



# CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Materiais, projeto e desempenho

GIHAD MOHAMAD  
coordenador

**Blucher**

# Construções em Alvenaria Estrutural

Materiais, projeto e desempenho

**Blucher**

Gihad Mohamad  
coordenador

# Construções em Alvenaria Estrutural

Materiais, projeto e desempenho

*Construções em Alvenaria Estrutural – Materiais, projeto e desempenho*  
© 2015 Gihad Mohamad  
Editora Edgard Blücher Ltda.

---

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4<sup>o</sup> andar  
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil  
Tel.: 55 11 3078 5366

**contato@blucher.com.br**

**www.blucher.com.br**

Segundo Novo Acordo ortográfico, conforme 5<sup>a</sup> 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.

---

Ficha catalográfica

---

Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho / coordenado por Gihad Mohamad. -- São Paulo: Blucher, 2015.

Vários autores

Bibliografia

ISBN 978-85-212-0796-2

1. Engenharia de estruturas 2. Alvenaria

I. Mohamad, Gihad

13-0940

CDD 624.1

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia de estruturas

# Prefácio

A inexistência de regulamentos e normas modernas para alvenaria que disciplinassem a sua utilização, à parte de outras motivações tecnológicas e estéticas, constituiu, no passado, uma razão importante para limitar a sua aplicação. Os critérios de natureza empírico-intuitiva com origem na experiência adquirida ao longo do tempo e em metodologias de cálculo aproximadas podem ser fortemente penalizadoras do ponto de vista econômico e conduzir a desempenhos deficientes. Esta situação encontra-se agora profundamente alterada, existindo normas, nomeadamente no que respeita à definição dos requisitos mínimos de resistência e aos critérios para a sua determinação, seja teórica ou experimental.

De forma a tornar a alvenaria resistente competitiva nos países desenvolvidos, ela deverá ser agora encarada não apenas como uma solução estrutural, mas como uma solução construtiva que contempla os aspetos estruturais, estéticos, acústicos, térmicos, de resistência ao fogo e de impermeabilidade. Depois dos altos e baixos durante a primeira metade do século XX, a alvenaria estrutural soube adaptar-se às novas exigências tecnológicas e estéticas da construção contemporânea, mantendo uma posição no mercado, cujo relevo é maior ou menor em diferentes zonas do planeta. No Brasil, a construção em alvenaria estrutural tem recebido enorme interesse da comunidade técnica e científica, com vantagens claras na racionalização da construção.

A presente publicação é editada por um conjunto de autores reconhecidos e contempla os diferentes aspetos necessários ao projeto de um edifício, tais como a conceção, seleção de materiais e controle, propriedades da alvenaria e dos seus componentes, juntas de movimentação e dimensionamento das paredes. Adicionalmente abordam-se temas menos correntes em outras publicações sobre a alvenaria como a patologia, a reparação e reforço em construções existentes, os danos acidentais, a segurança contra fogo e a sustentabilidade. Desta forma, o leitor tem acesso a um conjunto de informação diversificada e atual, bem como a uma vasta listagem de bibliografia complementar, que esta publicação certamente útil a projetistas, construtores, fornecedores de materiais e todos os interessados no tema das alvenarias.

Tenho tido o enorme prazer de colaborar com o coordenador desta edição, que desenvolveu o seu doutorado na Universidade do Minho, Portugal, sob minha supervisão, e o seu mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina, sob supervisão do professor Humberto Roman. Estou certo que esta colaboração entre Portugal e Brasil, e de forma mais abrangente entre os países de língua oficial portuguesa, que se encontram unidos, também, por um património e cultura comuns, permite importantes benefícios técnicos, económicos e sociais a todos os intervenientes.

Deixo os votos a todos de uma excelente leitura.

*Paulo B. Lourenço*  
Professor Catedrático da Universidade do Minho  
Diretor do Instituto para a Sustentabilidade e  
Inovação em Engenharia de Estruturas

Guimarães, Portugal, março de 2013.



## **AGRADECIMENTO ESPECIAL**

Eu gostaria de agradecer ao professor Odilon Pancaro Cavalheiro, pelas suas sugestões e tempo dedicado na revisão acurada do texto deste livro. Além de um grande mestre da graduação em Engenharia Civil, o professor Odilon Pancaro Cavalheiro é um dos maiores apoiadores e difusores dos estudos em Alvenaria Estrutural na região, irradiando o seu conhecimento, principalmente, aos jovens engenheiros, incentivando-os a continuarem a difundir o sistema construtivo em Alvenaria Estrutural, como uma alternativa tecnológica racional e sustentável para a construção civil.

*Gihad Mohamad*

Eu dedico este livro aos meus dois filhos,  
Aliah Campos Mohamad e Nasser Campos Mohamad  
e à minha companheira e esposa, Andrea Garcia Campos.





## **NOTA SOBRE OS AUTORES**

### **Gihad Mohamad (coordenador)**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: gihad.civil@gmail.com

### **Aldo Leonel Temp**

Mestrando PPGEC – Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, prédio 07, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: misteraldo1@gmail.com

### **Diego Willian Nascimento Machado**

Mestrando PPGEC – Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, prédio 07, Centro de Tecnologia Santa Maria, RS.

e-mail: diego\_nas\_mac@hotmail.com

### **Eduardo Rizzatti**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: edu\_rizzatti@yahoo.com.br

### **Guilherme Aris Parsekian**

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar – Rodovia Washington Luís (SP-310), km 235, São Carlos, São Paulo, Brasil

e-mail: parsekian.ufscar@gmail.com

### **Humberto Ramos Roman**

Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico – Rua João Pio Duarte, 205, Bairro Córrego Grande, Florianópolis, SC.

e-mail: humberto.roman@ufsc.br

**Kamila Kappaun Kothe**

Arquiteta e urbanista – Mestre em Engenharia Civil

e-mail: kamila2210@gmail.com

**Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, prédio 07, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: joaquimpizzutti@hotmail.com

**Larissa Deglioumini Kirchhof**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Expressão Gráfica – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: larissadk@gmail.com

**Leila Cristina Meneghetti**

Universidade de São Paulo – USP – Butantã, São Paulo, SP.

e-mail: lmeneghetti@gmail.com

**Márcio Santos Faria**

ArqEst Consultoria e Projetos Ltda. – Rua Coronel Vaz de Melo, 32/102, Bairro Bom Pastor, Juiz de Fora, MG

e-mail: arq.est.ae@gmail.com

**Marcos Alberto Oss Vaghetti**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: marcos.vaghetti@ufsm.br

**Mônica Regina Garcez**

Universidade Federal de Pelotas – UFPel – Rua Almirante Barroso, nº 1.734, Centro, Pelotas, RS.

e-mail: mrgarcez@hotmail.com

**Rafael Pires Portella**

Mestrando PPGEC – Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, prédio 07, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: portellarafael@hotmail.com

**Rogério Cattelan Antochaves de Lima**

Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: rogerio@ufsm.br

**Usama Nessim Samara**

Mestrando PPGEC – Universidade Federal de Santa Maria – Departamento de Estruturas e Construção Civil – Avenida Roraima, Prédio 7, Centro de Tecnologia, Santa Maria, RS.

e-mail: usama.nsd@gmail.com

**Vladimir Guilherme Haach**

EESC/USP – Departamento de Engenharia de Estruturas – Avenida Trabalhador São-carlense, 400, São Carlos, SP.

e-mail: vghaach@sc.usp.br



# Conteúdo

1. Introdução à alvenaria estrutural	
1.1 Introdução .....	17
1.2 O uso da alvenaria estrutural no Brasil .....	22
1.3 Vantagens econômicas do sistema em alvenaria estrutural.....	23
1.4 Desempenho térmico de edificações em alvenaria estrutural.....	24
1.5 Bibliografia .....	36
2. Projeto em alvenaria estrutural – definições e características	
2.1 Considerações iniciais .....	39
2.2 Projeto arquitetônico .....	40
2.3 Distribuição e arranjos das paredes estruturais no projeto arquitetônico .....	41
2.4 Definições de projeto e detalhamento.....	48
2.5 Execução e controle de obras em alvenaria estrutural .....	77
2.6 Coordenação de projetos em alvenaria estrutural .....	81
2.7 Bibliografia .....	85
3. Propriedades da alvenaria estrutural e de seus componentes	
3.1 Blocos de silicocalcário, de concreto e cerâmicos.....	89
3.2 Especificações normativas de classificação das unidades.....	91
3.3 Argamassas de assentamento para alvenaria estrutural .....	103
3.4 Grautes para alvenaria estrutural .....	111
3.5 Ruptura da alvenaria à compressão.....	114
3.6 Caracterização física e mecânica das alvenarias .....	125
3.7 Efeito do não preenchimento de juntas verticais no desempenho da alvenaria estrutural .....	127
3.8 Conclusão .....	129
3.9 Bibliografia .....	129

4. Juntas de movimentação na alvenaria estrutural	
4.1 Introdução .....	133
4.2 Junta de dilatação .....	133
4.3 Definição de juntas de controle .....	134
4.4 Condições de estabilidade estrutural e isolamento.....	135
4.5 Características físicas dos materiais (concreto e cerâmico) .....	136
4.6 Recomendações normativas .....	137
4.7 Critérios de projeto .....	140
4.8 Bibliografia .....	148
5. Dimensionamento de paredes à compressão e ao cisalhamento	
5.1 Introdução .....	149
5.2 Critérios de segurança nas estruturas .....	149
5.3 Ações e resistência de acordo com a NBR 15812-1:2010 e NBR 15961-1:2011.....	152
5.4 Ações e resistência de acordo com a BS 5628-1 (1992).....	155
5.5 Dimensionamento da alvenaria .....	160
5.6 Bibliografia .....	187
6. Patologia, recuperação e reforço em alvenaria estrutural	
6.1 Introdução .....	189
6.2 Patologias frequentes em alvenaria estrutural .....	191
6.3 Intervenções em elementos de alvenaria estrutural .....	196
6.4 Técnicas convencionais.....	197
6.5 Polímeros reforçados com fibras (PRF) .....	201
6.6 Bibliografia .....	216
7. Danos acidentais	
7.1 Introdução .....	219
7.2 Risco de dano acidental .....	220
7.3 Ações excepcionais.....	221
7.4 Consideração de situações acidentais em projeto.....	223
7.5 Recomendações normativas .....	227
7.6 Comentários finais .....	231
7.7 Bibliografia .....	231
8. Segurança contra o fogo em edificações, na alvenaria estrutural	
8.1 Considerações iniciais .....	233
8.2 Códigos normativos para avaliar os efeitos de incêndios em edificações.....	244
8.3 Bibliografia .....	265

## 9. Princípios de sustentabilidade na alvenaria estrutural

9.1 Introdução .....	269
9.2 Aspectos técnicos da sustentabilidade nas edificações.....	276
9.3 Alvenaria estrutural com tijolos ecológicos de solo cimento .....	281
9.4 Estudo de “Casa Popular Eficiente” com tijolos de solo cimento .....	286
9.5 Bibliografia .....	291
Agradecimentos .....	293

## 10. Execução e controle de obras

10.1 Introdução .....	295
10.2 Mudanças e desafios .....	296
10.3 Produção dos materiais .....	300
10.4 Equipamentos para execução da alvenaria .....	304
10.5 Metodologia de execução – passo a passo para construir alvenarias de blocos vazados de concreto.....	313
10.6 Exemplos da obra e detalhes construtivos .....	334
10.7 Plano de controle .....	342
10.8 Especificação, recebimento e controle da produção dos materiais .....	342
10.9 Controle da resistência dos materiais e das alvenarias à compressão axial .....	345
10.10 Controle da produção da alvenaria .....	354
10.11 Critério de aceitação da alvenaria .....	354
10.12 Bibliografia .....	355





# Introdução à alvenaria estrutural

*Gihad Mohamad, Eduardo Rizzatti, Joaquim Cesar Pizzutti dos Santos e Kamila Kappaun Kothe*

## 1.1 INTRODUÇÃO

As principais construções que marcaram a humanidade pelos aspectos estruturais e arquitetônicos eram compostas por unidades de blocos de pedra ou cerâmicos intertravados com ou sem um material ligante, como pode ser visto em construções como as pirâmides do Egito, o Coliseu Romano, a Catedral de Notre Dame, mostrados na Figura 1.1. Esses são exemplos que se destacam em relação ao material, a forma tipológica, o processo de construção e a segurança. A presença de blocos de pedra ou cerâmicos como material estrutural tornava o sistema estrutural mais limitado, no qual a tipologia em arco permitia vencer grandes vãos, sem que surgissem tensões que levassem o material à ruptura.

A alvenaria estrutural existe há milhares de anos, e teve início com a utilização do conhecimento empírico, baseado na experiência dos construtores, em que a forma garantia a rigidez e a estabilidade estrutural. Essas obras magníficas, existentes até hoje em excelente estado de conservação, comprovam o potencial, a qualidade e a durabilidade desse processo construtivo. A arquitetura dessa época era uma combinação de efeitos, que faziam com que as estruturas funcionassem basicamente a compressão, absorvendo os esforços horizontais em razão do vento, por meio de contrafortes e arcobotantes, como mostra a Figura 1.2.

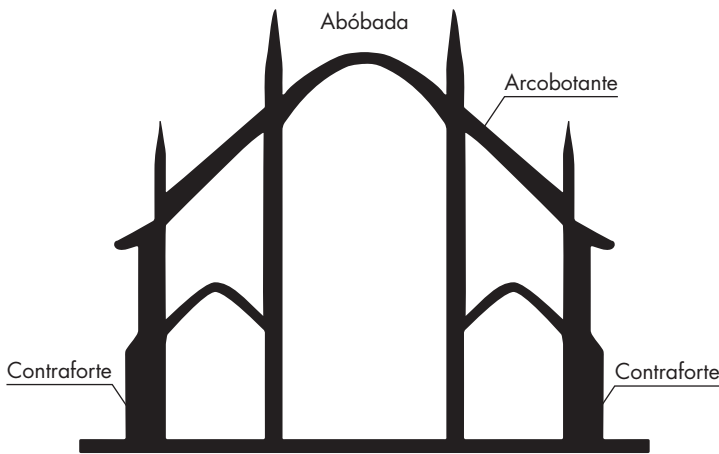


Fonte: vcsabiadisso.blogspot

Fonte: culturamix.com

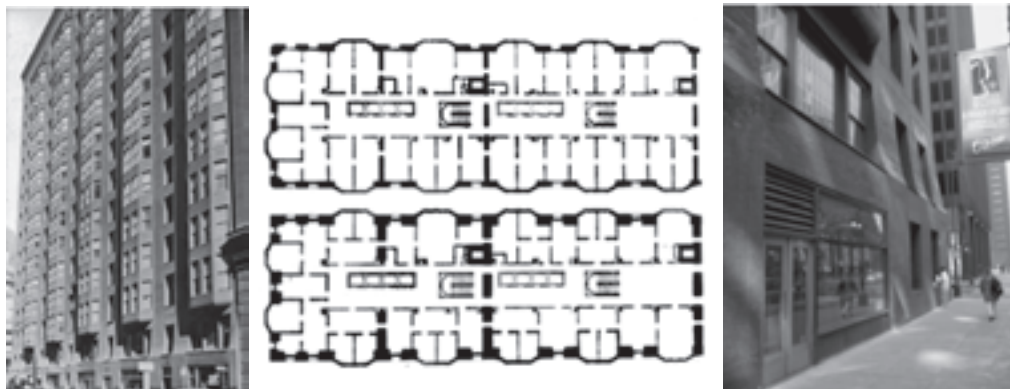
Fonte: Wikipedia.

**Figura 1.1** Construções que utilizaram o conceito da alvenaria com função resistente.



**Figura 1.2** Esquema estrutural das construções em alvenarias de pedra.

No passado, o conhecimento era adquirido pelas experiências dos construtores, passando de geração em geração até, aproximadamente, o início do século XX. Uma obra no período de 1889-1891 foi o prédio “Monadnock”, exemplo marcante de construção em alvenaria de 16 pavimentos e 65 m de altura, com paredes de 1,80 m de espessura, no pavimento térreo (Figura 1.3). Esse tipo de construção era caracterizado pela dificuldade de racionalização do processo executivo e pelas limitações de organização espacial, tornando o sistema lento e de custo elevado. Em consequência disso, 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.



**Figura 1.3** Edifício alto construído em alvenaria estrutural no período de 1889 - 1891.

O marco inicial da “Moderna Alvenaria Estrutural” teve início com os estudos realizados pelo professor Paul Haller, na Suíça, conduzindo uma série de testes em paredes de alvenaria, em razão da escassez de concreto e aço proporcionada pela Segunda Guerra Mundial. Durante sua carreira foram testadas mais de 1.600 paredes de tijolos. Os dados experimentais serviram como base no projeto de um prédio de 18 pavimentos, com espessuras de parede que variaram entre 30 e 38 cm. Estas paredes, com espessura muito reduzida para a época, causaram uma revolução no processo construtivo existente (TMS, 2005).

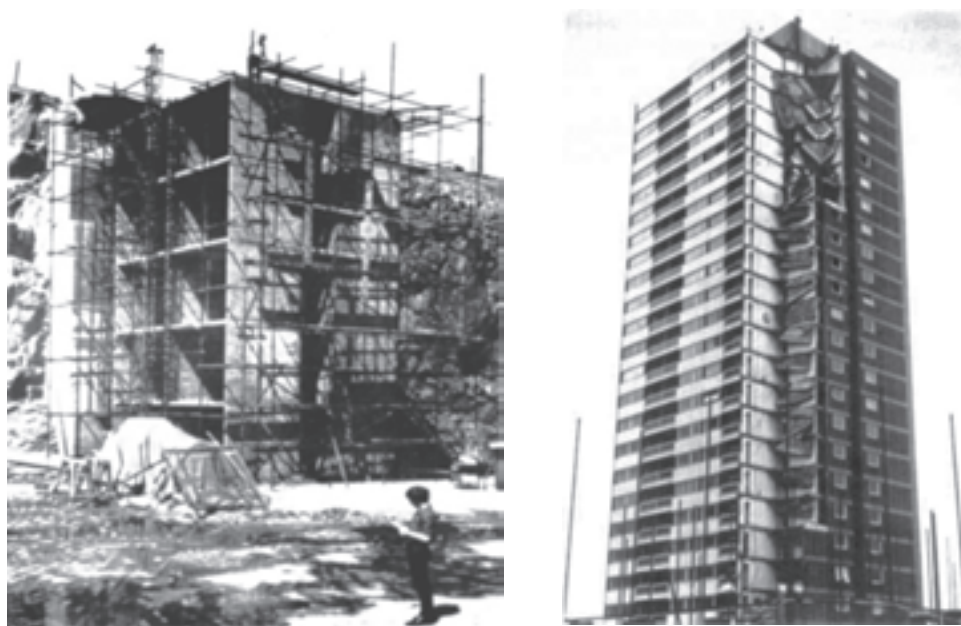
A partir desses estudos, tem início a intensificação e a disseminação do uso da alvenaria estrutural como sistema construtivo, por meio de amplos resultados experimentais que proporcionaram a criação de teorias e critérios de projeto, aliados ao intenso progresso na fabricação de materiais e componentes apropriados para a execução. Somente na década de 1950 as normalizações forneceram os critérios básicos para o projeto de elementos de parede a compressão. Entretanto, essas normalizações possuíam procedimentos analíticos e teóricos rudimentares, quando comparados às normalizações de aço e concreto. Os problemas principais consistiam, basicamente, no caráter frágil do material a compressão, sendo amenizados, 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 de 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 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.

Os avanços nas pesquisas possibilitaram a realização, na década de 1960, de testes em escala real de prédios em alvenaria de cinco andares, desenvolvidos pela Universidade de Edimburgh 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 avaliação de novos projetos, para efetivar a avaliação das precauções estruturais para danos acidentais e, principalmente, para a resposta da construção nos casos de perda instantânea de um elemento estrutural. Os estudos representaram um importante avanço no conhecimento e desenvolvimento de testes experimentais em alvenarias estruturais.

A Figura 1.4 mostra as fotos do prédio de cinco pavimentos, utilizado nos ensaios de avaliação estrutural de danos acidentais em edificações, realizados pela Universidade de Edimburgh, juntamente com o colapso progressivo de uma construção na prumada correspondente à cozinha, em decorrência de uma explosão de gás.



**Figura 1.4** Prédio em alvenaria estrutural utilizados para a simulação de danos acidentais e o colapso progressivo de uma edificação de múltiplos pavimentos.

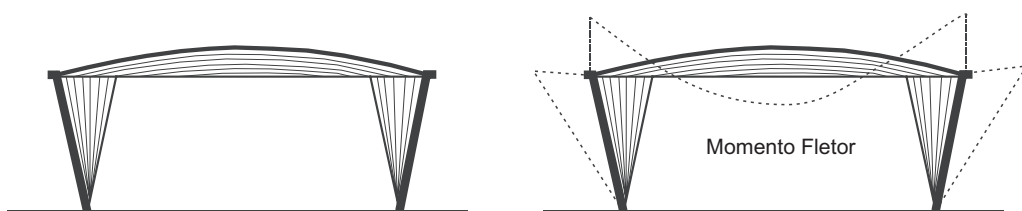
Fonte: HENDRY, 1981.

Na América do Sul, uma construção que se destacou em termos de domínio da técnica e forma foi realizada pelo engenheiro uruguaio Eladio Dieste, na década de 1950, cujas obras marcantes utilizavam cascas, construídas com o sistema em alvenaria estrutural, em cerâmica armada, como pode ser visto na Figura 1.5, na obra da igreja de Cristo Trabalhador em Atlântida (1955-1960). As construções em cascas em alvenaria estrutural de cerâmica armada eram compostas por tijolos cerâmicos, juntas de argamassa armada, camada superior de argamassa e malha de aço na região da interface dos tijolos cerâmicos e a camada superior de argamassa. 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 superior, diminuindo assim o momento fletor do vão entre as paredes estruturais da igreja, como mostra a Figura 1.6.



**Figura 1.5** Igreja de Atlântida no Uruguai projetada por Eladio Dieste.

Fonte: EPFL.



**Figura 1.6** Corte transversal da igreja juntamente com o diagrama de momento fletor.

Atualmente, 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 USO DA ALVENARIA ESTRUTURAL NO BRASIL

A alvenaria no Brasil 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. A maioria das edificações possuía quatro pavimentos com critérios de execução e dimensionamentos baseados na experiência do construtor. Comumente, as paredes dessas edificações eram constituídas por unidades cerâmicas maciças (tijolos) nos três primeiros pavimentos e no último eram usados unidades vazadas, com furos na direção do assentamento da parede. 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).

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, Figura 1.7(a). Essa obra foi realizada com paredes com espessura de 19 cm e quatro pavimentos. Em 1972 foi construído, no mesmo conjunto habitacional, quatro prédios de 12 pavimentos cada, em alvenaria armada, Figura 1.7(b).

Em 1970, em São José dos Campos/SP, foi construído o edifício “Muriti”, com 16 pavimentos, em alvenaria armada de blocos de concreto, Figura 1.7(c).

O edifício pioneiro em alvenaria não armada, no Brasil, foi o Jardim Prudência, construído na cidade de São Paulo, em 1977. A edificação de nove pavimentos, em blocos de concreto de silicocalcário com paredes de 24 cm de espessura, Figura 1.7(d).

Os blocos cerâmicos nas obras em alvenarias estruturais não armadas ou armadas começam 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.

Na década de 1990 foi construído o edifício residencial “Solar dos Alcântaras” em São Paulo/SP. Atualmente, essa edificação é a maior do Brasil em alvenaria estrutural armada, com paredes de blocos de concreto com 14 cm de espessura do primeiro ao último andar, Figura 1.7(e).

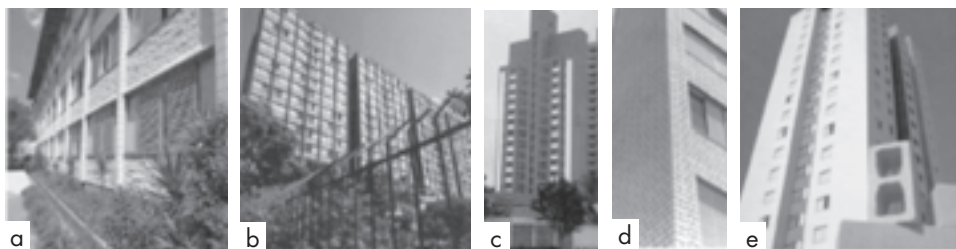


Figura 1.7 Prédios precursores da alvenaria estrutural construídos no Brasil.

Fonte: ABCI, 1990.

### 1.3 VANTAGENS ECONÔMICAS DO SISTEMA EM ALVENARIA ESTRUTURAL

As constantes dificuldades em razão do aumento gradual da concorrência e aos níveis de exigência construtiva têm provocado, nas empresas construtoras, uma mudança nas estratégias, de forma a 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?” e “Como ganhar dinheiro vendendo uma casa ou apartamento de 50.000 a 100.000 reais?”. Essas duas perguntas são fundamentais para entender o atual cenário brasileiro, em face do aumento do número de crédito para as construções de habitações de interesse social. Por isso, a alvenaria estrutural está sendo largamente utilizada como sistema construtivo capaz de responder essas perguntas, pois é capaz de atender aos critérios globais de desempenho e custo.

A alvenaria estrutural possui diversas vantagens, na qual a econômica é uma das principais, em virtude da otimização de tarefas na obra, por meio de técnicas executivas simplificadas e facilidade de controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, gerando uma redução no desperdício de materiais produzido pelo constante retrabalho. Como consequência, o sistema construtivo em alvenaria estrutural conseguiu proporcionar uma flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras. Isso tornou o sistema em alvenaria competitivo no Brasil, quando comparado com o concreto armado e o aço. A Tabela 1.1 apresenta a porcentagem de redução no custo de uma obra em alvenaria, comparado com as estruturas convencionais (WENDLER, 2005). Os dados apresentados na Tabela 1.1 são custos relativos aproximados entre a estrutura convencional (concreto armado) e a alvenaria estrutural, em função do número de pavimentos e da complexidade do empreendimento. Esse trabalho foi redigido e apresentado nas reuniões do grupo de trabalho “Insumos e Novas Tecnologias” da HabiCamp. Também serviu de base para o curso sobre projeto de alvenaria estrutural com Blocos Vazados de Concreto, fornecido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).



**Tabela 1.1** Custos aproximados entre as estruturas convencionais e a alvenaria estrutural no Brasil

<b>Característica da obra</b>	<b>Economia (%)</b>
Quatro pavimentos	25-30
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada	20-25
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria armada	15-20
Sete pavimentos com pilotis	12-20
Doze pavimentos sem pilotis	10-15
Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	8-12
Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	4-6

Fonte: adaptado de WENDLER, 2005.

De acordo com os dados da Tabela 1.1, é possível concluir que, para prédios de até quatro pavimentos, acontece uma redução no custo da estrutura de 25% a 30%, quando comparado ao concreto armado. À medida que se aumenta o número de pavimentos essa redução diminui para valores em torno de 4% a 6%. Atualmente, os vários programas de apoio à construção de habitações populares para baixa renda, de até quatro pavimentos, têm levado as construtoras a adotarem o sistema construtivo em alvenaria estrutural como um método construtivo adequado aos padrões de exigências dos órgãos financiadores.

## **1.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL**

Conhecer o desempenho térmico dos fechamentos das edificações permite aos projetistas estabelecerem 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 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 em relação aos padrões normalmente encontrados e são reduzidos os recursos para climatização artificial.

Para demonstrar o desempenho térmico de edificações em alvenaria estrutural, são apresentados os resultados obtidos de 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 PPGEC da UFSM, sob a orientação do professor 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, na 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 1.8 apresenta os dois tipos de edifícios executados lado a lado, enquanto a Figura 1.9 mostra a planta baixa dos edifícios, na qual está assinalado o posicionamento dos registradores de temperatura utilizados tipo HOBO modelo H08-003-02 e a área de cada ambiente.

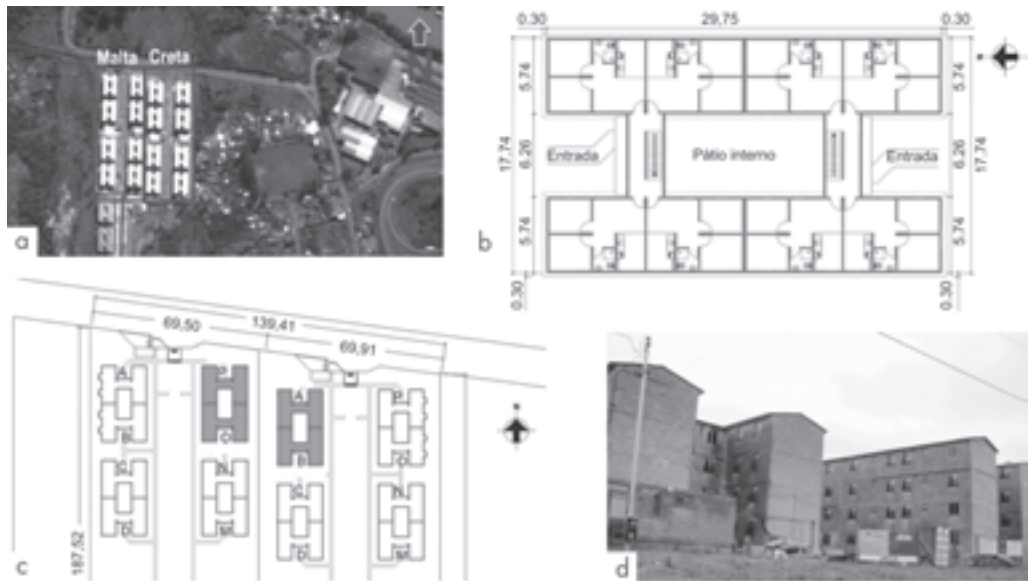


Figura 1.8 Disposição das edificações em alvenaria de blocos de concreto e cerâmico.

Fonte: KAPPAUN, 2012.

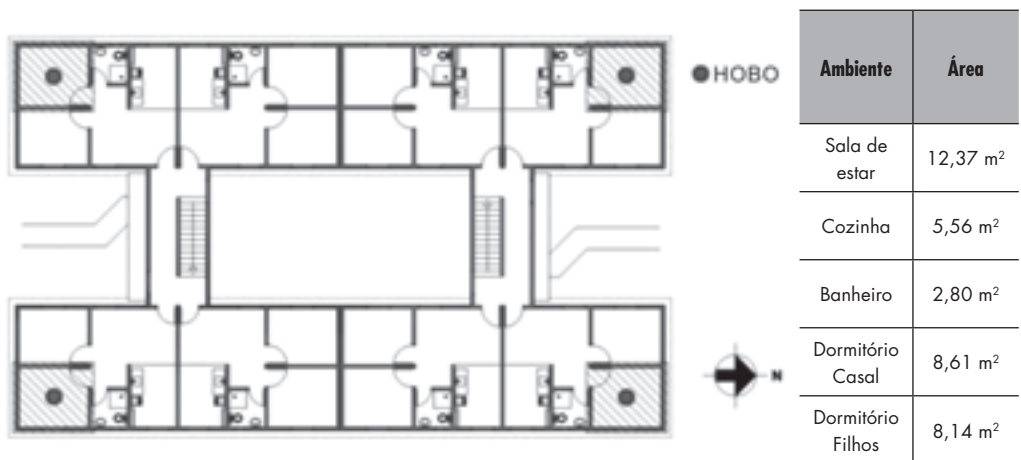
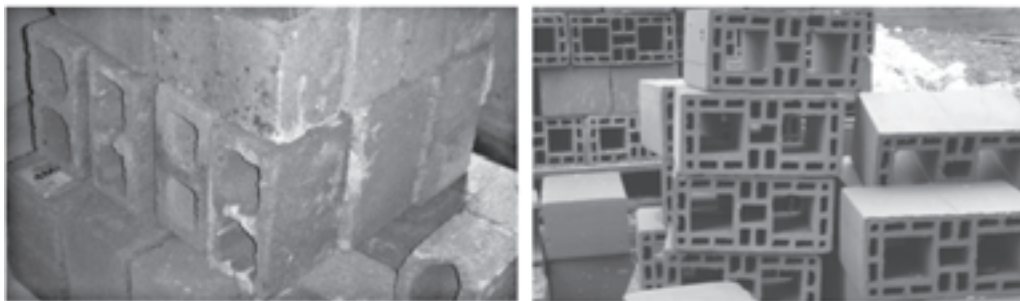


Figura 1.9 Posição das medições e áreas de cada apartamento.

Fonte: KAPPAUN, 2012.

As paredes internas e externas das edificações foram executadas com blocos estruturais de concreto e cerâmica, com espessura de 14 cm, conforme a Figura 1.10, 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 foi na cor bege-clara em ambos os edifícios.



**Figura 1.10** Formato dos blocos de concreto e cerâmico empregado nas edificações.

Fonte: KAPPAUN, 2012.

A cobertura da edificação é em telha de fibrocimento, com laje de entrepiso e forro 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 juntamente permitem a troca de ar no espaço entre a laje de cobertura e a telha de fibrocimento, como destacado na Figura 1.11.



**Figura 1.11** Posições dos dutos das aberturas horizontais e dutos verticais de ventilação da cobertura.

Fonte: KAPPAUN, 2012.

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 1.2.

**Tabela 1.2** Características dos materiais analisados no estudo

	Bloco estrutural concreto	Bloco estrutural 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 <sup>2</sup> )	409,88	406	–
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	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

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

A partir do valores da Tabela 1.2 foram realizados, por meio dos procedimentos definidos pela norma 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<sub>t</sub>), o atraso térmico (Φ) e o fator solar (FS), valores estes que estão listados na Tabela 1.3. Ambas as edificações foram consideradas sem o uso de graute para o cálculo de todos os parâmetros.

**Tabela 1.3** Valores de resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar para o bloco estrutural de concreto e cerâmico

	Bloco estrutural concreto	Bloco estrutural cerâmico
Resistência térmica da parede (m <sup>2</sup> .K)/W	0,1769	0,3083
Resistência térmica total (m <sup>2</sup> .K)/W	0,3469	0,4783
Transmitância térmica – U (W/(m <sup>2</sup> .K))	2,8827	2,0907
Capacidade térmica – C <sub>t</sub> (KJ/(m <sup>2</sup> .K))	264,3171	194,1747
Atraso térmico – Φ (h)	4,19	4,54
Fator Solar FS (%) – α = 0,25	2,88	2,09

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

Observa-se nos valores da Tabela 1.3 a menor transmitância térmica e capacidade térmica do fechamento com blocos cerâmicos. Isso ocorre pelo maior número de espaços de ar no interior deste tipo de bloco e o menor valor de condutividade térmica e de peso específico do material. A Tabela 1.4 apresenta os valores limites estabelecidos pelas normas brasileiras de desempenho, evidenciando o cumprimento ou não dos limites pelas alvenarias analisadas.

**Tabela 1.4** Comparação de valores calculados de transmitância térmica, atraso térmico, fator solar e capacidade térmica para vedações verticais com os valores limites

Norma Bras.	Zona Bioc.	$U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> )	U conc	U cerâm	$\Phi_{lim}$ (hs)	$\Phi$ conc	$\Phi$ cerâm	FS <sub>lim</sub> (%)	FS conc	FS cerâm	$C_t_{lim}$ KJ/(m <sup>2</sup> · K)	$C_t$ conc	$C_t$ cerâm
NBR 15220-2:2005	1 e 2	≤ <b>3,00</b>	2,88	2,09	≤ <b>4,3</b>	4,2	4,5	≤ <b>5,0</b>	2,9	2,1	–	–	–
	3, 5 e 8	≤ <b>3,60</b>	2,88	2,09	≤ <b>4,3</b>	4,2	4,5	≤ <b>4,0</b>	2,9	2,1	–	–	–
	4, 6 e 7	≤ <b>2,20</b>	2,88	2,09	≥ <b>6,5</b>	4,2	4,5	≤ <b>3,5</b>	2,9	2,1	–	–	–
NBR 15575-4:2013	1 e 2	≤ <b>2,50</b>	2,88	2,09	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3 a 8 $\alpha \leq 0,6$	≤ <b>3,70</b>	2,88	2,09	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3 a 8 $\alpha \geq 0,6$	≤ <b>2,50</b>	2,88	2,09	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1 a 7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	≥ <b>130</b>	264,1	194,2
	8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Sem lim	264,1	194,2

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

Os limites de transmitância térmica (U) são diferentes nas duas normas existentes, sendo que, considerando a NBR 15220-2:2005, os fechamentos verticais executados com ambos os blocos tem 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 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 for superior a 0,6, não cumprindo a norma, enquanto o bloco cerâmico cumpre a norma para todas as zonas.

O atraso térmico ( $\Phi$ ) somente é considerado na 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) também é considerado apenas para 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 pintura de cores claras.

A Capacidade Térmica ( $C_t$ ) é considerada como limite pela NBR 15575-4:2013, sendo que ambos os blocos apresentam valores superiores ao mínimo estabelecido, ou seja, caracterizando como um fechamento de inércia térmica elevada.

No estudo de caso do desempenho térmico das edificações em bloco de concreto e cerâmico foram selecionados 16 apartamentos para serem efetuadas as medições de temperaturas, sendo 8 apartamentos em cada edifício e, destes, 4 apartamentos no segundo pavimento e 4 apartamentos 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 esta 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 4 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 1.12. As medições foram realizadas nas mesmas posições nos apartamentos, independente do tipo de bloco, da orientação solar e do andar em que se encontravam.



**Figura 1.12** Planta baixa básica do apartamento.

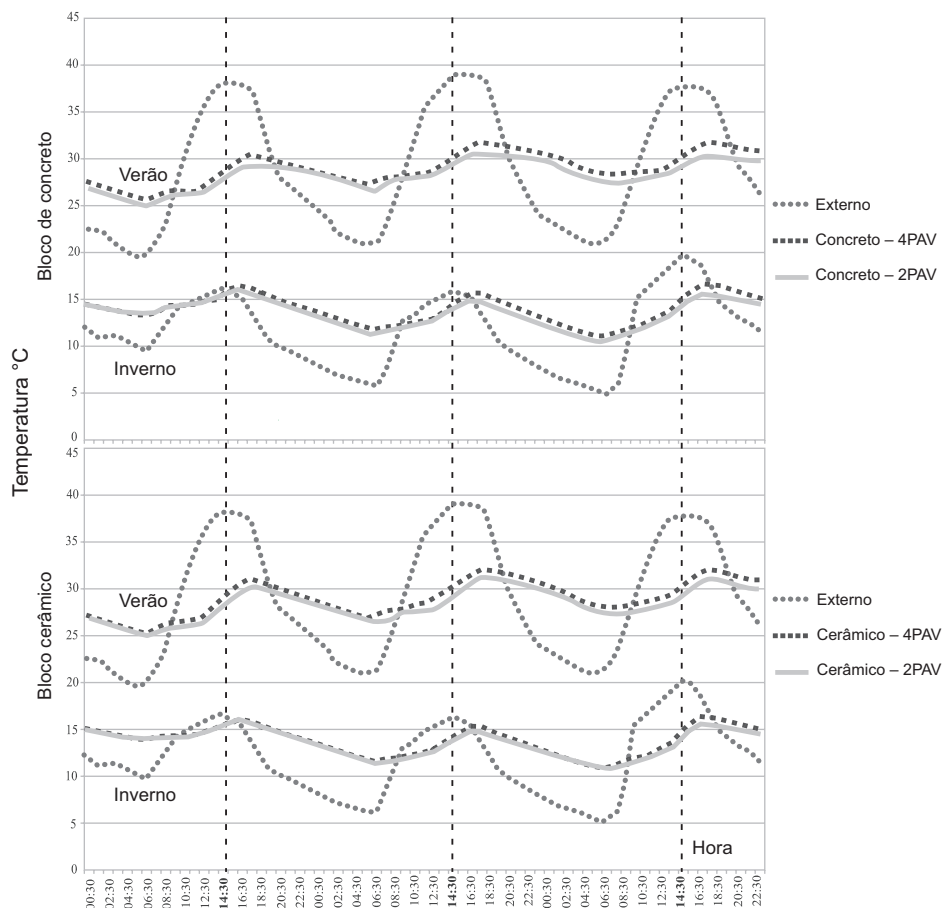
Fonte: (a) KAPPAUN, 2012; (b) adaptado de Baliza Empreendimentos Imobiliários Ltda.

As medições foram realizadas por um período de 15 dias em apartamentos desabitados, desocupados e fechados, para 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, e juntamente com medidas de temperaturas externas. Como as edificações possuem a mesma orientação solar, mesma planta baixa, mesma localização e regime de ventos semelhantes, estas 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 relacionando com as variações das temperaturas externas. Para as três

análises citadas foram consideradas 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, sendo feito um estudo comparativo entre as temperaturas internas obtidas no segundo pavimento e as do pavimento de cobertura. Para esse estudo foi considerado o valor médio das quatro medições realizadas em cada andar, cujos resultados são apresentados na Figura 1.13, enquanto na Tabela 1.5 são apresentados os principais valores comparativos encontrados para o inverno e verão, respectivamente.



**Figura 1.13** Variação da temperatura externa e interna nos segundo e quarto pavimentos – verão e inverno.

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

**Tabela 1.5** Valores comparativos de temperatura para o período de inverno e verão em função do tipo de bloco que compõe a parede

Período medição	Tipo de bloco	Pavimento	Média min.(°C)	Média máx.(°C)	Amplit. média ( $\Delta t$ )	Amort. médio (%)	Atraso médio $\phi$ (hs)
Inverno	Concreto	2° andar	11,5	15,6	4,1	62,5	2:00
		Cobertura	11,8	16,4	4,6	57,9	2:20
	Cerâmico	2° andar	11,4	15,1	3,7	66,1	2:40
		Cobertura	11,6	15,6	4,0	63,8	2:40
		Temp. externa	6,4	17,3	10,9	–	–
Verão	Concreto	2° andar	26,2	30,1	3,9	78,2	3:40
		Cobertura	26,8	31,2	4,4	75,3	4:00
	Cerâmico	2° andar	26,0	30,8	4,8	73,1	3:20
		Cobertura	26,4	31,6	5,2	70,8	4:00
		Temp. externa	20,3	38,1	17,8	–	–

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

Como a cobertura é a parte da edificação mais exposta à radiação solar, esta tem muita influência na carga térmica ganha durante os períodos quentes. Por outro lado, as perdas térmicas nos períodos frios também são intensas por esse 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, resultando médias de mínimas e de máximas também maiores. Assim como as amplitudes térmicas, com menor amortecimento da variação térmica externa, 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 °C e nas máximas de 0,8 °C, e no verão de 0,6 °C nas mínimas e de 0,8 °C nas máximas.

O pavimento da cobertura deve ser pensado durante a fase de concepção do projeto, para que sejam buscadas alternativas corretas para 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 com aparecimento de fissuras nas paredes desse pavimento.

Para a 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 estes ambientes o diferencial de possuírem paredes cegas na orientação norte ou sul, resultando quatro orientações solares.

A Figura 1.14 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 1.15 apresenta os resultados de temperaturas internas em comparação às temperaturas externas, para as diferentes orientações solares, considerando os três dias com temperaturas externas mais altas do período verão, para os dois diferentes tipos de blocos.

Durante todo o período analisado de inverno, observa-se com ambos os blocos temperaturas 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 que a oeste as maiores temperaturas são a tarde. Nesse período fica evidente o grande amortecimento na amplitude térmica externa, que ocorre por temperaturas mínimas internas maiores, por causa da grande inércia térmica da edificação que se mantém aquecida durante a noite pelo 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 entre as curvas da Figura 1.15. Nesse caso, o amortecimento térmico ocorre em razão da redução das temperaturas máximas, e aumento das mínimas, devido a capacidade térmica dos fechamentos que absorve calor durante o dia, reduzindo a temperatura interna, e restitui a noite elevando a temperatura.

Analisando pelos critérios da NBR 15575-4:2013, 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.

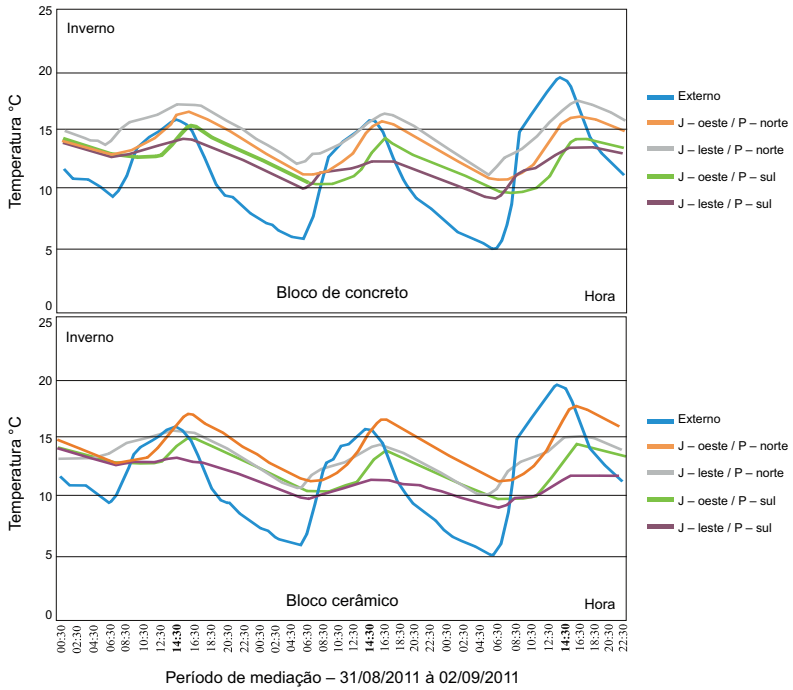


Figura 1.14 Variação da temperatura externa e interna no inverno.

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

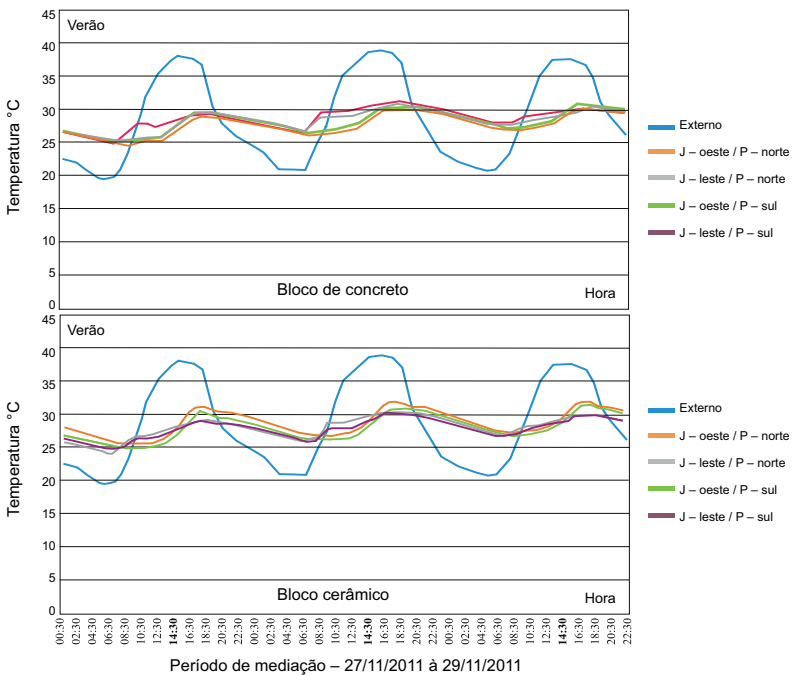


Figura 1.15 Variação da temperatura externa e interna no verão.

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

A Tabela 1.6 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.

**Tabela 1.6** Temperaturas máximas e mínimas, 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 ( $\Delta t$ )	Amort. médio (%)	Atraso médio (hs)
Inverno	Concreto	Janela O-Parede N	11,9	16,4	4,5	58,0	1:40
		Janela L-Parede N	12,3	17,0	4,7	57,0	1:20
		Janela O-Parede S	11,1	15,1	4,0	62,5	2:00
		Janela L-Parede S	10,7	13,7	3,0	72,4	1:00
	Cerâmico	Janela O-Parede N	11,9	17,2	5,3	50,0	2:40
		Janela L-Parede N	11,8	15,5	3,7	66,5	1:20
		Janela O-Parede S	11,1	15,0	3,9	64,5	2:00
		Janela L-Parede S	10,6	12,8	2,2	78,8	1:00
		Temp. externa	6,4	17,3	10,9	–	–
Verão	Concreto	Janela O-Parede N	25,8	29,7	3,9	77,8	2:20
		Janela L-Parede N	26,2	29,9	3,7	79,4	3:40
		Janela O-Parede S	26,3	30,5	4,2	76,7	2:00
		Janela L-Parede S	26,5	30,3	3,8	78,7	3:20
	Cerâmico	Janela O-Parede N	26,5	31,7	5,2	70,9	3:00
		Janela L-Parede N	25,7	29,8	4,1	77,4	3:20
		Janela O-Parede S	25,9	31,9	6,0	66,2	3:00
		Janela L-Parede S	25,8	29,8	3,9	77,9	3:00
		Temp. externa	20,3	38,1	17,8	–	–

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

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. 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, ou seja, 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 para o 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 fazendo um comparativo entre a média das temperaturas medidas em todas as 4 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 1.7 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.

**Tabela 1.7** Temperaturas máximas e mínimas, 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 (hs)
Inverno	Concreto	11,5	15,5	4,0	63,3	1:30
	Cerâmico	11,3	15,1	3,8	64,9	1:45
	Temp.externa	6,4	17,3	10,9	–	–
Verão	Concreto	26,2	30,1	3,9	78,1	2:35
	Cerâmico	26,0	30,8	4,8	73,0	3:05
	Temp.externa	20,3	38,1	17,8	–	–

Fonte: adaptado de KAPPAUN, 2012.

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 favorece no período noturno, elevando as temperaturas mínimas, mas desfavorece 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, neste estudo, têm pouca influência no comportamento térmico das edificações estudadas, tanto no período de inverno como no verão. Assim, para edificações em alvenaria estrutural construídas com os modelos de blocos apresentados neste 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.

## 1.5 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA (ABCI).

*Manual técnico de alvenaria*. São Paulo: ABCI, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **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: ABNT, 2005.

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

- CAMACHO, J. S. **Alvenaria estrutural não-armada**. Parâmetro básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes. 1986. Dissertação (Mestrado) – UFRGS, Porto Alegre, ago. 1986.
- CULTURAMIX.COM. **O Coliseu Romano**. Disponível em: <<http://turismo.culturamix.com/atracoes-turisticas/o-coliseu-romano>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- 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.
- 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.
- MASONRY SOCIETY (TMS). **The masonry society**. Disponível em: <<http://www.masonrysociety.org/>>. Acesso em: jun. 2005.
- VCSABIADISSO. **Sobre as pirâmides no Egito e no mundo**. Disponível em: <<http://vcsabiadisso.blogspot.com.br/2013/01/sobre-as-piramides-no-egito-e-no-mundo.html>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- WENDLER, A. A. **Relatório sobre alvenaria estrutural**. Considerações econômicas. Disponível em: <<http://www.wendlerprojetos.com.br/frame.htm>>. Acesso em: jun. 2005.
- WIKIPÉDIA. **Catedral de Notre Dame de Paris**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Catedral\\_de\\_Notre-Dame-deParis](http://pt.wikipedia.org/wiki/Catedral_de_Notre-Dame-deParis)>. Acesso em: 20 fev. 2013.