

**CONSEQUÊNCIAS DE FALHAS NO CÁLCULO DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL:  
INVESTIGAÇÃO DAS PATOLOGIAS E DANOS ASSOCIADOS**

**CONSEQUENCES OF FAILURES IN THE CALCULATION OF STRUCTURAL DESIGN:  
INVESTIGATION OF THE PATHOLOGIES AND ASSOCIATED DAMAGE**

**CONSECUENCIAS DE LOS FALLOS EN EL CÁLCULO DE DISEÑO ESTRUCTURAL:  
INVESTIGACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS Y DAÑOS ASOCIADOS**

Eduardo Giovane de Souza<sup>1</sup>, Gerson de Marco<sup>1</sup>, Fabiana Florian<sup>1</sup>

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i1.6086>

PUBLICADO: 12/2024

**RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo investigar as consequências das falhas no cálculo de dimensionamento estrutural, com foco nas patologias e danos resultantes que podem comprometer a integridade e segurança das edificações. O dimensionamento estrutural é uma etapa crucial no processo de construção, sendo responsável por garantir que as estruturas suportem adequadamente as cargas a que serão submetidas ao longo de sua vida útil. No entanto, mesmo com os avanços tecnológicos e a utilização de novos métodos de cálculo, erros persistem e podem levar a sérias consequências, tanto estruturais quanto econômicas. Os resultados destacam a importância de cálculos precisos no dimensionamento estrutural, pois falhas nesse processo podem gerar patologias graves, como trincas e deformações excessivas, que comprometem diretamente a segurança e funcionalidade das edificações. A pesquisa também sugere que a adoção de novas tecnologias e *softwares* avançados de análise estrutural, aliados ao treinamento contínuo dos profissionais da área, pode reduzir significativamente os erros no dimensionamento, promovendo construções mais seguras e economicamente viáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Falhas. Estrutura. Patologia.

**ABSTRACT**

*This work aims to investigate the consequences of failures in structural design calculations, focusing on pathologies and resulting damages that can compromise the integrity and safety of buildings. Structural design is a crucial step in the construction process, being responsible for ensuring that structures adequately support the loads to which they will be subjected throughout their useful life. However, even with technological advances and the use of new calculation methods, errors persist and can lead to serious consequences, both structural and economic. The results highlight the importance of accurate calculations in structural design, as failures in this process can generate serious pathologies, such as cracks and excessive deformations, which directly compromise the safety and functionality of buildings. The research also suggests that the adoption of new technologies and advanced structural analysis software, combined with continuous training of professionals in the field, can significantly reduce errors in design, promoting safer and more economically viable constructions.*

**KEYWORDS:** Failures. Structure. Pathology.

**RESUMEN**

*Este trabajo tiene como objetivo investigar las consecuencias de los fallos en el cálculo del diseño estructural, centrándose en las patologías y daños resultantes que pueden comprometer la integridad y seguridad de los edificios. El diseño estructural es un paso crucial en el proceso constructivo, ya que se encarga de garantizar que las estructuras soporten adecuadamente las cargas a las que estarán sometidas a lo largo de su vida útil. Sin embargo, incluso con los avances tecnológicos y el uso de nuevos métodos de cálculo, los errores persisten y pueden tener graves consecuencias, tanto estructurales como económicas. Los resultados ponen de manifiesto la importancia de contar con*

---

<sup>1</sup> UNIARA - Universidade de Araraquara.

*cálculos precisos en el diseño estructural, ya que los fallos en este proceso pueden generar graves patologías, como grietas y deformaciones excesivas, que comprometen directamente la seguridad y funcionalidad de los edificios. La investigación también sugiere que la adopción de nuevas tecnologías y software avanzado de análisis estructural, combinado con la capacitación continua de profesionales en el área, puede reducir significativamente los errores en el diseño, promoviendo construcciones más seguras y económicamente viables.*

**PALABRAS CLAVE:** *Fracasos. Estructura. Patología.*

## Sumário

RESUMO .....	1
1 INTRODUÇÃO.....	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Alvenaria estrutural – Histórico.....	4
2.2 Alvenaria estrutural no Brasil .....	6
2.3 Alvenaria estrutural no contexto atual .....	7
3. PATOLOGIAS DAS PAREDES NÃO ESTRUTURAIS .....	7
3.1 Potenciais anomalias causadas pelas características de projeto .....	9
3.2 Potenciais anomalias causadas por ações externas e internas.....	10
4. RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS .....	11
5. CONSIDERAÇÕES .....	13

## **1. INTRODUÇÃO**

O processo de dimensionamento estrutural desempenha um papel essencial na concepção de edifícios, pontes e outras estruturas, assegurando segurança, durabilidade e funcionalidade ao longo da vida útil. No entanto, mesmo com avanços em métodos de análise e tecnologias de engenharia, falhas no cálculo de dimensionamento continuam sendo uma preocupação. Essas falhas podem resultar em patologias estruturais e danos que comprometem a integridade da estrutura e a segurança dos ocupantes (Araújo, 2015; Camacho, 1986).

Este estudo busca investigar as consequências das falhas no cálculo de dimensionamento estrutural, com ênfase nas patologias e danos resultantes que comprometem a segurança e a viabilidade econômica das construções. A hipótese é que erros nos cálculos de dimensionamento estrutural levam ao surgimento de patologias graves, como fissuras e deformações, afetando diretamente a segurança e aumentando os custos de manutenção. A metodologia utilizada foi baseada em análises teóricas e estudos de caso de falhas estruturais, com o objetivo de identificar as principais causas e os impactos dessas falhas.

Referências fundamentais incluem Araújo (2015), que discute as patologias em estruturas de concreto e suas causas, e Camacho (1986), que explora o desempenho e segurança na alvenaria estrutural, destacando a importância de cálculos precisos para evitar problemas estruturais. Esses estudos são complementados por autores como Giadh (2020), que aborda a durabilidade em construções de alvenaria, reforçando a necessidade de métodos rigorosos de cálculo para assegurar a integridade das edificações.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Alvenaria estrutural – Histórico**

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. 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 dos contrafortes externos de grande espessura de parede e arcobotantes, formando um pórtico resistente as tensões de tração, como mostra a Figura 1.2.

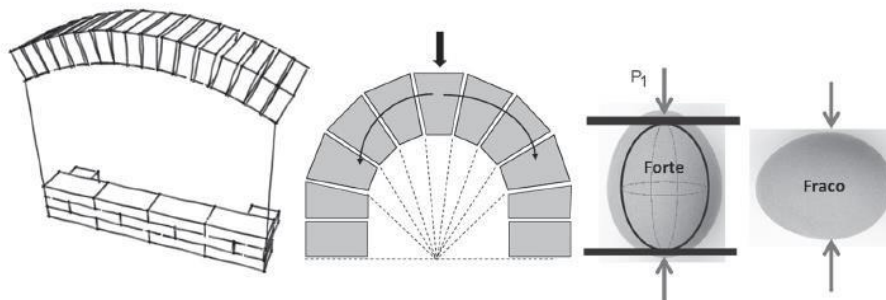


Figura 1. Ramalho, M. A.; CORRÊA, M.S.A., 2003

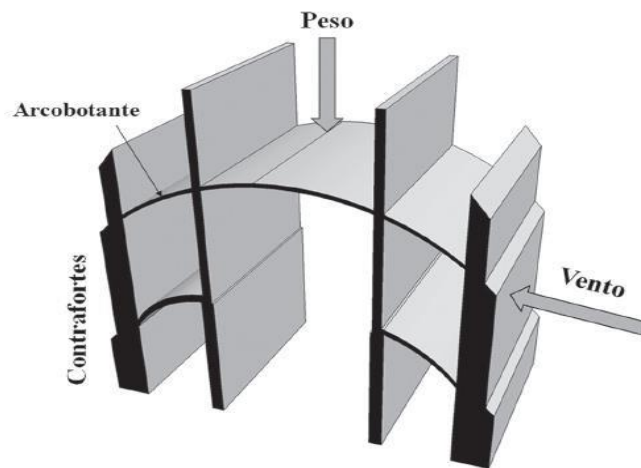


Figura 2. Ramalho, M. A.; Corrêa, M.S.A., 2003

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. Em muitas obras, mesmo não havendo material ligante entre as pedras, os pesos destas garantiam a estabilidade para as ações verticais e horizontais. Verificavase nas construções uma integração entre os materiais empregados com a tipologia e a técnica construtiva para a sua execução (Ramalho; Corrêa, 2003).

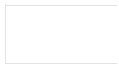


Figura 3. Ramalho, M. A.; Corrêa, M.S.A., 2003

A introdução do aço e do concreto trouxe maior versatilidade, esbeltez e a capacidade de criar grandes vãos, permitindo a busca pela liberdade arquitetônica. O conceito de "moderna alvenaria estrutural" começou com os estudos de Paul Haller na Suíça, durante a Segunda Guerra Mundial, quando a escassez de concreto e aço levou à realização de testes em paredes de alvenaria. Mais de 1.600 paredes de tijolos maciços foram testadas, servindo como base para o projeto de um edifício de dezoito andares, com espessuras de parede entre 30 e 38 centímetros (Ramalho; Corrêa, 2003).

Essas paredes, mais finas do que o habitual, revolucionaram o processo construtivo. A partir desses estudos, houve uma intensificação e disseminação do uso da alvenaria estrutural, com base em resultados experimentais que levaram ao desenvolvimento de teorias e critérios de projeto, além de avanços na fabricação de materiais apropriados.

Somente na década de 1950 foram estabelecidos critérios básicos para o projeto de elementos de parede sob compressão, embora esses critérios fossem mais rudimentares em comparação com os do aço e do concreto. Os desafios principais estavam relacionados à fragilidade do material à compressão, que foi mitigada com o surgimento da teoria de colunas.

Os códigos da época enfrentavam dificuldades em determinar as condições de excentricidade da parede e sua interação com lajes, fatores cruciais para a análise de forças externas como vento e sismos. Assim, a base teórica e experimental permitiu o desenvolvimento de métodos analíticos para compreender melhor o comportamento das alvenarias sob diferentes forças. Isso contribuiu para reforçar os procedimentos empíricos presentes nos códigos de construção.

## **2.2. Alvenaria estrutural no Brasil**

Durante as décadas de 1960 e 1970, devido a colapsos progressivos em construções da época, foram conduzidos estudos para avaliar os efeitos das cargas laterais, explosões e impactos acidentais sobre os elementos estruturais de alvenaria.

No Brasil, a técnica de construção em alvenaria começou a se desenvolver no final da década de 1960. Anteriormente, era considerada mais como "alvenaria resistente", baseada principalmente em conhecimento empírico, devido à falta de regulamentações que definissem critérios de segurança e

dimensionamento dos elementos estruturais. No início da adoção da alvenaria estrutural, as construções precederam as pesquisas na área e estavam concentradas em algumas regiões específicas, como São Paulo nos anos 1970 e Porto Alegre em 1984-1985 (Camacho; 1986).

Normalmente, as paredes dessas construções eram feitas de unidades cerâmicas maciças (tijolos) nos três primeiros pavimentos, enquanto no último pavimento eram utilizadas unidades vazadas com furos na direção do assentamento da parede.

O marco inicial do uso de blocos de concreto em alvenarias estruturais armadas no Brasil foi em 1966, com a construção do conjunto habitacional Central Park Lapa, em São Paulo. Essa obra apresentava paredes com espessura de 19 cm e quatro pavimentos. Em 1972, no mesmo conjunto habitacional, foram construídos quatro prédios de doze pavimentos cada, em alvenaria armada. Em 1970, em São José dos Campos (SP), foi erguido o edifício Muriti, com dezesseis pavimentos, utilizando alvenaria armada de blocos de concreto. O primeiro edifício em alvenaria não armada no Brasil foi o Jardim Prudência, construído em São Paulo em 1977, com nove pavimentos e paredes de 24 cm de espessura em blocos de concreto de sílicocalcário. Também em São Paulo, na década de 1990, foi construído o edifício residencial Solar dos Alcântaras, que é atualmente o maior do Brasil em alvenaria estrutural armada, com 21 pavimentos e paredes de blocos de concreto com 14 cm de espessura em todos os andares (Ramalho; Corrêa, 2003).

### **2.3. Alvenaria estrutural no contexto atual**

O uso de blocos cerâmicos e de concreto em alvenaria estrutural armada ou não armada começou a se popularizar na década de 1980, com a introdução no mercado de unidades com dimensões modulares e furos verticais para passagem de instalações elétricas, eliminando a necessidade de rasgos nas paredes durante a construção.

As empresas construtoras têm enfrentado constantes desafios devido ao aumento da concorrência e dos padrões de qualidade exigidos. Isso tem levado a uma mudança de estratégia para introduzir melhorias na produção, buscando alternativas que racionalizem o processo construtivo. As principais preocupações das empresas são garantir a habitabilidade e o desempenho dos ambientes construídos, além de manter a rentabilidade, especialmente em um contexto de aumento do crédito para habitação social, como no programa Minha Casa Minha Vida. Portanto, a alvenaria estrutural tem sido amplamente adotada como um sistema construtivo capaz de atender a essas demandas, oferecendo desempenho adequado e custos controlados.

Entre as vantagens da alvenaria estrutural, a economia se destaca, pois simplifica as tarefas no canteiro de obras, facilita o controle de produção e reduz o desperdício de materiais. Isso proporciona flexibilidade no planejamento da execução das obras, tornando a alvenaria um sistema competitivo no Brasil em comparação com o concreto armado e o aço.

### **3. PATOLOGIAS DAS PAREDES NÃO ESTRUTURAIS**

Entende-se como patologia não estrutural no contexto das paredes, aquelas que não comprometem diretamente a estabilidade de outros elementos construtivos. No entanto, essa classificação se torna menos clara em casos em que os defeitos nas paredes não estruturais são

causados pelo mau desempenho ou interação dos elementos estruturais adjacentes ou de suporte, assim como por ações mecânicas externas ou internas que afetam a estabilidade da parede sem impactar outros elementos construtivos em caso de eventual colapso (Vale, 2008).

No quadro a seguir, são apresentadas as causas técnicas da fissuração de paredes de alvenaria não estruturais. Essas causas podem ser observadas em paredes comuns construídas com uma variedade de materiais, porém, é possível identificar um conjunto limitado de problemas que são exclusivos de certos tipos de materiais ou que se manifestam de maneira particular. Esses assuntos serão abordados em detalhes mais adiante.

CAUSAS DE FENÔMENOS DE FISSURAÇÃO	ASPECTOS PRESENTES
Movimentos das fundações – recalques diferenciais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acomodação diferenciais de fundações diretas</li> <li>- Variação do teor de umidade dos solos argilosos</li> <li>- Heterogeneidade e deficiente compactação de aterros</li> </ul>
Ação de cargas externas – atuação de sobrecargas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- concentração de cargas e esforços</li> </ul>

Deformação da parede devido a deformabilidade excessiva das estruturas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pavimento inferior mais deformável que o superior</li> <li>- Pavimento inferior menos deformável que o superior</li> <li>- Pavimento inferior e superior com deformação idêntica</li> <li>- Fissuração devida à deformação de consolos</li> <li>- Fissuração devida à rotação do pavimento no apoio</li> </ul>
Variações térmicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissuração devida aos movimentos das coberturas</li> <li>- Fissuração devida aos movimentos das estruturas reticuladas</li> <li>- Fissuração devida aos movimentos da própria parede</li> </ul>
Variações de umidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Movimentos reversíveis e irreversíveis</li> <li>- Fissuração devida à variação do teor de umidade por causas externas</li> <li>- Fissuração devida à variação natural do teor de umidade dos materiais</li> <li>- Fissuração devida à retração das argamassas</li> <li>- Fissuração devida à expansão irreversível do tijolo</li> </ul>
Alterações químicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hidratação retardada da cal</li> <li>- Expansão das argamassas por ação dos sulfatos</li> <li>- Corrosão de armaduras e outros elementos metálicos</li> </ul>
Ação do gelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fissuração devida a condições climáticas muito desfavoráveis</li> <li>- Fissuração devida à vulnerabilidade dos materiais</li> </ul>
Outros casos de fissuração	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ações acidentais (sismo, incêndios e impactos fortuitos)</li> <li>- Retração da argamassa e expansão irreversível do tijolo</li> <li>- Choque térmico</li> <li>- Envelhecimento e degradação natural dos materiais e das estruturas</li> <li>- Paredes de blocos de betão (situações particulares)</li> <li>- Revestimentos</li> <li>- Paredes com funções estruturais</li> </ul>

Figura 4. OLIVEIRA, Luiz Edmundo M.; SILVA, Caio Dias e. Patologia das Construções: Diagnóstico e Terapia. 2ª ed. São Paulo: Editora Pini, 2020. P. 115-118

### **3.1. Potenciais anomalias causadas pelas características de projeto**

No que diz respeito às anomalias, é importante distinguir entre aquelas relacionadas ao comportamento estrutural (ligadas ao design/construção) e aquelas relacionadas ao comportamento da alvenaria como material (dependente das propriedades dos materiais utilizados, técnicas de construção, configuração da seção etc.). No entanto, as anomalias em alvenarias estruturais geralmente se manifestam como uma combinação desses aspectos, tornando muitas vezes difícil atribuir-lhes uma causa específica.

As principais anomalias em alvenarias como material estrutural frequentemente estão relacionadas com:

- a) Baixa resistência à tração;
- b) Resistência à compressão altamente influenciada pelo volume de vazios e, no caso de paredes compostas, pelo grau de confinamento das superfícies;
- c) Baixa resistência ao cisalhamento;
- d) Mecanismos de falha frágil.

As anomalias em paredes, como elementos estruturais, estão associadas a fenômenos de instabilidade, local ou global, geralmente ligados a:

- a) Integridade estrutural deficiente (pouca conexão entre elementos estruturais);
- b) Pouca resistência à flexão na seção da parede;
- c) Esbeltez excessiva;
- d) Contraventamento inadequado;
- e) Baixa ductilidade.

Esses fatores explicam por que fissuras são um estado patológico comum em estruturas de alvenaria.

A fissuração emerge como uma das causas mais comuns de falhas no desempenho da alvenaria. Essas fissuras, no entanto, afetam não apenas a estética, mas também o conforto do usuário e a estanqueidade da estrutura, comprometendo assim as condições de serviço. Elas podem ser categorizadas basicamente em três tipos:

1. Efeitos externos, que principalmente envolvem a ação de cargas variáveis e movimentos das fundações.
2. Mudanças volumétricas nos materiais, incluindo retração, variações de temperatura e umidade, entre outros.
3. Interação com outros elementos estruturais, resultando em fissuras quando esses elementos se contraem ou se expandem, ou quando causam deformações excessivas na alvenaria.

### 3.2. Potenciais anomalias causadas por ações externas e internas

Os impactos externos envolvem principalmente as cargas variáveis e os movimentos das fundações. O segundo tipo de categorização refere-se às alterações volumétricas, desencadeadas por fenômenos como retração, variações de temperatura e umidade, entre outros. A interação da alvenaria com outros elementos estruturais resulta em fissuras quando esses elementos se contraem, se expandem ou causam deformações excessivas na alvenaria.

Em termos materiais, a alvenaria pode ser vista como um compósito heterogêneo, intrinsecamente descontínuo, que possui boa resistência à compressão, porém fraca resistência à tração e depende principalmente da ação coesiva da gravidade. As noções de homogeneidade, isotropia e propriedades mecânicas uniformes, comumente assumidas na análise de estruturas modernas, não podem ser rigidamente aplicadas aqui.

Nas alvenarias compostas por tijolos maciços, devido à sua heterogeneidade em termos de forma e composição, bem como à diferença de comportamento entre os tijolos e a argamassa de assentamento, surgem solicitações locais de flexão nos tijolos, o que pode resultar em fissuras verticais na estrutura. Além disso, a argamassa de assentamento, ao apresentar deformações transversais mais pronunciadas que os tijolos, induz tensões de tração neles, nas duas direções do plano horizontal, o que também pode levar ao surgimento de fissuras verticais na alvenaria.

No caso de alvenarias compostas por blocos vazados, com furos retangulares dispostos horizontalmente, a argamassa de assentamento sofrerá deformações axiais mais pronunciadas sob as nervuras verticais do bloco, resultando em solicitações de flexão nessas nervuras horizontais, o que pode até levar à ruptura do bloco.

Em geral, para os tijolos maciços, as fissuras típicas em paredes carregadas axialmente são verticais. Além da geometria do componente de alvenaria, diversos outros fatores influenciam a fissuração e a resistência final de uma parede à compressão axial, incluindo a resistência mecânica dos componentes de alvenaria e da argamassa de assentamento, os módulos de deformação longitudinal e transversal dos componentes de alvenaria e da argamassa, a rugosidade superficial e porosidade dos componentes de alvenaria, a aderência, a retenção de água, a elasticidade e a retração da argamassa, a espessura, regularidade e tipo de junta de assentamento, e, por fim, a esbeltez da parede.

Em trabalho realizado sobre alvenarias de blocos sílico- calcários , chega-se às seguintes conclusões :

- a) a resistência da alvenaria é inversamente proporcional à quantidade de juntas de assentamento;
- b) componentes assentados com juntas em amarrações produzem alvenarias com resistência superior aquelas onde os componentes são assentados com juntas verticais aprumadas;
- c) a resistência da parede não varia linearmente com a resistência do componente de alvenaria e nem com a resistência da argamassa de assentamento;
- d) a espessura ideal da junta de assentamento situa-se em torno de 10mm.

O principal fator que influi na resistência à compressão da parede é a resistência à compressão do componente de alvenaria, a influência da resistência da argamassa de assentamento é ao contrário do que se poderia intuir, bem menos significativa.

Pesquisas desenvolvidas no bloco de resistência estrutural, tomando como referência a resistência à compressão de uma argamassa 1:3 (cimento e areia em volume), revelam que o emprego de argamassa 90% menos resistentes que a de referência redundam em alvenarias apenas 20% menos resistente que a de referência, assentada com argamassa 1:3.

Como regra geral, de acordo com Sahlin (1971), a resistência da parede em situações normais ficará compreendida entre 25% e 50% da resistência do componente da alvenaria.

#### **4. RECUPERAÇÃO DAS FISSURAS**

A recuperação de alvenarias com fissuras ou desprendimentos deve ser realizada apenas após um diagnóstico preciso, baseado em uma análise minuciosa das condições da estrutura. Isso envolve a compreensão detalhada das causas das patologias e como elas afetam o desempenho global do edifício. Como enfatiza Thomaz (1998), é fundamental que o diagnóstico seja seguro e bem fundamentado, de forma a evitar intervenções desnecessárias ou inadequadas. Antes de iniciar a reparação da parede, é crucial garantir que a fissura não tenha comprometido elementos essenciais da estrutura, como os sistemas de contraventamento, e que não tenha causado danos em instalações elétricas, hidráulicas ou de ar-condicionado. Além disso, é importante verificar se não houve redução excessiva das áreas de apoio de lajes ou tesouras da cobertura, nem o aparecimento de desvios acentuados de verticalidade que possam comprometer a estabilidade da obra.

O autor destaca que, na fase de diagnóstico, deve-se realizar uma análise detalhada da tensão existente na estrutura e do comportamento dos materiais, especialmente se houver sinais de deterioração ou falhas nos elementos estruturais. Para isso, é necessário proceder com um mapeamento completo dos danos visíveis, como fissuras, deformações, colapsos locais, corrosão das armaduras, e até mesmo sinais de sobrecarga ou mau funcionamento de elementos de suporte. A avaliação deve englobar não apenas os aspectos visíveis da alvenaria, mas também a inspeção das fundações, pilares e vigas, para garantir que não há comprometimento do sistema como um todo.

As manifestações patológicas podem ter origem tanto no comportamento do material, devido a fatores como envelhecimento, umidade ou falhas de fabricação, quanto em problemas estruturais, como sobrecarga, deformações excessivas ou erros no projeto inicial. Identificar corretamente a causa da fissuração é um passo essencial para determinar a melhor abordagem de reparo, seja reforço ou reabilitação, e escolher as técnicas mais adequadas para restabelecer as condições ideais de segurança e funcionalidade.

Quando a fissuração não comprometer diretamente a segurança da estrutura, é sugerido que outros fatores devem ser avaliados antes de iniciar o processo de recuperação. Isso inclui o impacto da fissura nas características de desempenho do edifício, como o isolamento termoacústico, a estanqueidade, a durabilidade dos materiais e o conforto dos ocupantes. Além disso, deve-se considerar o estágio da trinca (se está em fase de evolução ou estabilizada), a possibilidade de realizar

um reparo definitivo ou provisório, o melhor momento para executar a intervenção, e as condições climáticas e de acesso ao local da obra, fatores que podem influenciar a escolha do método de reparo.

Em sua obra, Thomaz também alerta que os reparos definitivos devem ser elaborados levando em conta as causas fundamentais que deram origem ao problema, de modo a não apenas corrigir os danos superficiais, mas eliminar ou minimizar os fatores que contribuíram para o surgimento das fissuras. Isso pode envolver, por exemplo, a correção de falhas de projeto, a melhoria na distribuição das cargas ou o reforço de elementos estruturais críticos. Quando a causa for um fator externo, como a movimentação do solo ou mudanças nas condições ambientais, a solução pode incluir a adaptação das fundações ou a implementação de técnicas de proteção da alvenaria.

Uma vez que a origem dos danos seja diagnosticada e as causas sejam tratadas, a etapa seguinte envolve a elaboração de um projeto de recuperação que considere as melhores técnicas e materiais a serem utilizados. O projeto deve garantir o restabelecimento da segurança estrutural e a continuidade do uso do edifício, respeitando as normas técnicas e as condições específicas de cada caso. O autor destaca a importância de se selecionar materiais e técnicas compatíveis com a alvenaria existente, de modo a evitar problemas de incompatibilidade que possam agravar a situação a longo prazo.

Entre as principais formas de reforço e reabilitação, o autor menciona diversas abordagens que podem ser adotadas conforme as características da fissura e o tipo de estrutura. Entre elas estão:

Argamassa armada e rebocos armados, que são aplicados para aumentar a resistência da parede e controlar os movimentos da alvenaria, especialmente em situações de fissuras menores ou em paredes não muito comprometidas.

Substituição de elementos degradados, como blocos ou tijolos que foram danificados por umidade ou corrosão, garantindo que a resistência da alvenaria seja mantida.

Fechamento de juntas e grauteamento vertical, que são técnicas utilizadas para consolidar a estrutura e aumentar a coesão entre os elementos.

Injeção de graute ou resina epóxi expansiva, especialmente quando há necessidade de preencher fissuras de grande dimensão ou restaurar a integridade de elementos estruturais que perderam sua coesão original.

Protensão, que pode ser aplicada para restabelecer a estabilidade de estruturas de alvenaria com problemas de fissuração relacionados a deformações excessivas.

Adição de vigas e colunas de aço, que podem ser integradas ao sistema de alvenaria para reforçar a capacidade de carga e garantir a segurança da estrutura a longo prazo.

Em resumo, a recuperação das fissuras deve ser tratada com uma abordagem técnica e detalhada, como sugere Thomaz, garantindo que as causas dos problemas sejam corretamente diagnosticadas e que as soluções adotadas sejam compatíveis com as condições da edificação. A escolha de métodos adequados para o reforço e reabilitação, aliados ao acompanhamento contínuo da obra, são fundamentais para a durabilidade e segurança do edifício ao longo do tempo.

## 5. CONSIDERAÇÕES

O estudo das consequências de falhas no cálculo de dimensionamento estrutural mostrou-se essencial para compreender os impactos que erros na fase de concepção podem ter ao longo da vida útil de edificações e outras estruturas. Ao longo da pesquisa, foram analisadas as principais patologias estruturais decorrentes dessas falhas e suas implicações em termos de segurança, durabilidade e viabilidade econômica.

Primeiramente, destacamos a importância de cálculos precisos no dimensionamento estrutural. As falhas nesse processo podem gerar patologias que comprometem diretamente a integridade das construções, como fissuras, trincas e deformações excessivas, as quais podem evoluir para falhas catastróficas. Um exemplo disso é a fissuração em alvenarias estruturais, que, além de comprometer a estética e a estanqueidade da edificação, afeta diretamente a sua segurança e funcionalidade. A resistência à compressão e à tração se mostrou especialmente vulnerável em construções onde os cálculos foram subestimados ou mal aplicados, resultando em danos severos.

As consequências dessas falhas não se limitam à degradação dos materiais e da estrutura. O impacto nas pessoas e na viabilidade econômica de um projeto pode ser devastador. Patologias como a baixa resistência ao cisalhamento ou flexão, além de comprometerem a estabilidade da edificação, geram altos custos de reparação e manutenção, o que eleva o orçamento e diminui o valor de mercado do imóvel. Além disso, a segurança dos ocupantes fica em risco, com maior probabilidade de acidentes em estruturas mal dimensionadas.

Os exemplos práticos discutidos, como o uso de alvenaria estrutural e os estudos sobre falhas progressivas durante a década de 1970, reforçam a necessidade de atenção redobrada durante o processo de dimensionamento. A pesquisa evidenciou que, além da correta aplicação das técnicas de dimensionamento, é crucial um controle rigoroso dos materiais e do processo construtivo, uma vez que falhas nos materiais podem agravar o impacto dos erros no cálculo estrutural.

Adicionalmente, sugere-se que o uso de novas tecnologias e *softwares* avançados de análise estrutural, aliados ao treinamento contínuo de engenheiros e profissionais da área, podem reduzir significativamente os erros no dimensionamento. A introdução de critérios mais rigorosos na escolha dos materiais e na execução de obras também pode ajudar a mitigar essas falhas. Por exemplo, a adoção de blocos modulares e a utilização de técnicas de construção inovadoras demonstraram ser alternativas promissoras para garantir maior precisão e segurança no processo construtivo.

Em síntese, o presente trabalho contribuiu para um entendimento mais profundo das implicações das falhas no cálculo de dimensionamento estrutural, fornecendo informações valiosas para engenheiros, projetistas e tomadores de decisão. Ao evitar tais falhas, é possível assegurar maior durabilidade das construções, reduzir custos de manutenção e, acima de tudo, garantir a segurança dos ocupantes. Assim, é evidente que a precisão nos cálculos de dimensionamento é uma peça-chave para o sucesso de qualquer projeto de engenharia civil.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, F. B. **Patologias em Estruturas de Concreto: Causas, Prevenção e Tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2015.
- CAMACHO, R. **Alvenaria Estrutural: Desempenho e Segurança**. São Paulo: PINI, 1986.
- COSTA, C. R. **Estudos de Patologias em Estruturas de Concreto Armado**. Brasília: Editora UnB, 2016.
- FIGUEIREDO, M. P.; LIMA, R. S. **Dimensionamento Estrutural em Edificações de Alvenaria**. São Paulo: Editora Pini, 2013.
- GIAHD, M. **Construções em Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.
- MELO, L. F. **Ensaaios Não Destrutivos em Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos, 2017.
- NUNES, A. L.; FERREIRA, T. C. **Cálculo Estrutural de Pontes e Viadutos: Teoria e Prática**. São Paulo: Editora Técnica, 2014.
- OLIVEIRA, J. P.; MARQUES, D. M. Impactos das Patologias na Durabilidade de Estruturas de Concreto. **Engenharia e Construção**, v. 52, n. 4, p. 233-245, 2019.
- PEREIRA, F. A. **Tecnologias Inovadoras no Dimensionamento de Estruturas de Aço**. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2020.
- RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. S. A. **Projetos de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.
- SAHLIN, S. **Structural Masonry**. London: Chapman and Hall, 1971.
- SILVA, J. R.; GOMES, P. L. Falhas no Dimensionamento de Estruturas de Aço: Estudo de Casos. **Engenharia Estrutural**, v. 45, n. 3, p. 45-56, 2012.
- TEIXEIRA, A. L.; ALMEIDA, S. F. **Simulações Computacionais no Cálculo Estrutural**. São Paulo: Editora Senac, 2021.
- THOMAZ, R.; **Patologia, Recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.
- VALE, J. B. S. **Patologias das Alvenarias**. 2008. Monografia (Bacharel) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2008.
- ZORDAN, S. E.; FONSECA, H. P. Análise de Riscos em Projetos Estruturais. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 34, n. 2, p. 102-118, 2018.