os blocos estruturais de concreto, cerâmico e argamassa empregados nas edificações apresentam as características listadas na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Características dos materiais analisados no estudo

	Bloco concreto	Bloco cerâmico	Argamassa
Dimensões (cm)	14 × 19 × 29	14 × 19 × 29	–
Resistência à compressão	≥ 4,0 MPa	7,0 MPa	–
Peso (g)	9.915	6.039	–
Área bruta (cm ²)	409,88	406	–
Densidade (kg/m ³)	2.400	1.957	–
Condutividade térmica – λ (W/m.K)	1,75	1,05	1,15
Calor específico – c (kJ/(kg.K))	1,00	0,92	1,00

A partir dos valores da Tabela 1.1 foram realizados, por meio dos procedimentos definidos pela norma ABNT NBR 15220-2:2005, os cálculos dos parâmetros de desempenho térmico dos dois tipos de vedações externas das edificações estudadas nesse trabalho, calculando-se a transmitância térmica (U), a capacidade térmica (C_t), o atraso térmico (Φ) e o fator solar (FS), valores que estão listados na Tabela 1.2. Ambas as edificações foram consideradas sem o uso de graute para o cálculo de todos os parâmetros.

Tabela 1.2 Parâmetros de desempenho térmico dos blocos estruturais

	Bloco concreto	Bloco cerâmico
		
Resistência térmica da parede ($m^2.K/W$)	0,1769	0,3083
Resistência térmica total ($m^2.K/W$)	0,3469	0,4783
Transmitância térmica – U ($W/(m^2.K)$)	2,8827	2,0907
Capacidade térmica – C_t ($KJ/(m^2.K)$)	264,3171	194,1747
Atraso térmico – Φ (h)	4,19	4,54
Fator Solar FS (%) – $\alpha = 0,25$	2,88	2,09

Observa-se nos valores da Tabela 1.2 a menor transmitância térmica e capacidade térmica do fechamento com blocos cerâmicos. Isso ocorre pelo maior número de espaços de ar no interior desse tipo de bloco e o menor valor de condutividade térmica e de peso específico do material. A Tabela 1.3 apresenta os valores limites estabelecidos pelas normas brasileiras de desempenho, evidenciando o cumprimento ou não dos limites pelas alvenarias analisadas.

Tabela 1.3 Comparação de valores calculados pela ABNT NBR 15220-2:2005 e ABNT NBR 15575-4:2013

Norma bras.	Zona bioc.	U _{lim} (W/m ²)	U conc.	U cerâm.	Φ _{lim} (horas)	Φ conc.	Φ cerâm.	FS _{lim} (%)	FS conc.	FS cerâm.	Ct _{lim} KJ/(m ² · K)	Ct conc.	Ct cerâm.
NBR 15220-2:2005	1 e 2	≤ 3,00	2,88	2,09	≤ 4,3	4,2	4,5	≤ 5,0	2,9	2,1	-	-	-
	3, 5 e 8	≤ 3,60	2,88	2,09	≤ 4,3	4,2	4,5	≤ 4,0	2,9	2,1	-	-	-
	4, 6 e 7	≤ 2,20	2,88	2,09	≥ 6,5	4,2	4,5	≤ 3,5	2,9	2,1	-	-	-
NBR 15575-4:2013	1 e 2	≤ 2,50	2,88	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 a 8 α ≤ 0,6	≤ 3,70	2,88	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3 a 8 α ≥ 0,6	≤ 2,50	2,88	2,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1 a 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≥ 130	264,1	194,2
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sem lim	264,1	194,2

Os limites de transmitância térmica (U) são diferentes nas duas normas existentes, sendo que, considerando a ABNT NBR 15220-2:2005, os fechamentos verticais executados com ambos os blocos têm valores abaixo do máximo estabelecido para todas as zonas bioclimáticas, com exceção do bloco de concreto para as zonas 4, 6 e 7, que está em desacordo com a norma nesse caso. Já para a ABNT NBR 15575-4:2013, o bloco de concreto apresenta valor superior ao limite máximo estabelecido para as zonas 1 e 2 e, ainda, para as demais zonas, se o coeficiente de absorção das paredes (α) for superior a

0,6, não cumprindo a norma, enquanto o bloco cerâmico a cumpre para todas as zonas. O atraso térmico (Φ) somente é considerado na ABNT NBR 15220-2:2005, sendo que o fechamento com bloco de concreto não está adequado para as zonas 4, 6 e 7, tendo valor inferior ao estabelecido, enquanto o bloco cerâmico não cumpre a norma para nenhuma das zonas bioclimáticas, com valor superior ao estabelecido para essas zonas. O valor do fator solar (FS) é considerado apenas pela ABNT NBR 15220-2:2005, sendo que o valor dos fechamentos com ambos os blocos é inferior ao máximo estabelecido, visto que ambas as edificações possuem pinturas de cores claras. A capacidade térmica (C_t) é considerada como limite pela ABNT NBR 15575-4:2013, sendo que ambos os blocos apresentam valores superiores ao mínimo estabelecido, o que os caracteriza como fechamentos de inércia térmica elevada.

O estudo de caso do desempenho térmico das edificações em bloco de concreto e cerâmico selecionou dezesseis apartamentos para serem efetuadas as medições de temperaturas, sendo oito em cada edifício. Destes, quatro apartamentos ficavam no segundo pavimento e os outros quatro no quarto pavimento. O segundo pavimento foi escolhido por não sofrer interferência do calor proveniente da cobertura, favorecendo a análise da orientação solar. Já o quarto pavimento foi selecionado justamente por essa interferência, o que permitiu a análise da diferença de comportamento em razão da cobertura.

Observa-se que, com a finalidade de analisar a orientação solar em cada edifício, foram monitorados quatro apartamentos com diferentes orientações solares, sendo: (1) janela voltada a leste e parede cega a norte; (2) janela voltada a leste e parede cega a sul; (3) janela voltada a oeste e parede cega a norte; e (4) janela voltada a oeste e parede cega a sul, como mostra a Figura 1.10. As medições foram realizadas nas mesmas posições nos apartamentos, independentemente do tipo de bloco, da orientação solar e do andar em que se encontravam.

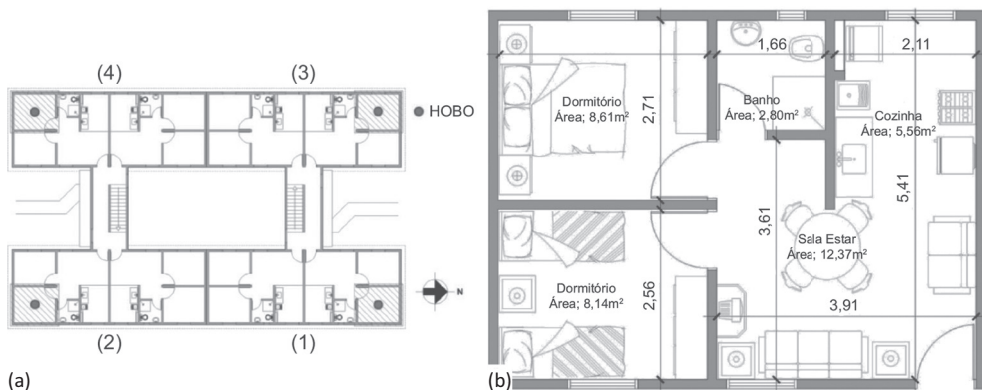


Figura 1.10 Planta baixa do apartamento.

As medições foram realizadas durante um período de quinze dias em apartamentos desabitados, desocupados e fechados, a fim de avaliar o desempenho térmico sem a interferência de outras variáveis, como a ventilação e ganhos internos de calor. As temperaturas internas foram monitoradas simultaneamente nas duas edificações em um período de inverno e outro de verão, junto com medidas de temperaturas externas. Como as edificações possuem a mesma orientação solar, mesma planta baixa, mesma localização e regime de ventos semelhantes, essas condicionantes puderam ser desconsideradas como variáveis do estudo. As diferenças de comportamento térmico foram evidenciadas a partir das variações térmicas internas, analisadas comparativamente entre os andares da mesma edificação, tendo como base as orientações solares e os dois tipos de blocos, sempre em comparação com as variações das temperaturas externas. Para as três análises citadas foram considerados apenas os dados de temperaturas dos três dias mais significativos dos períodos de medição, sendo os de menores temperaturas mínimas no inverno e de maiores temperaturas máximas no verão. Uma primeira análise realizada por Kappaun (2012) avalia a importância da cobertura nas trocas térmicas dessa tipologia de edifício, e foi feito um estudo comparativo entre as temperaturas internas obtidas no segundo pavimento e as obtidas no quarto pavimento (cobertura). Para esse estudo foi considerado o valor médio das quatro medições realizadas em cada andar, cujos resultados são apresentados na Figura 1.11, enquanto a Tabela 1.4 apresenta os principais valores comparativos encontrados para o inverno e verão, respectivamente.

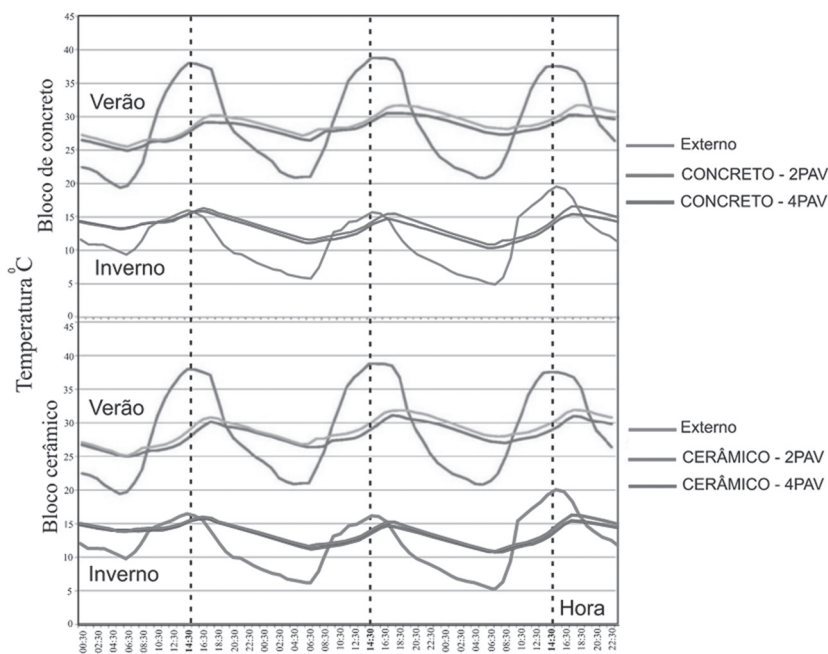
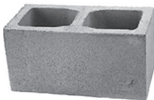





Figura 1.11 Variação da temperatura externa e interna nos segundo e quarto pavimentos – verão e inverno.

Tabela 1.4 Valores comparativos de temperaturas para o período de inverno e verão em função do tipo de bloco que compõe a parede

Período medição	Tipo de bloco	Pavimento	Média mín. (°C)	Média máx. (°C)	Amplit. média (Δt)	Amort. médio (%)	Atraso médio ϕ	
Inverno	 Concreto	2º andar	11,5	15,6	4,1	62,5	2h	
		4º andar	11,8	16,4	4,6	57,9	2h20min	
	 Cerâmico	2º andar	11,4	15,1	3,7	66,1	2h40min	
		4º andar	11,6	15,6	4,0	63,8	2h40min	
	Temperatura externa			6,4	17,3	10,9	–	–
	Verão	 Concreto	2º andar	26,2	30,1	3,9	78,2	3h40min
4º andar			26,8	31,2	4,4	75,3	4h00min	
 Cerâmico		2º andar	26,0	30,8	4,8	73,1	3h20min	
		4º andar	26,4	31,6	5,2	70,8	4h	
Temperatura externa			20,3	38,1	17,8	–	–	

Como a cobertura é a parte da edificação mais exposta à radiação solar, esta tem muita influência na carga térmica ganhada durante os períodos quentes. Por outro lado, as perdas térmicas nos períodos frios também são intensas através desse elemento construtivo, principalmente à noite. Observa-se que, em ambas as edificações, tanto nos dias considerados de inverno como de verão, os ganhos de temperatura pela cobertura têm influência no comportamento térmico, pois esse pavimento apresenta temperaturas internas superiores durante todo o período, implicando médias de mínimas e de máximas também maiores. O mesmo se dá com as amplitudes térmicas: o

menor amortecimento da variação térmica externa é indicador de pior desempenho térmico desse pavimento em relação ao segundo pavimento. No entanto, essa influência é pouco expressiva nas edificações analisadas para o clima considerado e para o tipo de cobertura utilizada, com as maiores diferenças no inverno nas médias de mínimas de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e nas máximas de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, e no verão de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ nas mínimas e de $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nas máximas. O pavimento da cobertura deve ser planejado durante a fase de concepção do projeto, a fim de que sejam buscadas alternativas corretas para a redução da transmitância térmica e a existência de uma ventilação seletiva, que possa ser aberta nos períodos quentes para a retirada de calor e fechada nos períodos frios. Além dos problemas de conforto térmico no último pavimento, os exagerados ganhos térmicos pela cobertura podem causar dilatação térmica acentuada nas lajes de cobertura, provocando o aparecimento de fissuras nas paredes desse pavimento. Problemas assim são comuns em edificações em alvenaria estrutural e provocam patologias como as ditas fissuras de último pavimento, o que leva alguns projetistas a dessolidarizar a laje de cobertura da parede estrutural por meio do uso de um material deformante (isopor) e um deslizante (PVC, papel kraft ou manta asfáltica), como mostra o esquema da Figura 1.12.

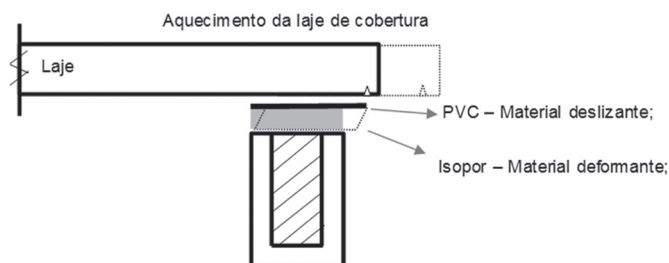


Figura 1.12 Modelo do deslocamento horizontal entre a laje de cobertura e a parede estrutural.

Na segunda análise realizada, referente à influência da orientação solar no desempenho térmico, foram considerados apenas os valores de temperatura do segundo pavimento das edificações, de forma a eliminar a influência da cobertura. Foram verificadas, separadamente, as edificações com os diferentes tipos de blocos, considerando os dormitórios das unidades habitacionais com janelas orientadas a leste e a oeste, conforme mostrado na planta de localização dos registradores de temperatura, tendo esses ambientes o diferencial de possuírem paredes cegas na orientação norte ou sul, o que resulta em quatro orientações solares. A Figura 1.13 apresenta, para o edifício com blocos de concreto e de cerâmica, respectivamente, o comportamento da variação de temperatura interna no período de inverno considerado e a relação desses valores com a temperatura externa no mesmo período. A Figura 1.14 apresenta os resultados de temperaturas internas em comparação com as temperaturas externas, para as diferentes orientações solares, considerando os três dias com temperaturas externas mais altas do período de verão, para os dois diferentes tipos de blocos. Durante todo o período analisado de inverno, observam-se com ambos os blocos tempe-

raturas superiores para os dormitórios com parede na orientação norte. No prédio com blocos de concreto, o dormitório com a janela na orientação leste tem maiores temperaturas durante todo o dia. Quando os blocos são de cerâmica, o dormitório a leste tem maiores temperaturas pela manhã, enquanto a oeste, maiores temperaturas à tarde. Nesse período, fica evidente o grande amortecimento na amplitude térmica externa, que ocorre por temperaturas mínimas internas maiores devido à grande inércia térmica da edificação, que se mantém aquecida durante a noite em virtude do calor absorvido pelos fechamentos durante as horas mais quentes do dia. Durante o verão fica menos evidente a influência da orientação solar, com diferenças menores nas temperaturas internas (Figura 1.14). Nesse caso, o amortecimento térmico ocorre em razão da redução das temperaturas máximas e aumento das mínimas devido à capacidade térmica dos fechamentos, que absorve calor durante o dia, reduzindo a temperatura interna, e o restitui à noite, elevando a temperatura. Analisando segundo os critérios da NBR 15575-4:2013, e considerando o dia com menor temperatura mínima ($5\text{ }^{\circ}\text{C}$) no período de inverno medido e o ambiente com orientação mais desfavorável das edificações, encontra-se uma diferença entre as temperaturas mínimas interna e externa de $+4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bloco de concreto) e $+4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (bloco cerâmico), o que indica um desempenho mínimo para o inverno. Para o verão, as diferenças entre as temperaturas internas na orientação mais desfavorável e a temperatura máxima do dia mais quente ($38,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) são de $-7,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (concreto) e $-6,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ (cerâmico), o que indica um desempenho superior para ambos os tipos de fechamento.

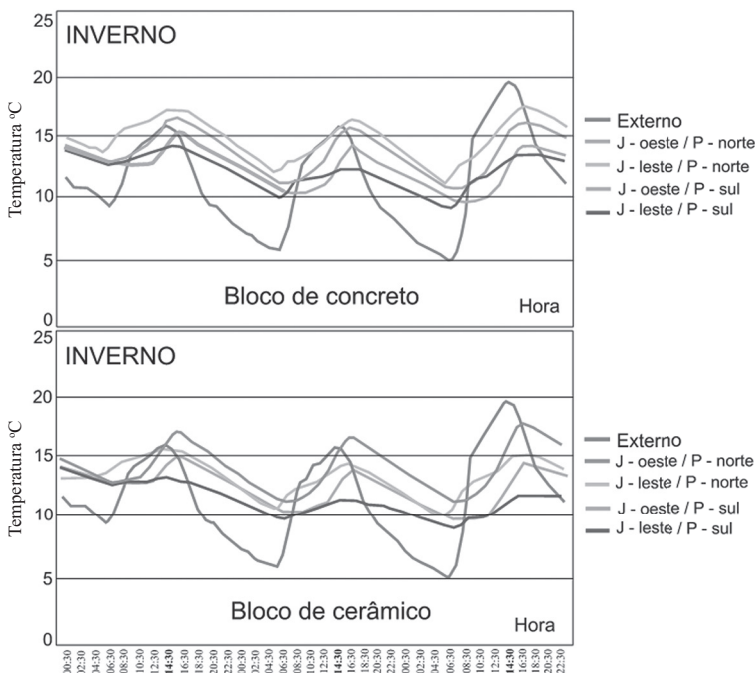


Figura 1.13 Variação da temperatura externa e interna no inverno – período de medição 31/08/2011 a 02/09/2011.

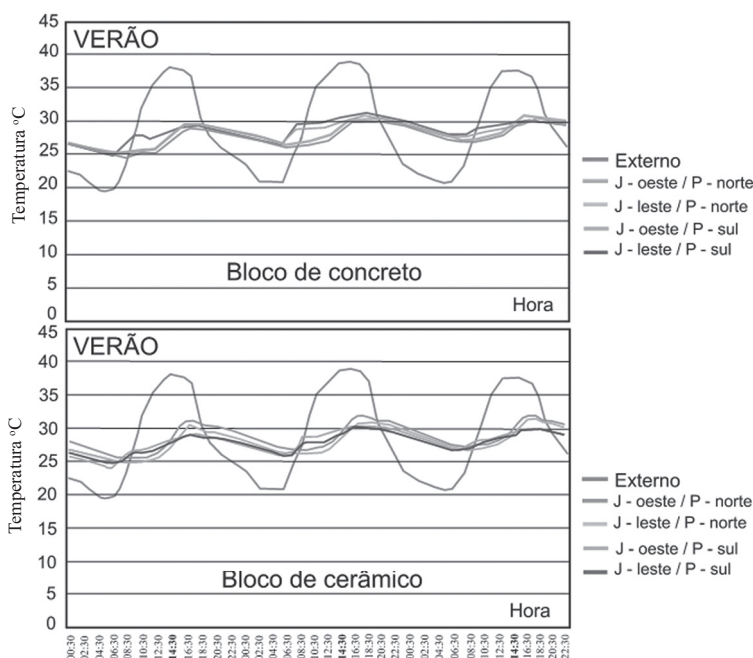
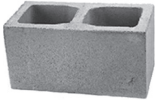





Figura 1.14 Variação da temperatura externa e interna no verão – período de medição de 27/11/2011 a 29/11/2011.

A Tabela 1.5 apresenta os valores mais expressivos de temperaturas máximas e mínimas, amplitude térmica, amortecimento e atraso da onda térmica, os quais permitem uma análise mais detalhada da influência da orientação solar no desempenho térmico de edifícios com diferentes tipos de blocos estruturais nos períodos de inverno e verão.

No inverno, a trajetória solar tem ângulos de alturas menores. Isso resulta em uma alta incidência de radiação na parede norte, acarretando, assim, para ambos os blocos, as maiores médias de temperaturas máximas quando a parede cega tem orientação norte e quando a janela está para leste com bloco de concreto e para oeste com bloco cerâmico. Em ambos os prédios, as temperaturas máximas ocorrem no período diurno, o que indica maior influência dos ganhos pela parede norte que pela janela. A média das temperaturas máximas tem a maior diferença de 3,3 °C entre as orientações para o bloco de concreto e de 4,4 °C para o bloco cerâmico, o que indica uma influência importante da orientação solar nos picos de máximas no inverno. Nas médias das mínimas, a diferença é menor: de 1,6 °C e 1,3 °C, respectivamente, pois ocorrem sempre à noite e refletem o efeito conjunto da temperatura diurna e da inércia térmica dos componentes do edifício. No período de verão, com altura solar mais elevada em relação ao norte, as temperaturas máximas foram medidas no dormitório com janela oeste e parede cega sul, para ambos os blocos. As temperaturas mínimas ocorreram em apartamentos com parede no lado norte, com janela a oeste na edificação de bloco de concreto, e com a janela para o leste quando o bloco é cerâmico.

Tabela 1.5 Temperaturas médias mínimas e máximas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações – Bloco de concreto e cerâmico

Período medição	Tipo de bloco	Orientação	Média mín. (°C)	Média máx. (°C)	Amplit. média (Δt)	Amort. médio (%)	Atraso médio	
Inverno	 Concreto	Janela oeste – Parede norte	11,9	16,4	4,5	58,0	1h40min	
		Janela leste – Parede norte	12,3	17,0	4,7	57,0	1h20min	
		Janela oeste – Parede sul	11,1	15,1	4,0	62,5	2h	
		Janela leste – Parede sul	10,7	13,7	3,0	72,4	1h	
	 Cerâmico	Janela oeste – Parede norte	11,9	17,2	5,3	50,0	2h40min	
		Janela leste – Parede norte	11,8	15,5	3,7	66,5	1h20min	
		Janela oeste – Parede sul	11,1	15,0	3,9	64,5	2h	
		Janela leste – Parede sul	10,6	12,8	2,2	78,8	1h	
	Temperatura externa			6,4	17,3	10,9	–	–
	Verão	 Concreto	Janela oeste – Parede norte	25,8	29,7	3,9	77,8	2h20min
			Janela leste – Parede norte	26,2	29,9	3,7	79,4	3h40min
			Janela oeste – Parede sul	26,3	30,5	4,2	76,7	2h
Janela leste – Parede sul			26,5	30,3	3,8	78,7	3h20min	
 Cerâmico		Janela oeste – Parede norte	26,5	31,7	5,2	70,9	3h	
		Janela leste – Parede norte	25,7	29,8	4,1	77,4	3h20min	
		Janela oeste – Parede sul	25,9	31,9	6,0	66,2	3h	
		Janela leste – Parede sul	25,8	29,8	3,9	77,9	3h	
Temperatura externa			20,3	38,1	17,8	–	–	

Em razão da menor intensidade da radiação solar sobre a face norte no verão, as temperaturas internas nas diferentes orientações solares têm diferenças menores, com 0,8 °C e 2,1 °C entre a maior e a menor média de máximas para o bloco de concreto e cerâmico, respectivamente. Para as médias de mínimas, esses valores são ainda menores: de 0,7 °C e 0,8 °C. No inverno, o amortecimento térmico tem diferença máxima entre as orientações de 15,4% (concreto) e de 18,8% (cerâmico), enquanto no verão essas diferenças são de 2,7% e 11,7%, respectivamente, o que também indica maior influência da orientação solar no período de inverno.

A análise principal do trabalho, referente ao comportamento térmico das edificações com diferentes tipos de blocos, foi realizada por meio de um comparativo entre a média das temperaturas medidas em todas as quatro orientações consideradas no segundo pavimento de cada edificação, com o intuito de considerar conjuntamente as diferentes orientações solares e eliminar a influência da cobertura, itens que foram analisados separadamente nesse trabalho.

A Tabela 1.6 apresenta as temperaturas médias, máximas e mínimas para as quatro orientações consideradas das medições nos três dias de inverno e verão, sendo calculados a amplitude térmica, o amortecimento da onda térmica e o atraso térmico, o que permite uma análise comparativa do comportamento térmico dos edifícios com diferentes tipos de blocos, para os dois períodos de medição.

Para o período de inverno, em que os ganhos térmicos pela parede cega têm maior influência sobre o comportamento térmico das edificações, não foram encontradas diferenças significativas nas temperaturas internas por causa do tipo de bloco, não evidenciando a maior transmitância térmica do bloco de concreto.

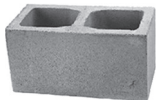

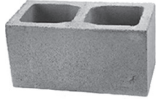

Para o período de verão, o comportamento térmico nas duas edificações foi semelhante, porém as temperaturas máximas e a amplitude térmica foram um pouco maiores na edificação de bloco estrutural cerâmico, com alguns picos mais acentuados de temperatura, tanto nas máximas quanto nas mínimas, provavelmente em razão da menor inércia térmica (capacidade térmica) desse tipo de bloco.

A alta capacidade térmica dos fechamentos analisados tem reflexo direto no expressivo amortecimento da onda térmica. No inverno, esse fato é favorável no período noturno, elevando as temperaturas mínimas, mas desfavorável durante o dia, pois reduz as temperaturas máximas. No verão, o comportamento térmico é favorecido nos horários mais quentes, pois as temperaturas máximas são reduzidas, mas nos horários mais frescos da noite as temperaturas no interior são superiores devido ao calor acumulado nas paredes com alta capacidade térmica durante o dia. Esse fato pode ser compensado caso haja a possibilidade de ventilação noturna.

Embora ocorram diferenças de temperaturas entre os edifícios construídos com o bloco estrutural de concreto e o bloco estrutural cerâmico, essas diferenças são reduzidas. Isso indica que os dois tipos de blocos considerados, nesse estudo, têm pouca influência no comportamento térmico das edificações estudadas, tanto no período de inverno como no de verão. Assim, para edificações em alvenaria estrutural construídas com os modelos de blocos apresentados nesse estudo, com o mesmo tipo de cobertura com ventilação e para as orientações aqui analisadas, pode-se optar tanto pelo

bloco estrutural de concreto quanto pelo bloco estrutural cerâmico na zona bioclimática 2 brasileira, sem que o comportamento térmico da edificação seja comprometido.

Tabela 1.6 Temperaturas médias mínimas e máximas, atraso térmico e amortecimento para diferentes orientações – Bloco de concreto e cerâmico

Período	Tipo de bloco	Média mín (°C)	Média máx. (°C)	Amplit. média (°C)	Amort. (%)	Atraso térmico
Inverno	Concreto 	11,5	15,5	4,0	63,3	1h30min
	Cerâmico 	11,3	15,1	3,8	64,9	1h45min
	Temperatura externa	6,4	17,3	10,9	–	–
Verão	Concreto 	26,2	30,1	3,9	78,1	2h35min
	Cerâmico 	26,0	30,8	4,8	73,0	3h05min
	Temperatura externa	20,3	38,1	17,8	–	–

1.3.2 DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Neste item serão apresentadas as características dos blocos estruturais quanto ao desempenho na isolamento sonora, obtido por meio de ensaios realizados no laboratório de acústica do curso de Engenharia Civil da UFSM, conforme recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 15575-4:2013, com intenção de

comparar o desempenho dessa técnica construtiva com os critérios apontados pela norma, visando atender aos requisitos normativos quanto ao desempenho acústico. A norma em questão é relativamente recente e procura qualificar as construções em nível nacional quanto ao seu desempenho, portanto, traz requisitos mínimos a serem atendidos nas edificações. Essa avaliação se faz necessária uma vez que o conforto acústico na habitação tem sido relegado a segundo plano, em função da diminuição de custos e em prol da lucratividade das empresas. A avaliação do isolamento sonoro é fundamental devido ao surgimento de novos materiais e técnicas que permitem reduzir a espessura dos elementos construtivos, agilizando e facilitando a sua produção. Ao abordar o desempenho acústico, o objetivo da norma é garantir qualidade de vida aos ocupantes das habitações.

1.3.2.1 Definições de níveis para o isolamento sonoro conforme a ABNT NBR 15575-4:2013

A ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais: Desempenho, Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), de 2013, apresenta requisitos e critérios para verificação do isolamento acústico entre exterior e interior, unidades autônomas e áreas comuns e unidades autônomas adjacentes. Consideremos o “método de precisão realizado em laboratório”. Conforme descrição da norma, esse método determina a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (paredes, janelas, portas e outros) e fornece valores de referência de cálculo para projetos. Esse método de ensaio é descrito na ISO 10140-2:2010. Os parâmetros de verificação adotados pela norma são apresentados no Quadro 1.1, assim como as recomendações de quais procedimentos seguir.

Quadro 1.1 Parâmetros acústicos de verificação

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1:2013	Componentes em laboratórios
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 16283-1:2017 ISO 717-1:2013	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 16283-3:2016 ISO 717-1:2013	Fachadas, em edificações Fachadas em coberturas em casas térreas e sobrados

Nota: Como as normas ISO referenciadas não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos nelas consignados com os seguintes significados: R_w , índice de redução sonora ponderado (*weighted sound reduction index*); $D_{nT,w}$, diferença padronizada de nível ponderada (*weighted standardized level difference*); $D_{2m,nT,w}$, diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (*weighted standardized level difference at 2 m*).

O Anexo F da ABNT NBR 15575-4:2013 traz os níveis mínimos (M) para cada requisito, os quais devem ser atendidos. A norma também considera a possibilidade de melhorias na qualidade da edificação, de modo que traz valores para níveis intermediário (I) e superior (S). São apresentados na Quadro 1.2 os valores de referência de norma obtidos por meio de ensaios realizados em laboratório em componentes, elementos e sistemas construtivos, os quais são utilizados para fachadas. Os valores para o sistema de vedação entre ambientes estão na Quadro 1.3.

Quadro 1.2 Índice de redução sonora ponderado (R_w) de fachadas

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w dB ^a	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de qualquer natureza	≥ 25	Mínimo
		≥ 30	Intermediário
		≥ 35	Superior
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	Mínimo
		≥ 35	Intermediário
		≥ 40	Superior
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	Mínimo
		≥ 40	Intermediário
		≥ 45	Superior

Nota: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos em campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entre esses resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 12354-1:2017).

^a R_w com valores aproximados

Fonte: ABNT NBR 15575-4:2013, Anexo F, Tabela F.11, p. 58.

Quadro 1.3 Índice de redução sonora ponderado (R_w) de componentes construtivos utilizados nas vedações entre ambientes

Elemento	R_w dB ^a	Nível de desempenho
Parede de unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas condições em que não haja ambiente dormitório	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior
Parede de unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	Mínimo
	55 a 59	Intermediário
	≥ 60	Superior
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior
Paredes cegas de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	Mínimo
	40 a 44	Intermediário
	≥ 45	Superior
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	Mínimo
	55 a 59	Intermediário
	≥ 60	Superior
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	45 a 49	Mínimo
	50 a 54	Intermediário
	≥ 55	Superior

Nota: Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos em campo ($D_{nT,w}$ e $D_{2m,nT,w}$) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório (R_w). A diferença entre esses resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 12354-1:2017).

^a R_w com valores aproximados

1.3.2.2 Procedimento de testes

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575-4:2013, deve-se seguir os procedimentos especificados pela ISO 10140-2:2010, *Acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements, part 2: measurement of airborne sound insulation*, ao realizar os testes em laboratório. O tratamento dos dados se dá conforme especificado pela ISO 717-1:2013, *Acoustics: rating of sound insulation in building elements, part 1: airborne sound insulation*, por meio da comparação da curva de referência normatizada com os dados obtidos nos ensaios, obtendo-se, assim, a classificação de um número único para R_w . O gráfico para análise e comparação entre os resultados estimados e os valores obtidos em ensaios baseou-se na ISO 12354-1:2017, *Building acoustics: estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, part 1: airborne sound insulation between rooms*, Anexo B, em que o R_w para elementos de estrutura monolítica é dado em função da massa por unidade de área (Kg/m^2) e calculado por meio da seguinte equação:

$$R_w = 37,5 \lg (m) - 42 \text{ (dB)}$$

em que R_w = índice de redução sonora ponderado; m = massa por unidade de área (kg/m^2).

Os testes nas paredes de alvenaria estrutural foram realizados no laboratório de acústica da UFSM sob a supervisão do prof. Jorge Luiz Pizzutti dos Santos. As câmaras do laboratório foram projetadas e construídas seguindo as premissas da ISO 140-1:1997, sendo constituído de duas câmaras adjacentes, de recepção com 60m^3 e de emissão com 67m^3 , separadas por um pórtico de concreto com 0,55 m de largura e dimensões de 4,10 m de comprimento e 3,20 m de altura isolado do restante da estrutura por junta de 2 cm, totalizando uma área de $13,12\text{m}^2$, o qual é utilizado para a construção da amostra a ser testada.

As câmaras são construídas em concreto armado com 30 cm de espessura (paredes e lajes), apoiadas sobre isoladores de neoprene que as desconectam da base estrutural. As superfícies internas das câmaras não são paralelas, para que se obtenha um melhor campo difuso do som. As portas de acesso em ambas as câmaras são duplas, em aço maciço, com 12,5 mm de espessura e dimensões de $1,50 \times 2,50\text{m}$, vedadas com borracha em seu contorno, garantindo estanqueidade no seu fechamento. A Figura 1.15 ilustra a planta baixa e o corte das câmaras de ensaio.

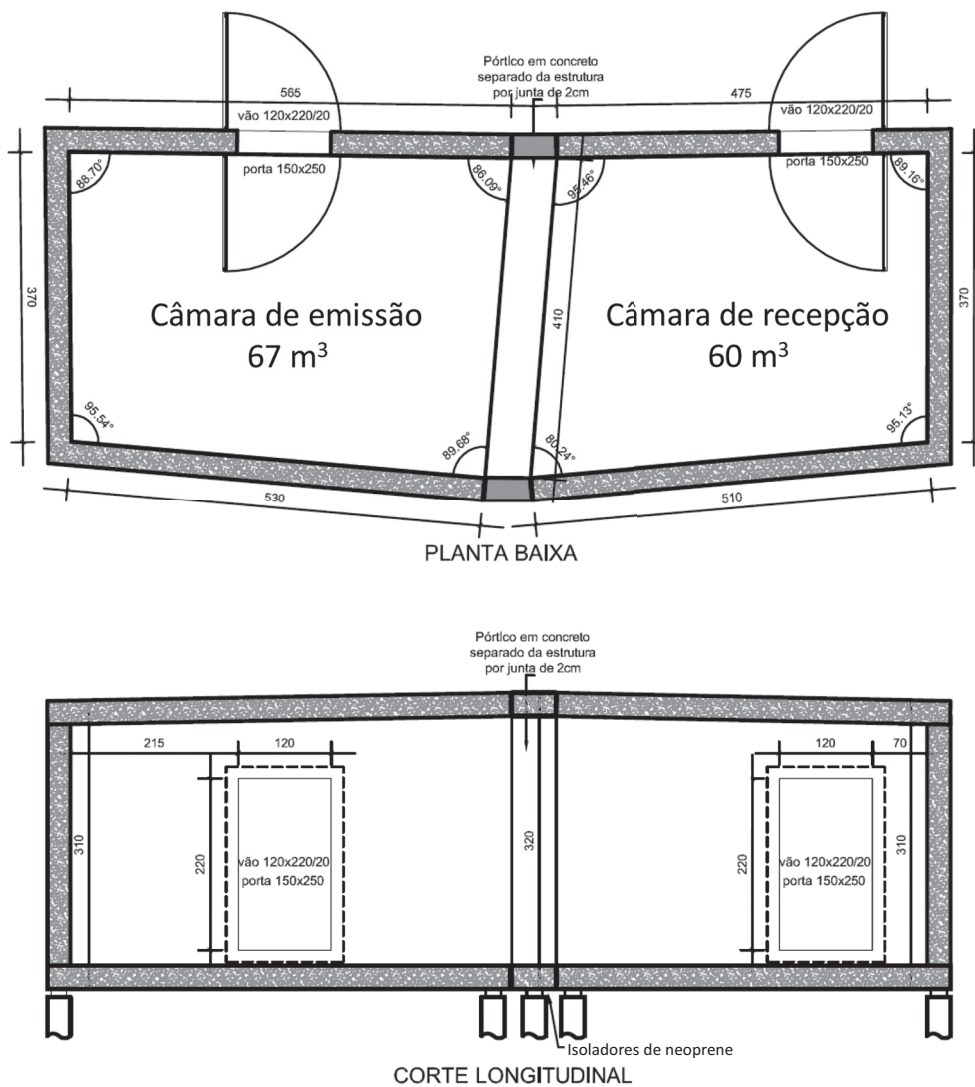


Figura 1.15 Planta baixa e corte longitudinal das câmaras de ensaio de isolamento sonoro de vedações verticais.


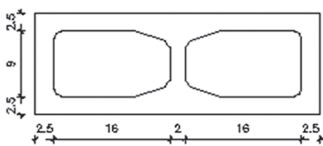


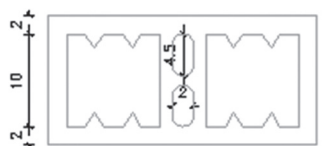

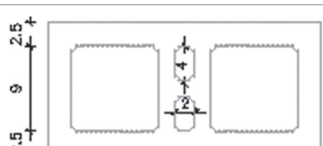

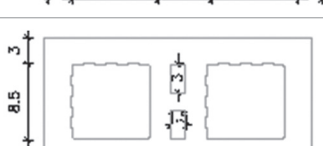

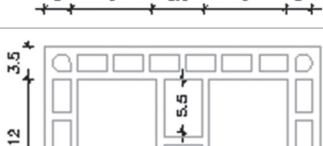

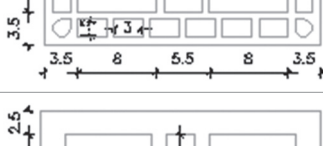
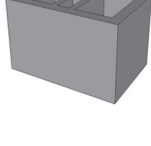
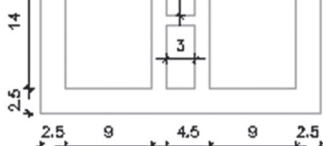
O Quadro 1.4 apresenta a listagem e a descrição dos equipamentos utilizados durante a medição.

Quadro 1.4 Descrição dos aparelhos utilizados

Descrição	Fabricante	Modelo	Nº série
Caixa acústica dodecaédrica		OMNI 12	03/11-10/B255-A12
Amplificador 01 dB		AMPLI 12	03/11-10/B255-A12
Calibrador de nível sonoro	Brüel & Kjaer	4230, classe 1	1351791
Medidor de nível sonoro 01 dB	Metravib	Black Solo, classe 1	65593
Microfone capacitivo	GRAS	MCE 212	153654
Pré-amplificador de microfone 01 dB	Metravib	PRE 21 S	16184
Medidor de nível sonoro 01 dB	Metravib	Black Solo, classe 1	60266
Microfone capacitivo	GRAS	MCE 212	75246
Pré-amplificador de microfone 01 dB	Metravib	PRE 21 S	12943
Termo-higrobarômetro digital	instruterm	THB100	150807030
Termo-higrobarômetro digital	instruterm	THB100	150807057
Software 01 dB	dBbati Building acoustics	versão 5.3	

Para construção das paredes, diferentes amostras de blocos estruturais foram selecionadas, sendo duas em concreto e seis cerâmicos, com diferentes tamanhos e f_{bk} , conforme Quadro 1.5.

Quadro 1.5 Tipologia de blocos

	Bloco	Dimensões (cm)	Tamanho (cm)	f_{bk} (MPa)
1			14 × 19 × 39	4
2				10
3			14 × 19 × 29	7
4				10
5				15
6				18
7				7
8				19 × 19 × 29

As vedações com os diferentes blocos foram construídas individualmente no pórtico entre as câmaras, com dimensões de $4,12 \times 3,20$ m. Em todos os casos, os blocos foram assentados com argamassa estrutural industrializada de 4 MPa e as juntas verticais e horizontais preenchidas com argamassa com 1 cm de espessura. Para os revestimentos interno e externo empregou-se argamassa pré-fabricada, tendo-se diversas espessuras para os revestimentos interno e externo, fato que altera a espessura final da parede e, junto com as várias resistências dos blocos, vem a resultar em paredes com diferentes valores de massa por unidade de área. Ressalta-se, ainda, que as paredes apresentadas como preenchidas diferem das demais por terem as cavidades maiores do bloco preenchidas com areia.

1.3.2.3 Resultados

As tabelas de resultados dos ensaios estão divididas segundo o material do bloco e delas constam as seguintes informações: número do ensaio, f_{bk} do bloco, espessura dos revestimentos interno e externo, espessura final da parede, massa por unidade de área da parede e índice de redução sonora ponderado (R_w) obtido. Para melhor entendimento, os blocos foram divididos em concreto, cerâmico e cerâmico preenchido com areia.

1.3.2.3.1 Vedações com blocos de concreto

A Tabela 1.7 apresenta os resultados de isolamento sonoro em vedações com blocos de concreto ensaiados na câmara, assim como as características de resistência à compressão nominal e massa por metro quadrado.

Tabela 1.7 Ensaios para vedações com blocos de concreto

Ensaio	Bloco (cm)	f_{bk} (MPa)	Revestimento e espessura final da parede (cm)		Massa (kg/m ²)	R_w
			Externo	Interno		
1	14 × 19 × 39	4			226	49
2		4			249	50
3		4			231	49
4		10			222	49
5		10			243	51

A Figura 1.16 apresenta o gráfico comparativo entre os resultados de índice de redução sonora (R) encontrados para cada frequência medida no ensaio de vedação com blocos de concreto. Essa figura permite uma análise do comportamento das reduções com relação às diferentes frequências da onda sonora. Já a comparação do valor do índice de redução sonora ponderado (R_w) com os valores estimados pela norma ISO 12354-1:2017 está na Figura 1.17.

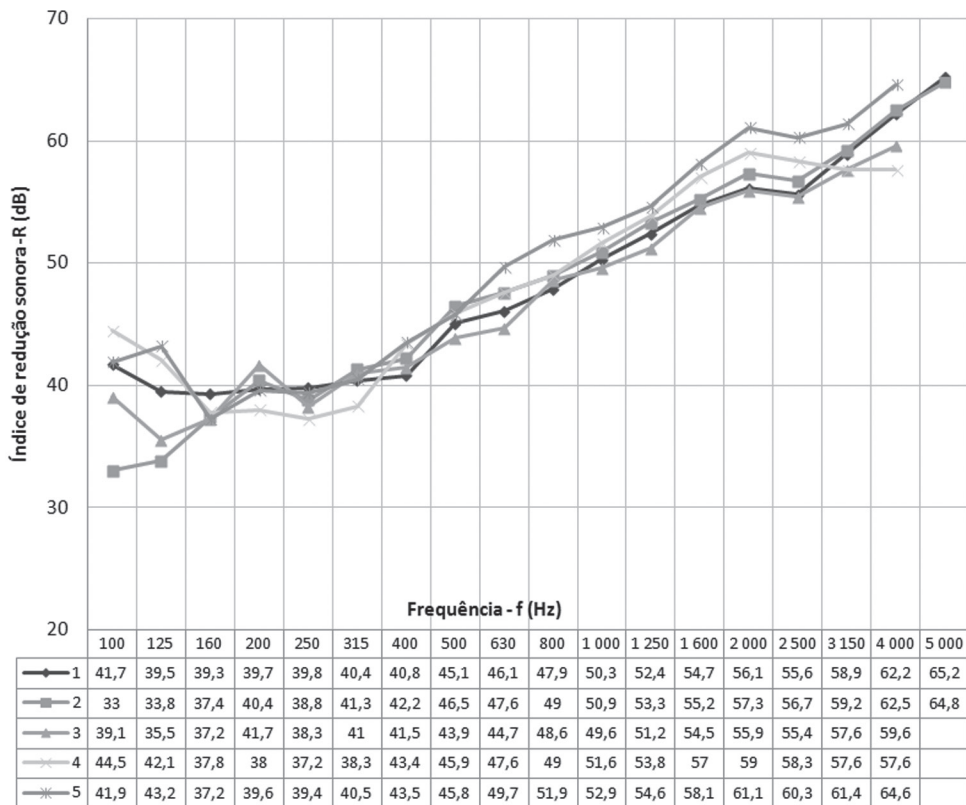


Figura 1.16 Comparação dos resultados do índice de redução sonora (R) para vedações com blocos de concreto.

A Figura 1.16 apresenta as dispersões de isolamento sonoro nas baixas frequências – 100 Hz a 125 Hz – relacionadas aos grandes desvios padrões das medições sonoras inerentes a essas frequências, que se situam na zona de amortecimento molecular. Nas frequências superiores a 200 Hz, as paredes se comportam seguindo aproximadamente a lei da massa teórica. Na Figura 1.17, observa-se que as paredes estruturais em bloco de concreto têm um desempenho acima do esperado e previsto pela lei da massa experimental. Observa-se uma performance de isolamento sonoro na ordem de 2,5 dB acima das estimativas teóricas. Pode-se concluir que vedações executadas com esses blocos atingem $R_w \geq 50$ dB quando a massa por superfície se situa acima de 240 kg/m^2 .

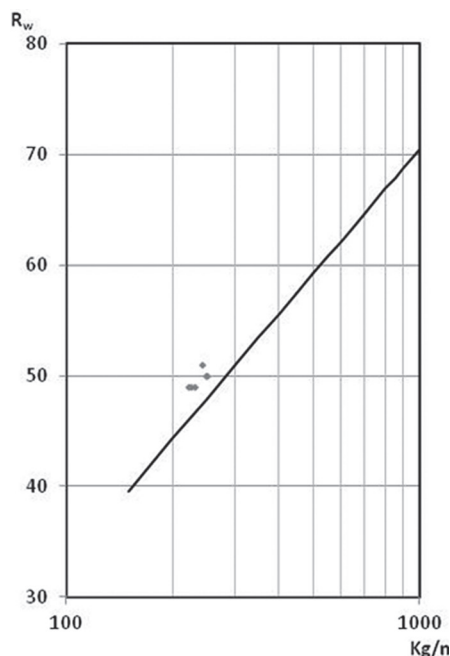
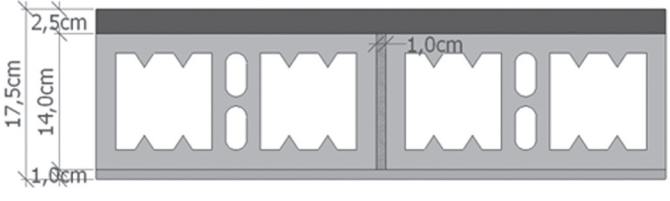
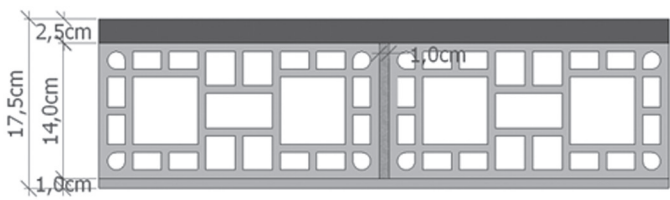
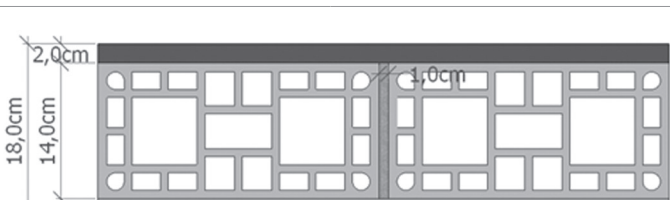




Figura 1.17 Comparação dos resultados de índice de redução sonora ponderado (R_w) e valores estimados pela norma para vedações com blocos de concreto.

1.3.2.3.2 Vedações com blocos cerâmicos

A Tabela 1.8 apresenta os resultados de isolamento sonoro em vedações com blocos cerâmicos ensaiados na câmara, assim como as características de resistência à compressão nominal e massa por metro quadrado.

Tabela 1.8 Ensaios para vedações com blocos cerâmicos

Ensaio	Bloco (cm)	f_{bk} (MPa)	Revestimento e espessura final (cm)		Massa (kg/m ²)	R_w
			Externo	Interno		
1	14 x 19 x 39	7			177	40
2		7			181	41
3		7			202	42
4		10			197	41
5		10			229	43

(continua)

Tabela 1.8 Ensaios para vedações com blocos cerâmicos (*continuação*)

Ensaio	Bloco (cm)	f_{bk} (MPa)	Revestimento e espessura final (cm)		Massa (kg/m ²)	R_w
			Externo	Interno		
6	14 × 19 × 39	15			198	41
7		18			217	42
8	19 × 19 × 29	7			196	41
9		15			231	42

A Figura 1.18 exibe o gráfico comparativo entre os resultados de índice de redução sonora (R) encontrados para cada frequência medida no ensaio de vedação com blocos cerâmicos. Essa figura permite uma análise do comportamento das reduções frente às diferentes frequências da onda sonora. Já a comparação do valor do índice de redução sonora ponderado (R_w) com os valores estimados pela norma ISO 12354-1:2017 encontra-se na Figura 1.19.

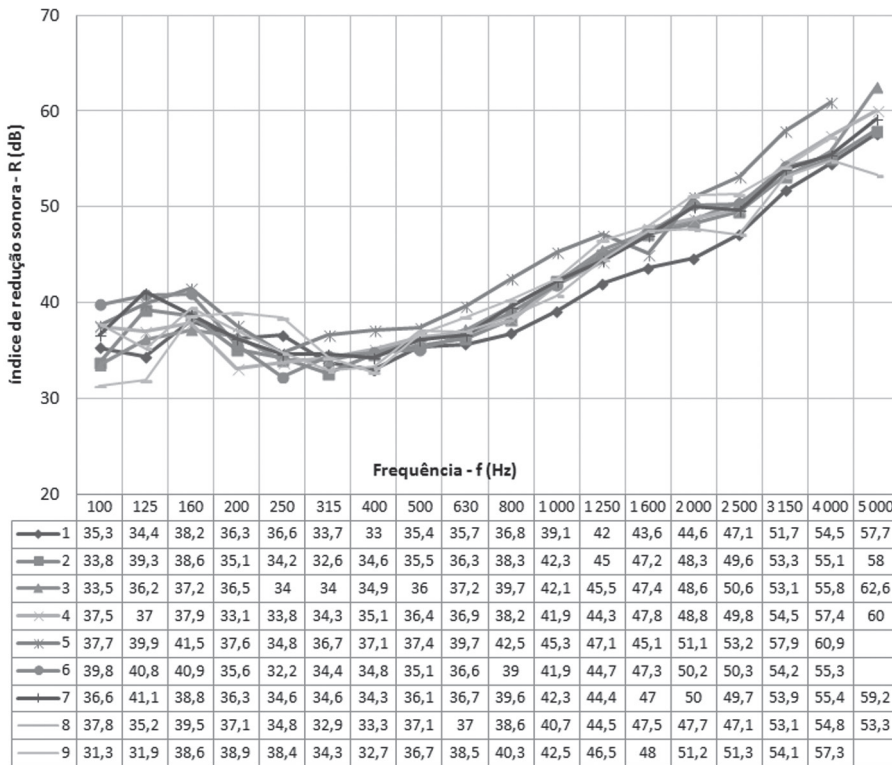


Figura 1.18 Comparação dos resultados para vedações com blocos cerâmicos.

Na Figura 1.19, pode-se observar que o desempenho sonoro do material cerâmico “canta”, ou seja, ressoa molecularmente nas frequências abaixo de 500 Hz e oferece um isolamento sonoro abaixo do esperado. A partir de 500 Hz é que esses parâmetros começam a fornecer um desempenho crescente, conforme esperado. As vedações com blocos cerâmicos são “leves”, isto é, não têm massa por superfície (kg/m^2) necessária para atingir o desempenho mínimo de isolamento sonoro definido pela norma brasileira na maioria das situações. Verifica-se que o desempenho dessas paredes fica abaixo do esperado e previsto pela lei da massa experimental, notando-se um desvio padrão negativo na ordem de 3 dB.

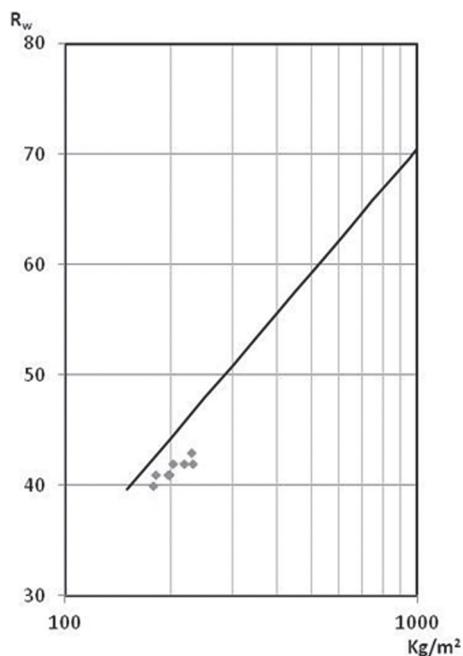


Figura 1.19 Comparação dos resultados de índice de redução sonora ponderado (R_w) e valores estimados pela norma para vedações com blocos cerâmicos.

1.3.2.3.3 Vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia

A Tabela 1.9 apresenta os resultados de isolamento sonoro em vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia ensaiados na câmara, assim como as características de resistência à compressão nominal e massa por metro quadrado.

Tabela 1.9 Ensaios para vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia

Ensaio	Bloco (cm)	f_{bk} (MPa)	Revestimento e espessura final (cm)		Massa (kg/m ²)	R_w
			Externo	Interno		
1	14 × 19 × 39	7			227	49
2		7			226	51
3		7			240	53
4		10			293	53
5		15			291	52
6		18			290	51

(continua)

Tabela 1.9 Ensaio para vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia (*continuação*)

Ensaio	Bloco (cm)	f_{bk} (MPa)	Revestimento e espessura final (cm)		Massa (kg/m ²)	R_w
			Externo	Interno		
7	19 x 19 x 29	7			298	54
8		15			353	55

A Figura 1.20 exibe o gráfico comparativo entre os resultados de índice de redução sonora (R) encontrados para cada frequência medida no ensaio de vedação com blocos cerâmicos preenchidos com areia. Essa figura permite uma análise do comportamento das reduções frente às diferentes frequências da onda sonora. Já a comparação do valor do índice de redução sonora ponderado (R_w) com os valores estimados pela norma ISO 12354-1:2017 encontra-se na Figura 1.21.

As paredes estruturais em blocos cerâmicos preenchidos com areia têm a massa por superfície (kg/m²) necessária para atingirem o desempenho mínimo de isolamento sonoro definido pela norma brasileira para todos os elementos de vedações. O desempenho dessas paredes fica acima do previsto pela lei da massa experimental. Pode-se esperar um desvio padrão positivo na ordem de 2,5 dB, como visto na Figura 1.21. Observa-se, ainda, uma melhora significativa do desempenho sonoro nas baixas frequências em relação às paredes em blocos cerâmicos sem o preenchimento de areia, como aponta a Figura 1.20.

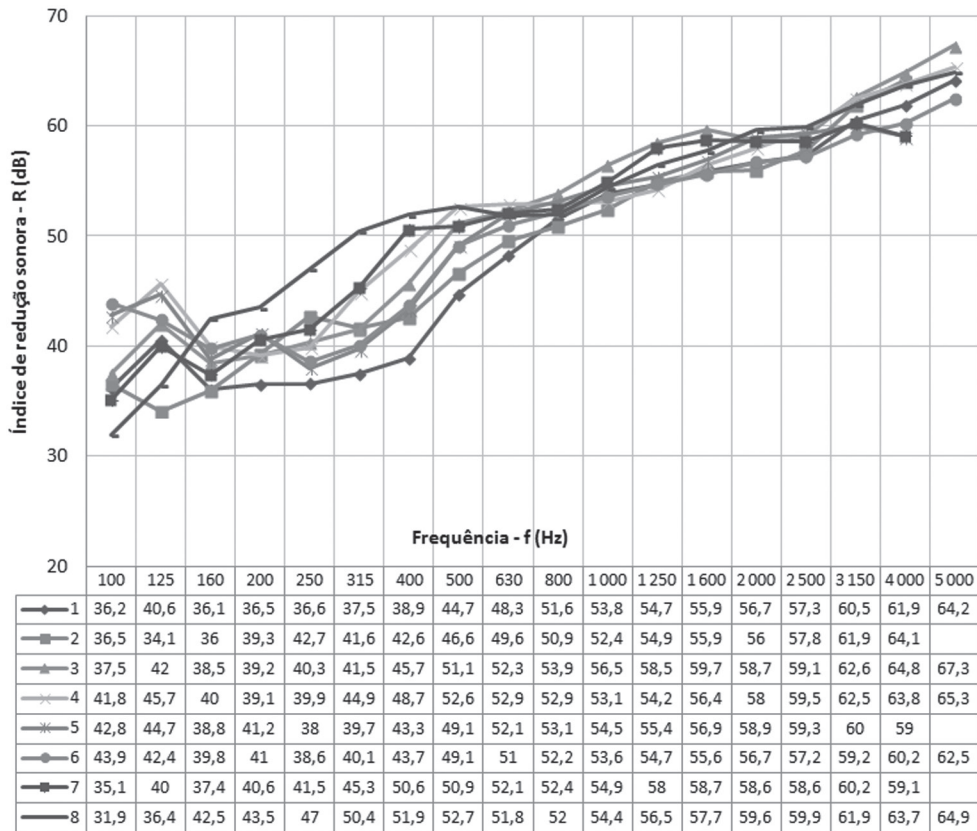


Figura 1.20 Comparação dos resultados para vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia.

Esses estudos demonstram a importância dos ensaios laboratoriais para o conhecimento real dos desempenhos desses componentes da construção civil. Os dados de testes fornecem informações e subsídios para os profissionais responsáveis pelos projetos poderem definir e calcular o isolamento sonoro ao ruído aéreo de seus projetos e manterem conformidade com a norma brasileira. Sabe-se também que as técnicas de assentamento dos blocos estruturais com as juntas verticais e horizontais totalmente preenchidas e argamassadas apresentam sempre desempenho superior aos métodos de assentamento em forma de filetes, ou seja, só nas paredes longitudinais do bloco.

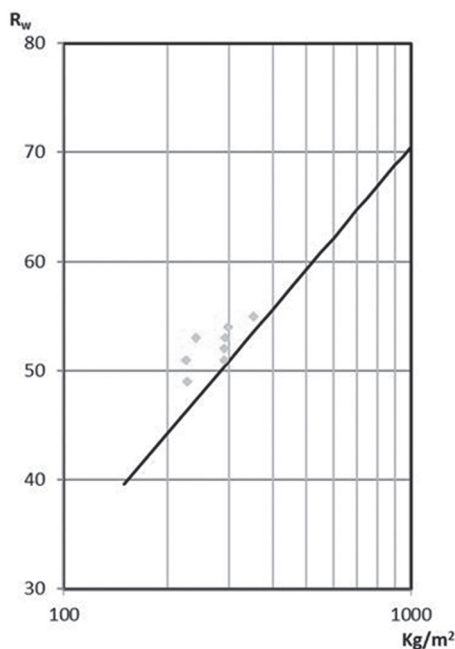


Figura 1.21 Comparação dos resultados de índice de redução sonora ponderado (R_w) e valores estimados pela norma para vedações com blocos cerâmicos preenchidos com areia.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI). *Manual técnico de alvenaria*. São Paulo: ABCI, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.

———. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, 2013.

CAMACHO, J. S. *Alvenaria estrutural não-armada*. Parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes. 1986. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, ago. 1986.

EPFL. **Eladio Dieste**. Disponível em: <<http://ibois.epfl.ch/webdav/site/ibois2/shared/eladiodieste.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2012.

HENDRY, A. W. *Structural brickwork*. New York: Halsted Press Book/John Wiley & Sons, 1981.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717-1: Acoustics: rating of sound insulation in building elements. Part 1: airborne sound insulation*. Geneva, 2013. 18p.

———. *ISO 10140-2: Acoustics: laboratory measurement of sound insulation of building elements. Part 2: measurement of airborne sound insulation.* Geneva, 2010.

———. *ISO 140-1. Acoustics - measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: requirement for laboratory test facilities with suppressed flanking transmission.* Geneva, 1997.

———. *ISO 12354-1. Building acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements – Part 1: Airborne sound insulation between rooms.* Geneva, 2017.

———. *ISO 16283-1. Acoustics – field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation.* Geneva, 2017.

———. *ISO 16283-3. Acoustics – field measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 3: façade sound insulation.* Geneva, 2016.

KAPPAUN, K. *Avaliação de desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira.* 2012. Dissertação (Mestrado) – UFSM, Santa Maria, set. 2012.

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo que tem milhares de anos de existência e surgiu de um conhecimento empírico por parte dos construtores.

O Brasil já se destaca em pesquisas realizadas sobre o tema, mas ainda é necessário avançar em pesquisas sobre o desempenho do elemento estrutural em blocos de concreto, blocos cerâmicos, tijolos e argamassas de assentamento para o estabelecimento de critérios normativos que garantam o conforto acústico e térmico, a resistência, a durabilidade e a segurança ao fogo das edificações. Além disso, fatores como qualidade da mão de obra, mediante constante treinamento, e emprego de equipamentos adequados podem minimizar os problemas de execução, evitando problemas estruturais futuros.

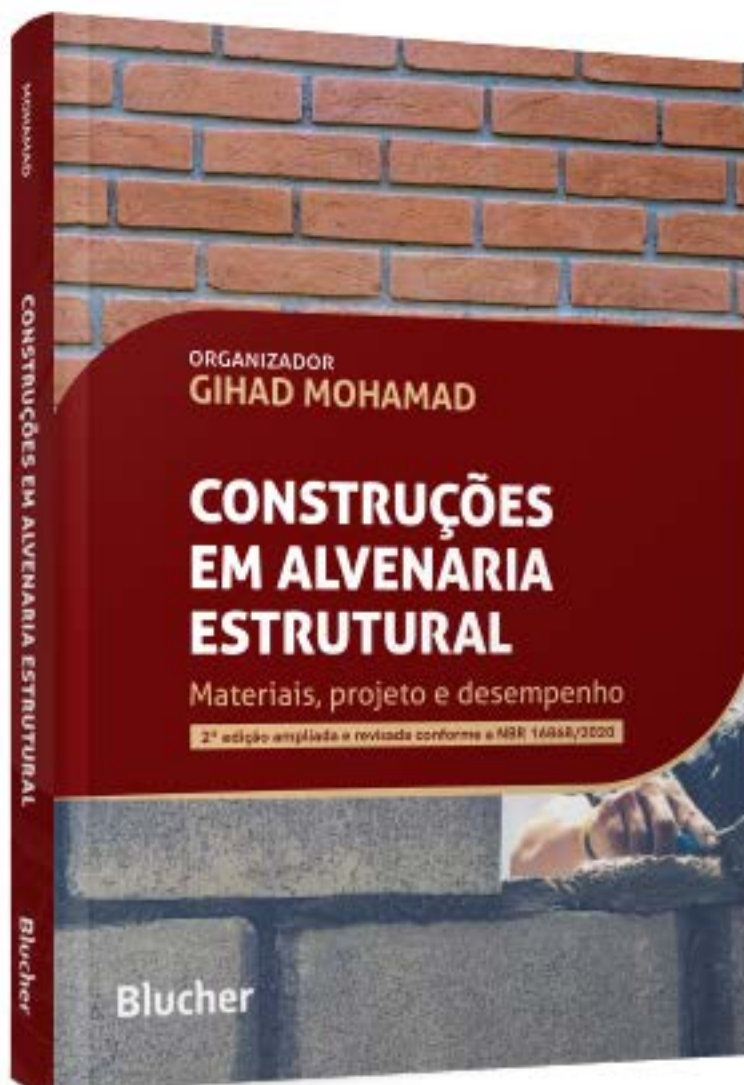
Esta obra tem por objetivo apresentar aos leitores os principais aspectos tecnológicos para a execução do sistema construtivo, reunindo diversos autores de diferentes áreas de especialidade. O livro aborda conceitos tecnológicos que envolvem o projeto, a racionalização, a compatibilização e o desempenho, fundamentados em normalizações nacionais e internacionais, e uma vasta bibliografia complementar. Trata também de temas correntes na alvenaria estrutural, como projeto, execução, materiais, juntas de movimentação e dimensionamento, além de temas pouco verificados na literatura em geral, como patologia, recuperação, reforço, danos acidentais, segurança ao fogo e sustentabilidade. Assim, pretende ampliar o conhecimento técnico, servindo de referência para o ensino do sistema construtivo em alvenaria estrutural em escolas de graduação e pós-graduação em Arquitetura e Engenharia Civil e apoiando projetistas, construtores e fornecedores de materiais.

www.blucher.com.br

ISBN 978-85-212-1459-5



Blucher



Clique aqui e:

[VEJA NA LOJA](#)

Construções em alvenaria estrutural Materiais, projeto e desempenho

Gihad Mohamad

ISBN: 9788521214595

Páginas: 422

Formato: 17 x 24 cm

Ano de Publicação: 2020

Peso: 0,682 kg
