

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS ESTRUTURAIS DE REFORÇO APLICÁVEIS A CONSTRUÇÕES ANTIGAS SEM PERDA DE AUTENTICIDADE

EVALUATION OF STRUCTURAL REINFORCEMENT TECHNIQUES APPLICABLE TO OLD BUILDINGS WITHOUT LOSS OF AUTHENTICITY

¹MORAES, Jhonatan Gomes de; ²BLUM, Marcos Vinicius
De Oliveira; ³ORTOLAN, Victor Zômpero

^{1e2}Discentes do Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário das
Faculdades Integradas de Ourinhos-UNIFIO

² Docente do Curso de Engenharia Civil – Centro Universitário das
Faculdades Integradas de Ourinhos- UNIFIO

RESUMO

Este estudo tem como objetivo analisar e discutir diferentes técnicas de reforço estrutural aplicáveis a edifícios históricos e antigos, procurando preservar as suas características arquitetônicas, autenticidade e valor cultural. A pesquisa segue uma abordagem exploratória e descritiva, baseada em ampla revisão da literatura científica, diretrizes técnicas e avaliação de estudos de caso relevantes. A investigação compara estratégias de reforço tradicionais, como tirantes de aço, revestimento de concreto e injeção de argamassa, com soluções modernas que incluem polímeros reforçados com fibra (FRP), reforço de fibra de carbono, aplicações de microconcreto e o uso de Building Information Modeling (BIM) para avaliação estrutural e planejamento.

Palavras-chave: reforço estrutural; patrimonio histórico; preservação; materiais sustentáveis.

ABSTRACT

This study aims to analyze and discuss different structural reinforcement techniques applicable to historic and old buildings, seeking to preserve their architectural characteristics, authenticity, and cultural value. The research follows an exploratory and descriptive approach, based on a broad review of scientific literature, technical guidelines, and the evaluation of relevant case studies. The investigation compares traditional reinforcement strategies, such as steel tie rods, concrete jacketing, and grout injection, with modern solutions that include fiber-reinforced polymers (FRP), carbon fiber reinforcement, microconcrete applications, and the use of Building Information Modeling (BIM) for structural assessment and planning.

Keywords: structural reinforcement; historical heritage; preservation; sustainable materials.

INTRODUÇÃO

As estruturas antigas constituem um valioso legado histórico, cultural e arquitetônico, sendo essenciais para a identidade das cidades e sociedades. Contudo, com o passar do tempo, essas edificações estão expostas a processos de degradação devido a fatores como condições climáticas adversas, ações humanas, variações de carga e falta de manutenção apropriada. Em vista desse panorama, a necessidade de avaliação e intervenção nessas estruturas se torna cada vez mais pertinente para assegurar sua segurança e prolongar sua durabilidade, sem prejudicar seu valor histórico e estético.

A motivação para este estudo emergiu da crescente demanda por soluções eficazes e compatíveis com as características originais das construções antigas. Muitas dessas edificações não foram concebidas considerando as normas estruturais contemporâneas, o que requer uma abordagem cuidadosa ao avaliar sua estabilidade e resistência.

A evolução das técnicas de reforço e reabilitação estrutural oferece novas alternativas para a recuperação dessas construções, abrangendo desde métodos tradicionais até a utilização de materiais modernos, como polímeros reforçados com fibras e concreto de alto desempenho, Appleton (2011), em sua publicação, traz uma contribuição valiosa para a divulgação de técnicas de reforço em estruturas antigas, inseridas no contexto mais amplo da reabilitação de edifícios. Em um estudo mais recente, Cóias (2007) também explora várias dessas técnicas, acrescentando importantes insights tecnológicos e esquemas práticos esclarecedores. Justifica-se a realização deste estudo pela relevância de preservar o patrimônio construído e garantir sua funcionalidade para as futuras gerações.

Segundo Feilden (2003), a conservação de edifícios históricos deve considerar tanto os aspectos técnicos quanto os valores culturais e simbólicos que a edificação representa. A ausência de conhecimento técnico adequado pode culminar em intervenções inadequadas, colocando em risco a segurança e autenticidade das edificações. Assim, este trabalho visa explorar as principais metodologias de avaliação de estruturas antigas, assim como as técnicas mais eficientes de reforço e reabilitação, contribuindo para o aprimoramento das práticas de conservação e requalificação estrutural.

O objetivo geral desse trabalho busca Identificar técnicas eficazes de reforço estrutural de edifícios antigos.

METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho será baseada em uma pesquisa de caráter bibliográfico e documental, voltada para o estudo de técnicas de reforço estrutural aplicadas a construções antigas, sem a realização de estudo de caso em campo. O objetivo é compreender, a partir de artigos científicos, dissertações, relatórios técnicos e publicações de órgãos de preservação, quais estratégias têm sido utilizadas para reforçar edificações históricas sem comprometer sua autenticidade arquitetônica e cultural.

O primeiro passo será levantar referências que mostrem experiências práticas em

edificações históricas, envolvendo estruturas de concreto, alvenaria, madeira e metálicas. Nessa etapa, o foco é identificar as soluções mais utilizadas, como encamisamento, fibras de carbono, chapas metálicas, concreto projetado, protensão e reforço de fundações, observando quais vantagens e limitações cada uma apresenta.

Em seguida, essas informações serão analisadas de forma crítica, procurando entender quais problemas estruturais motivaram as intervenções e de que maneira as escolhas feitas buscaram equilibrar segurança com preservação. A análise vai considerar aspectos como compatibilidade entre materiais novos e antigos, impacto estético, durabilidade e até a adoção de soluções mais sustentáveis.

Depois, os dados reunidos serão organizados em comparações, para facilitar a visualização das diferenças entre as técnicas. A ideia é destacar quais métodos funcionam melhor em determinados contextos e quais apresentam riscos ou desvantagens quando aplicados em construções históricas.

Por fim, os resultados serão apresentados de forma clara e interpretativa, destacando os pontos positivos das técnicas estudadas, mas também sugerindo alternativas que poderiam ser mais adequadas em algumas situações. O objetivo é oferecer uma visão crítica que possa contribuir com futuras intervenções em estruturas antigas, ajudando a encontrar o equilíbrio entre segurança, funcionalidade e preservação do patrimônio.

DESENVOLVIMENTO

A reabilitação de edifícios antigos é essencial para preservar o patrimônio histórico e cultural, ao mesmo tempo em que garante a segurança e a funcionalidade dessas construções. Com isso, diversas técnicas de reforço estrutural vêm sendo aprimoradas para permitir intervenções mais eficazes, respeitando as características e necessidades de cada edificação.

Queirós (2020) destaca que o primeiro passo para um reforço estrutural adequado é uma avaliação detalhada do estado de conservação do edifício. Para isso, é fundamental a realização de inspeções e ensaios não destrutivos, que ajudam a identificar falhas e fragilidades estruturais. Essa abordagem permite que as intervenções sejam feitas de maneira mais precisa e eficiente.

De acordo com Costa (2020) enfatiza a importância de adotar técnicas sustentáveis no reforço estrutural, utilizando materiais reciclados e de baixo impacto ambiental. Segundo a autora, essas soluções não só ajudam na preservação do meio ambiente,

mas também aumentam a durabilidade das intervenções, garantindo um equilíbrio entre conservação e inovação tecnológica.

Além disso, um dos aspectos mais relevantes na reabilitação de edifícios antigos é a compatibilidade entre os materiais originais e os novos. Queirós (2020) ressalta que essa escolha reduz o risco de problemas como falta de aderência ou tensões internas, o que contribui para a estabilidade e a longevidade da estrutura reforçada.

Outro ponto levantado por Costa (2020) é a importância do uso de técnicas de reforço reversíveis. Isso significa que, caso seja necessário remover os reforços no futuro, isso poderá ser feito sem causar danos à construção original. Essa estratégia é especialmente relevante para edifícios históricos, onde a preservação das características arquitetônicas deve ser priorizada.

A tecnologia também tem um papel essencial nesse processo. Segundo Queirós (2020), ferramentas como a modelagem da informação da construção (BIM) auxiliam no planejamento e execução dos reforços estruturais, permitindo uma visualização detalhada das intervenções e uma melhor gestão dos dados ao longo do ciclo de vida da edificação. Isso ajuda a reduzir erros e a tornar as obras mais eficientes.

Por fim, Costa (2020) reforça que a reabilitação de edifícios antigos exige uma abordagem multidisciplinar, envolvendo arquitetos, engenheiros, historiadores e outros especialistas. Esse trabalho conjunto garante que as soluções adotadas atendam tanto aos aspectos técnicos quanto às exigências de preservação cultural.

Dessa forma, os estudos recentes mostram que a escolha das técnicas de reforço estrutural em edificações antigas deve ser criteriosa e integrada. O uso de métodos sustentáveis, compatíveis e reversíveis, aliado às novas tecnologias e ao trabalho em equipe, é essencial para preservar essas construções e garantir sua segurança e funcionalidade ao longo do tempo.

A preservação do patrimônio arquitetônico não é apenas uma questão técnica ou legal, mas um compromisso cultural que garante que futuras gerações possam conhecer e aprender com as construções históricas. Para isso, é essencial que a sociedade esteja consciente da importância dessa preservação, por meio de campanhas educativas e políticas públicas que incentivem a reabilitação e o uso sustentável desses edifícios.

Além do valor histórico e cultural, a reabilitação de edifícios antigos também traz benefícios ambientais. Reaproveitar construções existentes reduz o desperdício de materiais e diminui a necessidade de novas obras, o que impacta positivamente a

sustentabilidade urbana.

Outro ponto importante é o impacto econômico. Edifícios históricos restaurados com qualidade se tornam ativos valorizados, atraindo investimentos e contribuindo para o desenvolvimento urbano. Isso é especialmente relevante em centros históricos, onde a degradação pode levar ao abandono de regiões inteiras. A restauração, portanto, não apenas protege a memória do passado, mas também impulsiona a economia local.

Para que essas iniciativas tenham sucesso, é fundamental um planejamento detalhado e uma abordagem integrada. A participação de especialistas – engenheiros, restauradores e gestores públicos – garante que as intervenções sejam eficientes e respeitadas à história do edifício. Além disso, a parceria entre o setor público e privado pode viabilizar projetos que seriam inviáveis financeiramente sem esse apoio conjunto.

No fim das contas, reabilitar edifícios antigos é muito mais do que uma simples reforma: é uma forma de conectar passado e futuro, aliando história, sustentabilidade e desenvolvimento urbano.

Com técnicas inovadoras e respeito às características originais, esses edifícios podem continuar desempenhando um papel importante na sociedade, preservando memórias e enriquecendo nossas cidades do Brasil.

Patologias Comuns em Construções Antigas

As construções antigas, sejam de concreto, alvenaria, madeira ou metálicas, frequentemente apresentam manifestações patológicas relacionadas ao tempo de uso, à falta de manutenção e às condições ambientais. Entre os problemas mais recorrentes em estruturas de concreto armado, destacam-se a carbonatação, a corrosão das armaduras e a perda de aderência entre aço e concreto. Já em edificações de alvenaria, é comum a presença de fissuras, infiltrações e recalques diferenciais em fundações rasas. Estruturas de madeira, por sua vez, estão sujeitas a ataques biológicos, como cupins e fungos, além da degradação por umidade. Nas estruturas metálicas, os principais problemas são a oxidação e a perda de seção resistente.

Técnicas Tradicionais de Reforço

Historicamente, algumas técnicas foram amplamente utilizadas para prolongar a vida útil das construções antigas. Entre elas, destaca-se o encamisamento em concreto

armado, que consiste no aumento da seção de vigas, pilares ou lajes com uma nova camada de concreto. Outra solução bastante comum é o uso de chapas ou perfis metálicos, aplicados em elementos estruturais para aumentar sua capacidade de carga. O concreto projetado também é empregado em paredes e abóbadas de alvenaria, proporcionando maior resistência e estabilidade. Apesar de eficientes do ponto de vista estrutural, essas soluções muitas vezes alteram significativamente a estética original da edificação.

Técnicas Modernas de Reforço

Com o avanço tecnológico, surgiram métodos mais discretos e menos invasivos. O uso de fibras de carbono e polímeros reforçados (FRP) é um exemplo de solução moderna, bastante aplicada em vigas, lajes e pilares. Esses materiais possuem alta resistência e baixo peso, podendo ser colados à superfície dos elementos sem comprometer a estética da construção. Outras soluções incluem o uso de protensão adicional externa, que melhora a capacidade resistente de vigas e pontes, e o reforço de fundações com microestacas ou estaca raiz, técnicas que permitem aumentar a segurança da estrutura sem grandes escavações ou interferências visuais.

Crítérios de Autenticidade na Preservação

Mais do que apenas garantir a segurança estrutural, reforçar uma edificação antiga exige preservar seu valor histórico e arquitetônico. A Carta de Veneza (1964) e a Carta de Burra (1979) são documentos internacionais que estabelecem princípios de preservação, defendendo intervenções mínimas, reversíveis e que mantenham a autenticidade da obra. No Brasil, o IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) orienta que as técnicas utilizadas em restauros devem ser compatíveis com os materiais originais e que a estética da construção não seja descaracterizada. Dessa forma, a escolha da técnica de reforço deve sempre considerar não apenas os aspectos estruturais, mas também os culturais e patrimoniais, conforme pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Técnicas e suas aplicações

Técnica de Reforço	Aplicação Principal	Vantagens	Limitações/Impacto na Autenticidade	Referência
Encamisamento em concreto	Pilares, vigas, lajes	Aumenta resistência estrutural significativamente	Pode alterar a aparência original; intervenção invasiva	Amorim & Oliveira, 2015
Chapas ou perfis metálicos	Vigas, pilares	Aumenta capacidade de carga; execução rápida	Visualmente perceptível; pode exigir ancoragem invasiva	Amorim & Oliveira, 2015
Concreto projetado	Paredes, abóbadas de alvenaria	Reforço localizado; boa aderência	Pode modificar textura e estética da superfície	Faria & Santos, 2018
Fibras de carbono (FRP)	Vigas, pilares, lajes	Alta resistência, leve, pouco invasivo	Custo elevado; aplicação exige mão de obra especializada	Guedes et al., 2004
Protensão adicional externa	Vigas e pontes	Melhora desempenho estrutural sem grande volume adicional	Equipamento especializado; difícil de aplicar em pequenas obras históricas	Guedes et al., 2004
Microestacas / Estaca raiz	Fundações	Reforço profundo sem demolir parte da estrutura	Necessita estudo geotécnico; pode interferir em elementos históricos próximos	Oliveira, 2016

Na etapa de coleta de dados, a ideia é reunir informações a partir de artigos, trabalhos acadêmicos e relatórios técnicos que tratem de reforço em construções antigas. Em vez de visitar uma edificação específica, vamos analisar diferentes estudos já realizados para entender quais técnicas de reforço foram aplicadas, por que foram escolhidas e de que forma essas escolhas impactaram a preservação da autenticidade das construções.

Na fase de análise, o objetivo é identificar os principais problemas estruturais encontrados nesses casos e refletir sobre a adequação das soluções adotadas. Queremos perceber se houve cuidado na escolha de materiais compatíveis com os originais, se o aspecto estético foi respeitado e se foram buscadas alternativas sustentáveis. Também pretendemos avaliar até que ponto foi possível equilibrar a necessidade de reforço estrutural com a preservação do valor histórico e cultural de cada obra.

Por fim, na apresentação dos resultados, nossa intenção é organizar essas informações de forma clara, destacando as técnicas que tiveram bons resultados e apontando também caminhos que poderiam ter sido melhores explorados. A ideia é oferecer uma visão crítica e fundamentada que contribua para futuras decisões de intervenção em construções antigas, ajudando a conciliar segurança, funcionalidade e preservação do patrimônio.

Técnicas Tradicionais de Reforço

O reforço estrutural tradicional engloba um conjunto de técnicas consolidadas e amplamente utilizadas ao longo do tempo para recuperar ou aumentar a capacidade resistente de edificações antigas. Embora essas técnicas sejam eficazes do ponto de vista estrutural, sua aplicação exige atenção especial para não comprometer a estética, a autenticidade e os valores históricos das construções.

Encamisamento em concreto armado (Concrete Jacketing)

O encamisamento, também conhecido como concrete jacketing, consiste em envolver pilares, vigas ou lajes antigas com uma camada adicional de concreto armado. Esse procedimento aumenta a seção transversal do elemento, melhorando sua capacidade de carga e rigidez. A execução envolve preparação da superfície existente (limpeza, escarificação e aplicação de agentes de ligação) e, em alguns casos, o uso de conectores de cisalhamento para melhorar a aderência entre o concreto antigo e o novo (Amorim; Oliveira, 2015; Rigalileo *et al.*, 2018).

Vantagens:

- Recupera rapidamente a resistência estrutural;
- Utiliza materiais de baixo custo e facilmente disponíveis;
- Técnica consolidada, com grande histórico de aplicações.

Desvantagens:

- Pode alterar significativamente o volume e a estética do elemento;
- Requer reforço de fundações se houver aumento considerável de carga;
- Diferenças de retração entre o concreto antigo e o novo podem gerar fissuras.

Estudos demonstram que, quando bem executado, o encamisamento consegue prolongar a vida útil de pilares e vigas sem comprometer a segurança da edificação, embora sua visibilidade seja um ponto crítico em construções com valor histórico (Amorim; Oliveira, 2015).

Aplicação de chapas ou perfis metálicos (Steel Plate Bonding)

A fixação de chapas ou perfis metálicos em elementos estruturais é outra técnica tradicional utilizada para reforço de pilares, vigas ou lajes. Normalmente, essas chapas são coladas com resina epóxi ou aparafusadas ao elemento estrutural. Essa técnica permite aumentar a capacidade de carga sem a necessidade de remover o elemento original, mas exige planejamento para não comprometer a estética (Pereira *et al.*, 2010).

Vantagens:

- Aumento considerável da resistência sem intervenção profunda;
- Execução relativamente rápida.

Desvantagens:

- Alterações visuais perceptíveis;
- Pode demandar manutenção futura em áreas de fixação ou pontos de ancoragem.

Concreto projetado (Shotcrete)

O concreto projetado é aplicado através de equipamentos que lançam a mistura de concreto sob pressão sobre a superfície da estrutura. Essa técnica é comumente utilizada em paredes, abóbadas de alvenaria e lajes antigas, proporcionando reforço localizado e aderência adequada ao material original. A principal preocupação é compatibilizar o novo concreto com as propriedades mecânicas e estéticas do existente (Faria; Santos, 2018).

Vantagens:

- Permite intervenções localizadas e rápidas;
- Boa aderência e consolidação estrutural.

- Desvantagens:

- Pode alterar textura e estética da superfície;
- Exige mão de obra especializada.

Injeção de fissuras com resinas ou cimento

Técnica aplicada em concreto ou alvenaria para reparar fissuras sem alterar

significativamente a aparência da edificação. A fissura é limpa e preenchida com resinas epóxi, polímeros ou cimento, dependendo da largura e profundidade (Guedes et al., 2004).

Vantagens:

- Intervenção mínima e reversível;
- Mantém a estética original da estrutura.

Desvantagens:

- Não aumenta a capacidade estrutural do elemento;
- Eficaz apenas em fissuras pequenas ou médias.

Flitch Beam (Vigas compostas de madeira e aço)

Essa técnica combina uma viga de madeira com uma chapa de aço inserida entre suas faces, formando uma viga composta. Frequentemente usada em estruturas de madeira antigas, permite reforço sem alterar a aparência exterior (Wikipedia, 2023).

- Vantagens:

- Preserva visual da madeira;
- Aumenta significativamente resistência à flexão.

- Desvantagens:

- Mais complexa de executar;
- Requer avaliação detalhada de ancoragem e compatibilidade dos materiais.

Considerações históricas e de preservação

Historicamente, essas técnicas foram aplicadas em diversos contextos, desde a recuperação de pontes de concreto até a restauração de casarões históricos e igrejas coloniais. Pesquisas destacam que, apesar da eficácia estrutural, intervenções tradicionais podem impactar negativamente a estética e autenticidade se não forem cuidadosamente planejadas (Feilden, 2003; Pereira *et al.*, 2010).

Portanto, ao aplicar reforços tradicionais em edificações antigas, é fundamental considerar:

- Compatibilidade de materiais;
- Minimização do impacto visual;
- Possibilidade de reversibilidade;
- Conservação do valor histórico e cultural da construção.

Abordagens Modernas e Sustentáveis

O avanço da engenharia civil e das tecnologias digitais trouxe soluções inovadoras para o reforço estrutural de edificações antigas, garantindo segurança, sustentabilidade e respeito à autenticidade histórica. Essas soluções estão alinhadas às normas técnicas nacionais e legislações de proteção do patrimônio.

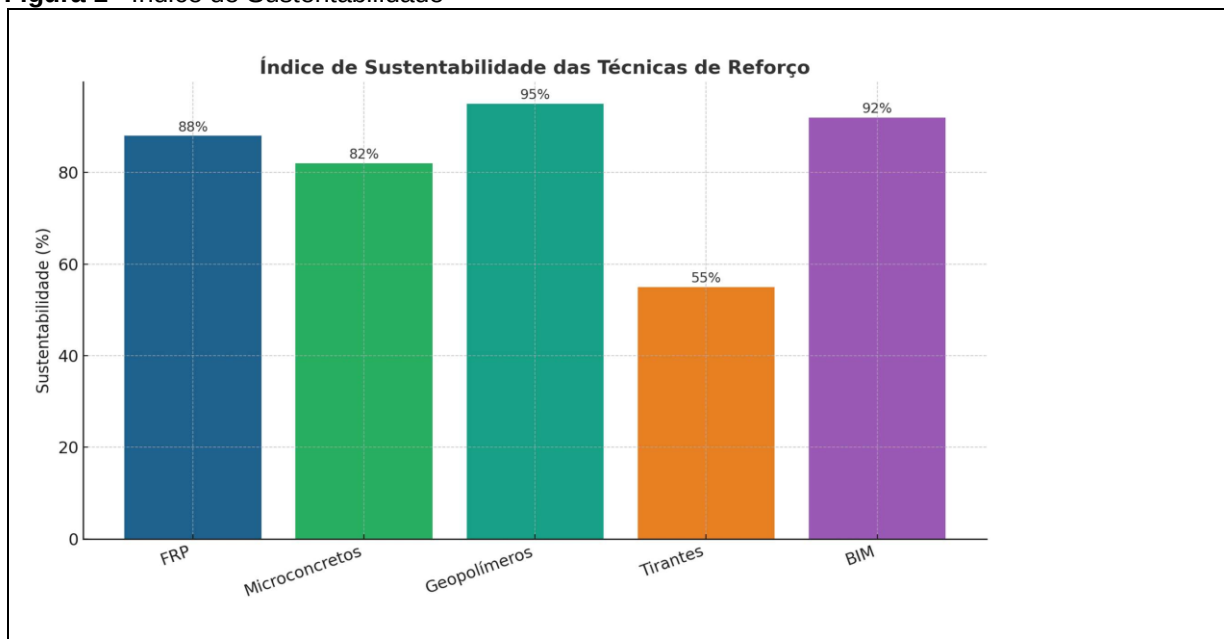
Segundo Berto (2024), o uso de ferramentas de análise baseadas no ciclo de vida tem sido essencial na escolha de técnicas sustentáveis para retrofit. Entre as soluções modernas, destacam-se os polímeros reforçados com fibras (FRP), especialmente os de fibra de carbono, pela alta resistência mecânica, baixo peso e durabilidade, permitindo intervenções pouco invasivas, , conforme pode ser observado no Quadro 2.

Quadro 2 - Métodos

Técnica	Eficiência (%)	Sustentabilidade (%)	Impacto Estético (%)	Compatibilidade
FRP (Fibra de Carbono)	95	88	20	Alta
Microconcretos	85	82	35	Alta
Geopolímeros	90	95	15	Alta
Tirantes Metálicos	65	55	60	Média
BIM (Modelagem 3D)	92	92	10	Alta

Fonte: Adaptado de Berto (2024) e Fraddosio *et al.* (2025).

Fraddosio *et al.* (2025) destacam que o uso de geopolímeros e microconcretos apresenta compatibilidade química com materiais originais e reduz riscos de patologias. Além disso, o uso da Modelagem da Informação da Construção (BIM) possibilita planejar intervenções com mais precisão, otimizando recursos e reduzindo impactos ambientais.

Figura 1 - Índice de Sustentabilidade

Fonte: Adaptado de Berto (2024)

Compatibilidade de Materiais

A compatibilidade entre materiais antigos e novos é um dos fatores mais críticos no reforço estrutural de edificações históricas. Quando não observada, a introdução de materiais inadequados pode gerar tensões adicionais, acelerar a deterioração de elementos originais e comprometer o desempenho estrutural e estético da construção (Faria; Santos, 2018). Por isso, qualquer intervenção deve considerar tanto as propriedades físicas e químicas dos materiais quanto o comportamento mecânico da estrutura como um todo.

Materiais Tradicionais

Em construções antigas de alvenaria ou madeira, por exemplo, o uso de cimento Portland moderno em reparos de argamassas históricas pode causar problemas de retração e fissuração, já que esses materiais apresentam rigidez e coeficientes de expansão diferentes dos originais (Cóias, 2007). Além disso, em muitos casos, a maior dificuldade está em encontrar argamassas de cal ou pedras semelhantes às originais, o que faz com que os restauradores tenham que recorrer a misturas experimentais para tentar reproduzir o aspecto e o comportamento do material (Feilden, 2003).

Materiais Modernos

O avanço tecnológico trouxe soluções como polímeros reforçados com fibras (FRP) e epóxis de alta resistência, que permitem reforçar sem adicionar volume ou alterar a estética da construção. Contudo, mesmo sendo eficientes, esses materiais muitas vezes contrastam com a textura e a cor dos elementos originais, o que pode comprometer a autenticidade visual da edificação (Guedes *et al.*, 2004). Isso leva à necessidade de avaliações caso a caso, equilibrando desempenho estrutural e impacto estético.

Dificuldade de Obtenção dos Materiais

Um dos maiores desafios práticos está em encontrar materiais compatíveis ou idênticos aos originais. Estruturas erguidas há séculos, por exemplo, utilizavam madeiras já escassas hoje, pedras extraídas de pedreiras desativadas ou argamassas preparadas com técnicas manuais que se perderam com o tempo (Arêde & Costa, 2005). Muitas vezes, restauradores precisam buscar alternativas em mercados internacionais, recuperar materiais de demolições ou até desenvolver técnicas artesanais para produzir novos componentes de forma semelhante aos antigos.

Esse processo não apenas encarece a intervenção, mas também exige mão de obra altamente especializada, capaz de trabalhar com técnicas tradicionais que não fazem mais parte da formação regular da construção civil. Como lembra Appleton (2011), a preservação do patrimônio exige não só conhecimento técnico, mas também a transmissão de ofícios tradicionais que garantam a continuidade da autenticidade material.

Crítérios de Compatibilidade

Os principais critérios para garantir a compatibilidade incluem:

- Propriedades mecânicas similares: módulos de elasticidade, resistência à compressão e à tração próximos aos do material original.
- Compatibilidade química: evitar reações adversas que possam degradar o material antigo.
- Compatibilidade térmica e higroscópica: coeficientes de expansão e absorção de água semelhantes, evitando fissuras ou delaminações.
- Estética e textura: manter a aparência visual da construção, especialmente em

elementos expostos.

- Reversibilidade: a intervenção deve ser, sempre que possível, removível sem danificar a estrutura original (Da Costa, 2020; De Queirós, 2020).

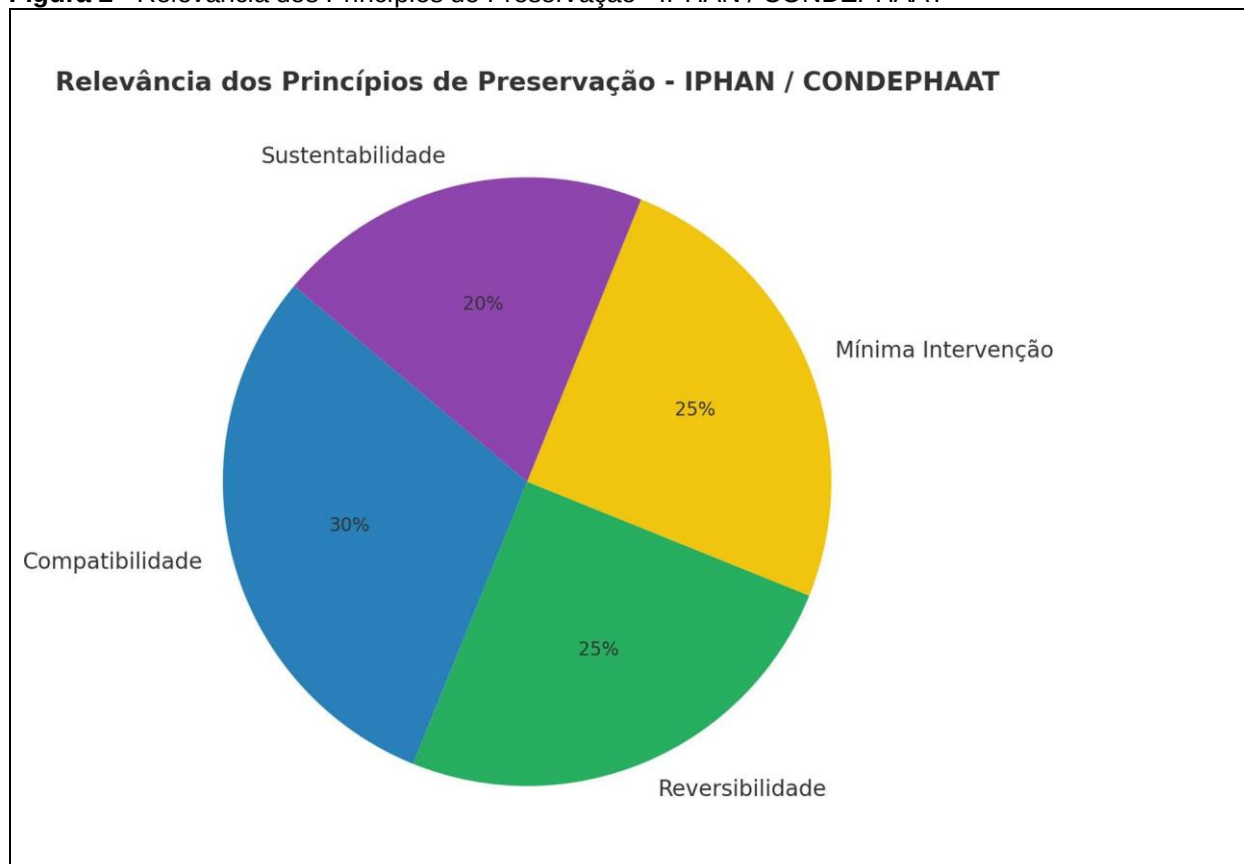
A compatibilidade de materiais vai muito além do desempenho técnico. Ela envolve também a viabilidade de obtenção dos insumos necessários e a preservação estética da edificação, fatores que tornam o processo de reforço estrutural um desafio tanto técnico quanto logístico. Em muitos casos, o sucesso da intervenção depende não apenas da escolha correta do material, mas também da capacidade de resgatar ou reproduzir técnicas construtivas tradicionais que garantam a autenticidade histórica da obra.

Princípios de Preservação

A preservação do patrimônio histórico edificado deve atender a princípios técnicos, éticos e legais, garantindo a integridade estrutural, a autenticidade cultural e a sustentabilidade ambiental. Segundo o IPHAN (2022), as intervenções devem buscar a compatibilidade de materiais, a reversibilidade das soluções e a mínima interferência nos elementos originais.

Fraddosio *et al.* (2025) propõem o conceito de 'weak reinforcement', que prioriza intervenções discretas e planejadas, mantendo a configuração original da estrutura. Essa abordagem está alinhada às diretrizes da Carta de Veneza (1964) e do Documento de Nara (1994), que orientam para soluções tecnicamente eficientes e culturalmente respeitosas.

A integração de tecnologias digitais, como BIM e ensaios não destrutivos, reforça a importância do diagnóstico preciso e da eficiência energética em projetos de preservação.

Figura 2 - Relevância dos Princípios de Preservação - IPHAN / CONDEPHAAT

Reforço Estrutural no Edifício Copan

O Edifício Copan, inaugurado em 1966 e projetado por Oscar Niemeyer, é um dos símbolos mais expressivos da arquitetura modernista brasileira. Com sua fachada ondulada em concreto armado e mais de 1000 unidades residenciais e comerciais, o Copan se tornou um marco urbano e cultural da cidade de São Paulo, tanto por sua imponência arquitetônica quanto pela diversidade de usos que abriga (Bonfim, 2019). No entanto, ao longo de suas décadas de existência, a edificação passou por um processo de deterioração que exigiu diversas campanhas de manutenção, reabilitação e reforço estrutural, sempre sob o desafio de preservar sua estética original, considerada parte fundamental do patrimônio arquitetônico brasileiro (Feilden, 2003; IPHAN, 2022).

Condições de Degradação e Necessidade de Intervenção

Desde as primeiras décadas após a inauguração, já foram identificados problemas recorrentes no Copan. A grande extensão da fachada, recoberta por pastilhas cerâmicas, sofreu ao longo dos anos com descolamentos e quedas, gerando riscos à segurança dos usuários e transeuntes. Além disso, infiltrações nas lajes técnicas e áreas comuns,

fissuras no concreto armado e manifestações de corrosão das armaduras passaram a comprometer a durabilidade da estrutura

Outro fator agravante foi a escala monumental do edifício: o Copan ocupa uma quadra inteira no centro da cidade, com cerca de 120 mil m² de área construída. Isso significa que qualquer intervenção envolve não apenas grandes custos, mas também a mobilização de múltiplas frentes de trabalho, o que aumenta as dificuldades de compatibilizar obras de reforço estrutural com a vida cotidiana dos milhares de moradores (Pereira; Costa; Almeida, 2010).

Métodos de Reforço Estrutural Utilizados

A recuperação do Copan envolveu diferentes técnicas de reforço estrutural, cada uma adaptada às necessidades específicas das manifestações patológicas identificadas. Dentre as principais, destacam-se:

Recomposição das pastilhas cerâmicas: A manutenção da estética original foi um dos pontos mais críticos. A substituição das pastilhas por materiais modernos, como pastilhas vítreas ou revestimentos cerâmicos industrializados, foi rejeitada pelos órgãos de preservação, uma vez que descaracterizariam o edifício. Optou-se, portanto, pela produção de réplicas das pastilhas originais, com tonalidade e textura semelhantes às instaladas na década de 1960 (IPHAN, 2022). Essa solução exigiu pesquisa de fornecedores e processos de fabricação sob encomenda.

Tratamento e reforço das armaduras: Nos pontos em que houve destacamento do cobrimento de concreto, foi necessário o tratamento anticorrosivo das barras de aço, seguido pela recomposição do cobrimento com argamassas de alto desempenho, compatíveis com a estrutura existente. Em casos de corrosão avançada, algumas armaduras foram substituídas ou reforçadas com adição localizada de aço novo.

Injeção de fissuras: Para restabelecer a continuidade estrutural de lajes e vigas, foram utilizadas técnicas de injeção de resinas epoxídicas, que permitem recuperar a resistência estrutural de elementos fissurados sem provocar alterações visuais significativas na superfície aparente do concreto (FARIA; SANTOS, 2018).

Reforço com materiais compósitos (CFRP): Em áreas críticas de lajes e vigas, foi aplicado o reforço com polímeros reforçados com fibra de carbono (CFRP). Essa técnica apresenta alta eficiência estrutural, baixo peso e reduzida espessura, permitindo que fosse facilmente recoberta e não interferisse na estética da edificação.

Impermeabilização e fundações: Estudos anteriores realizados pelo Instituto de

Pesquisas Tecnológicas (IPT) já haviam identificado recalques diferenciais e infiltrações em áreas das fundações. Para mitigar os efeitos, foram implantados sistemas de drenagem e impermeabilização em áreas técnicas e reforço localizado em elementos de fundação, o que exigiu escavações complexas em área urbana densa.

Dificuldades na Preservação da Estética

A maior dificuldade das intervenções no Copan foi garantir que a modernização estrutural não comprometesse a identidade estética do edifício. A substituição inadequada de pastilhas, já realizada em reformas parciais anteriores, gerou manchas visuais e descaracterização da fachada, obrigando os responsáveis pela restauração a buscar soluções mais fiéis.

Além disso, houve grande dificuldade em encontrar materiais compatíveis com os originais. Muitas das argamassas e pastilhas utilizadas na década de 1960 já não eram mais produzidas em escala comercial, o que forçou a encomenda de lotes específicos de revestimentos e a busca por misturas de argamassa que mantivessem características semelhantes de cor, textura e comportamento físico.

Outro desafio foi a própria escala da intervenção: dada a extensão da fachada e o número de unidades, a execução dos serviços teve de ser planejada em fases, garantindo a segurança dos moradores e minimizando os impactos no uso cotidiano do edifício. O custo elevado das soluções e a necessidade de aprovação junto a órgãos de patrimônio, como Conpresp e IPHAN, tornaram o processo lento e burocrático

Estudos, Monitoramento e Gestão

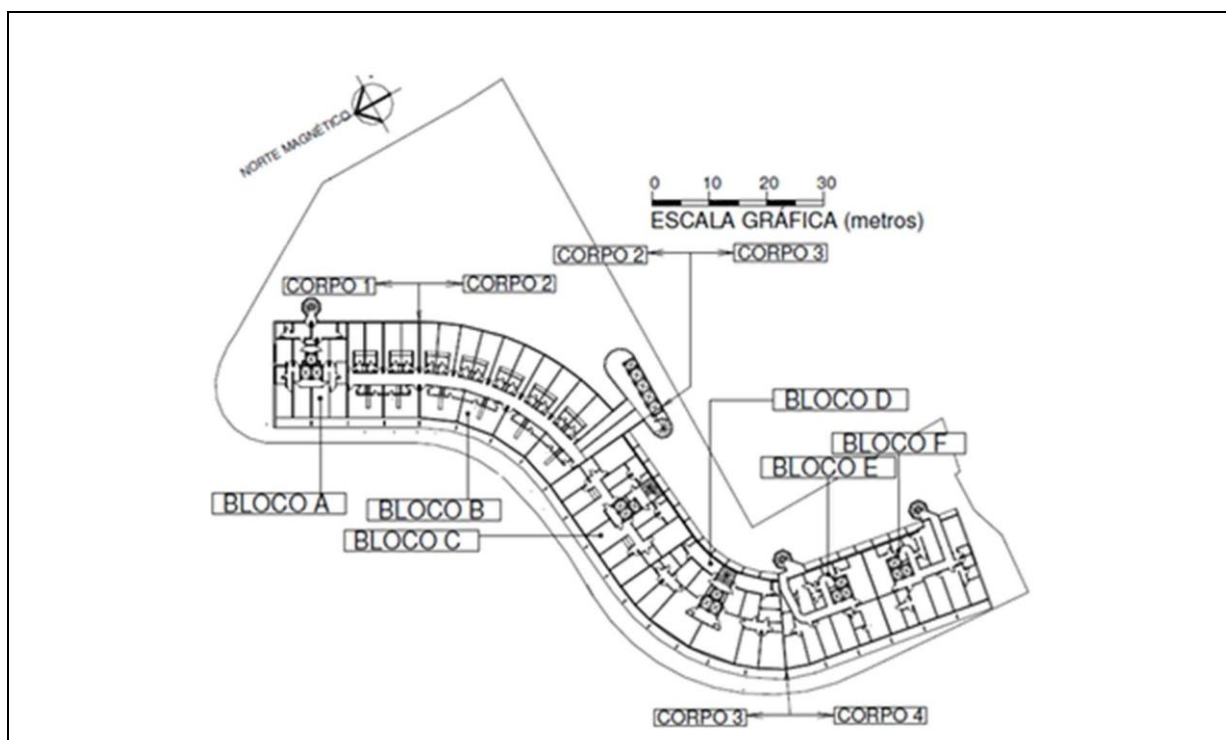
O Copan passou a ser objeto de diversos estudos de monitoramento, conduzidos principalmente pelo IPT, que desde a década de 1970 acompanha deformações estruturais e recalques nas fundações (IPT, 2021). Esses levantamentos foram fundamentais para orientar as intervenções, permitindo definir as áreas prioritárias e identificar a evolução das patologias ao longo do tempo.

Mais recentemente, recomenda-se que edifícios de porte e valor cultural como o Copan adotem Planos de Conservação Preventiva e Manuais de Uso, Operação e Manutenção. Esses instrumentos contribuem para a gestão de longo prazo da edificação, evitando que novas patologias atinjam níveis críticos antes de serem tratadas

O caso do Edifício Copan evidencia o delicado equilíbrio entre reforço estrutural, manutenção da estética e preservação patrimonial. A obra mostra que intervenções em estruturas históricas de grande escala requerem abordagem multidisciplinar, envolvendo engenheiros, arquitetos, restauradores, gestores públicos e comunidade de moradores. Os métodos aplicados, desde o uso de materiais compatíveis até a adoção de técnicas modernas de reforço discretas, demonstram que é possível garantir segurança estrutural sem comprometer a autenticidade arquitetônica.

Assim, o Copan se torna não apenas um marco da arquitetura modernista, mas também um referencial de como conduzir intervenções estruturais em edifícios históricos complexos, conciliando inovação técnica e respeito ao patrimônio cultural.

Figura 3 - Planta do COPAN pavimento tipo



A avaliação das diferentes técnicas de reforço estrutural aplicadas a edificações antigas demonstra que a definição do método mais adequado exige uma análise criteriosa de diversos fatores, incluindo o estado de conservação da estrutura, a compatibilidade entre os materiais utilizados e o valor histórico e cultural da construção. Com base na revisão bibliográfica, foi possível identificar que tanto as soluções tradicionais quanto as modernas apresentam benefícios e limitações, o que torna essencial a busca por um equilíbrio entre segurança, preservação estética e

sustentabilidade.

As técnicas convencionais, como o encamisamento em concreto armado e a utilização de chapas ou perfis metálicos, permanecem bastante empregadas por sua eficácia e confiabilidade comprovadas ao longo do tempo. Entretanto, essas soluções frequentemente apresentam um impacto visual significativo e, em determinadas situações, podem comprometer a autenticidade arquitetônica da edificação, especialmente quando se trata de bens tombados ou de elevado valor histórico.

Por outro lado, os métodos contemporâneos, como o uso de polímeros reforçados com fibras (FRP), fibras de carbono e microconcretos, surgem como alternativas cada vez mais viáveis por proporcionarem intervenções discretas, leves e menos invasivas. Além disso, a utilização da Modelagem da Informação da Construção (BIM) vem revolucionando o planejamento e a execução das obras, permitindo diagnósticos mais precisos e simulações detalhadas que reduzem riscos e custos. No entanto, apesar de apresentarem alto potencial, essas soluções enfrentam desafios como o custo elevado, a escassez de profissionais especializados e, em algumas regiões, a dificuldade de acesso a materiais compatíveis.

Outro aspecto essencial identificado neste estudo é a compatibilidade entre os materiais novos e os originais, bem como a reversibilidade das intervenções.

LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste estudo, algumas limitações foram identificadas e devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A principal restrição está relacionada à ausência de ensaios experimentais e estudos de caso práticos. A pesquisa foi fundamentada principalmente em revisões bibliográficas, o que limita a análise do desempenho real das diferentes técnicas de reforço aplicadas em edificações históricas. Além disso, a escassez de dados nacionais padronizados e a falta de acesso a levantamentos estruturais detalhados de construções antigas dificultaram comparações mais precisas entre diferentes métodos.

Outro ponto limitante é a diversidade de tipologias construtivas e a variação nos níveis de degradação das edificações antigas. Cada edificação apresenta particularidades estruturais e arquitetônicas, o que exige abordagens personalizadas e torna complexa a definição de um modelo único de aplicação das técnicas de reforço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar diferentes técnicas estruturais de reforço aplicáveis a edificações antigas, considerando a importância de preservar a autenticidade histórica e as características arquitetônicas originais. A partir de uma revisão detalhada da literatura, foi possível identificar os principais métodos utilizados, tanto tradicionais quanto modernos, e compreender seus impactos na estabilidade, estética e durabilidade das construções.

As técnicas tradicionais, como o encamisamento em concreto armado e a aplicação de chapas metálicas, apresentam bons resultados estruturais e continuam sendo bastante empregadas devido ao seu histórico de eficiência. Entretanto, essas soluções podem modificar de forma significativa a aparência original e, em muitos casos, demandam intervenções invasivas que nem sempre são adequadas a edificações de valor histórico.

Por outro lado, as abordagens modernas, como o uso de polímeros reforçados com fibras (FRP), fibras de carbono, microconcretos e ferramentas digitais, como a Modelagem da Informação da Construção (BIM), demonstraram grande potencial ao proporcionar soluções eficazes, discretas e menos intrusivas. Essas tecnologias permitem reforçar elementos estruturais sem comprometer a estética e, ao mesmo tempo, oferecem maior durabilidade e sustentabilidade, alinhando-se às necessidades de preservação do patrimônio histórico.

Além disso, o estudo reforçou a importância da compatibilidade de materiais e da reversibilidade das intervenções, fatores essenciais para evitar danos irreversíveis às construções. Esses princípios, frequentemente destacados por órgãos de preservação, orientam para a escolha de soluções que respeitem a originalidade dos elementos arquitetônicos e mantenham a integridade cultural das edificações.

Conclui-se que a escolha da técnica mais adequada deve considerar uma abordagem multidisciplinar, envolvendo engenheiros, arquitetos, restauradores, historiadores e instituições responsáveis pela proteção do patrimônio. Somente a partir dessa integração é possível alcançar um equilíbrio entre segurança estrutural, funcionalidade e preservação estética.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. P.; OLIVEIRA, R. Reforço estrutural de edificações históricas: estudo de caso do Casarão em Rio Branco. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 15, n. 2, p. 125-134, 2015. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-68352015000200125&script=sci_arttext. Acesso em: 12 mar. 2025.
- APPLETON, J. **Reabilitação de edifícios antigos: patologias e tecnologias de intervenção**. Lisboa: Orion, 2011.
- ARÊDE, A. D.; COSTA, A. G. Avaliação experimental e monitorização de estruturas antigas de alvenaria de pedra: experiência do NCREP/LESE em dois casos de estudo. **2º Seminário "A Intervenção no Património: Práticas de Conservação e Reabilitação"**, 2005.
- BERTO, R. Sustainable structural retrofitting for historic buildings: decision tool with Life Cycle Thinking approach. **Journal of Building Engineering**, v. 82, p. 107056, 2024.
- BONFIM, M. A. **O Edifício Copan: arquitetura e vida coletiva**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. **Diário Oficial da União**, 1937.
- CÓIAS, V. **Reabilitação estrutural de edifícios antigos – alvenaria, madeira: técnicas pouco intrusivas**. Lisboa: Argumentum, GECORPA, 2007.
- DA COSTA, S. B. M. **Reabilitação e reforço estrutural das construções**. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico do Porto, 2020.
- DALAZEN, C. D. A. **Projeto de reabilitação estrutural de uma edificação histórica com alto grau de deterioração**. 2017.
- DE QUEIRÓS, R. M. F. P. **Análise comparativa e integrada de estratégias de reabilitação estrutural de edifícios antigos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2020.
- FARIA, P.; SANTOS, T. Reabilitação estrutural de alvenarias antigas: compatibilidade de materiais e técnicas. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 18, n. 3, p. 75-88, 2018. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/index.php/BRJD/article/download/33506/pdf>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- FEILDEN, B. M. **Conservation of historic buildings**. 3. ed. Oxford: Architectural Press, 2003.
- FRADDOSIO, A.; LASORELLA, C.; PICCIONI, M. D.; SACCO, E. Limit analysis approach for optimal reinforcement design of masonry structures: the weak reinforcement concept. **Engineering Structures**, v. 319, p. 118457, 2025.

GUARDA, F.; GUEDES, A.; SILVA, C. Uso de fibras de carbono no reforço de elementos estruturais históricos. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FACO-6AYGWN/1/dissert.izabelanavescoelhoteobaldo.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2025.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Monitoramento dos recalques do Edifício Copan**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://ipt.br/2021/06/29/engenharia-do-copan/>. Acesso em: 29 ago. 2025.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Manual de intervenções em patrimônio tombado**. Brasília: IPHAN, 2022.

OLIVEIRA, M. **Diretrizes para reforço estrutural em edifícios históricos: análise de métodos e materiais**. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/index.php/BRJD/article/download/33506/pdf>. Acesso em: 05 jul. 2025.

PEREIRA, L. F.; COSTA, M. A.; ALMEIDA, R. Técnicas de reforço estrutural em edificações históricas: análise de materiais e compatibilidade. **Revista de Engenharia e Arquitetura**, v. 12, n. 1, p. 45-60, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549220002.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2025.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 13.426, de 16 de março de 1979. Dispõe sobre a organização do Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico – CONDEPHAAT. **Diário Oficial do Estado**, 1979.

WIKIPEDIA. **Flitch beam**. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Flitch_beam. Acesso em: 15 ago. 2025.