

Conservação das estruturas de concreto aparente do patrimônio da arquitetura moderna brasileira: Desafios e oportunidades

Conservation of the exposed concrete structures of Brazilian modern architecture: Challenges and opportunities

Cláudia de Andrade Oliveira
Tatiana Regina da Silva Simão
Adriana de Araújo
Cláudio Vicente Mitidieri Filho

Resumo

Edifícios da arquitetura moderna do início da segunda metade do século XX, com estruturas de concreto armado aparente, compõem um vasto patrimônio cultural. Tais estruturas, face às características construtivas e à falta de manutenção, requerem intervenções para restabelecer o desempenho quanto à segurança e funcionalidade. Planos de conservação devem viabilizar a preservação dos atributos que lhe conferem valor patrimonial, respeitando a técnica construtiva original, a aparência das superfícies e a estética do projeto. Neste contexto, o artigo objetiva discutir os desafios da conservação de estruturas de concreto armado aparente do patrimônio moderno brasileiro e as oportunidades de intervenção, abordando dificuldades enfrentadas na fase de inspeção, compatibilidade de técnicas de recuperação de estruturas de concreto aparente contemporâneas, limitações impostas à intervenção ao patrimônio cultural e técnicas de proteção de superfície que descaracterizam minimamente a aparência do concreto. Nas discussões são considerados casos de intervenções em edifícios emblemáticos do patrimônio moderno.

Abstract

Buildings of modern architecture from the beginning of the second half of the 20th century, built out of exposed reinforced concrete, comprise a broad cultural heritage. Those structures demand urgent intervention, due to specific construction features associated with lack of maintenance, in order to restore the required structural and functional performance levels. Conservation plans must enable heritage values to be preserved, retaining the original construction technique, the surface aesthetic qualities and the design intent. In this context, the aim of the article is to discuss the challenges of the exposed concrete conservation of the Brazilian modern architecture, and the opportunities of intervention addressing difficulties faced during condition survey; compatibility with repair methods of the current exposed concrete structures; imposed limitations on the interventions, and surface protection techniques that slightly affect the concrete appearance. Intervention experiences in iconic modern architecture buildings are considered.

Palavras-chave: Conservação de concreto aparente / Patrimônio cultural / Recuperação de estruturas de concreto armado / Concreto aparente / Arquitetura moderna

Keywords: Conservation of exposed concrete / Cultural heritage / Rehabilitation of reinforced concrete structures / Exposed concrete / Modern architecture

Cláudia de Andrade Oliveira

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP, Brasil
ctao@usp.br

Tatiana Regina da Silva Simão

Instituto Federal São Paulo – Campus São Paulo – IFSP, Brasil e Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAUUSP, Brasil
tatiana@ifsp.edu.br

Adriana de Araujo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, Brasil
aaraujo@ipt.br

Cláudio Vicente Mitidieri Filho

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, Mestrado Profissional em Habitação, Brasil
claumit@ipt.br

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

OLIVEIRA, C. A. [et al.] – Conservação das estruturas de concreto aparente do patrimônio da arquitetura moderna brasileira: desafios e oportunidades. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*. Ed. LNEC. Série III. n.º 13. ISSN 2183-8488. (julho 2020) 63-72.

1 Introdução

O patrimônio arquitetônico moderno tem um vasto acervo de edifícios com estrutura de concreto armado aparente, que já completaram 50 anos ou mais de serviço e, ainda, continuam em pleno uso. Vários desses edifícios atingiram níveis críticos de deterioração, majoritariamente, por corrosão de armadura induzida por carbonatação, como consequência das especificações de projeto e características do processo construtivo. Entre as especificações de projeto, à época, destacam-se a pequena espessura de cobrimento das armaduras; a textura da superfície marcada pela madeira das fôrmas no seu estado bruto; elementos esbeltos com geometrias complexas e ausência de proteções superficiais. Das características do processo construtivo destacam-se a dificuldade de moldagem de estruturas de concreto aparente e a adoção de espaçadores rudimentares e em pequena quantidade. A resistência do concreto, quando comparada com os valores atualmente adotados, também era geralmente mais baixa, e não havia aditivos plastificantes ou fluidificantes que pudessem reduzir a relação água/cimento. Disso decorrem problemas como a maior porosidade, presença de irregularidades e descontinuidades na superfície do concreto, além de alterações nas disposições construtivas da armadura.

O enfrentamento do problema tem início com a indagação de como preservar essas superfícies arquitetônicas considerando que os atributos materiais, que determinam seus valores patrimoniais, são os mesmos que impactam negativamente na durabilidade do concreto armado. A este paradoxo soma-se o fato de que muitos edifícios não foram submetidos a ciclos regulares de manutenção em razão da ideia prevalente, à época da sua produção, de que o concreto dispensava cuidados ao longo da sua vida.

O assunto como tema emergente justifica-se por dois motivos. Primeiro é a necessidade de reflexão sobre o resultado insatisfatório de intervenções recentes em estruturas de edifícios modernistas, cujas superfícies se apresentam visualmente fragmentadas, descaracterizadas e com anomalias relacionadas à corrosão das armaduras. Segundo é o especial interesse à extensão da vida útil do patrimônio, e o necessário resgate da importância da manutenção preventiva e do monitoramento da estrutura.

Neste contexto, o artigo objetiva discutir os desafios da conservação das estruturas de concreto armado aparente do patrimônio moderno brasileiro e as oportunidades de intervenção, abordando dificuldades enfrentadas na fase de inspeção, compatibilidade de técnicas de recuperação de estruturas de concreto aparente contemporâneas, limitações impostas à intervenção ao patrimônio cultural e técnicas de proteção de superfície que descaracterizam minimamente a aparência dos edifícios. Nas discussões serão considerados casos de intervenções em edifícios emblemáticos do patrimônio moderno.

2 Desafios

2.1 Base teórico-metodológica

A Carta de Burra [1], publicada em 1979, traz a acepção do termo no sentido *lato*: **conservação** compreende todos os processos voltados à tutela do bem para preservar o seu significado cultural. Diretrizes do ICOMOS [2] trazem a acepção orientada às obras arquitetônicas:

conservação implica operações que mantêm o edifício na condição atual, tolerando-se intervenções limitadas para melhorar a sua segurança.

No conceito seminal, a conservação implica um processo permanente de inspeção e manutenção de caráter preventivo que evita mudanças que desconfigurem o patrimônio diante da implacável ação do tempo sobre a matéria. Como a corrosão das armaduras nas estruturas de concreto é um processo que ocorreu espontaneamente ao longo da vida dessas estruturas, a questão é saber quando e em que extensão os seus efeitos afetarão negativamente o edifício (estrutural, funcional e esteticamente), como desacelerar o processo corrosivo e como mitigar esses efeitos.

Princípios teóricos do campo disciplinar do restauro são aplicáveis à conservação dessas estruturas, e também fundamentam as diretrizes do ICOMOS [2]. Kühl *et al.* [3] trazem uma interpretação desses princípios, a partir das diretrizes da Carta de Veneza [4], que aqui são complementados com algumas condicionantes técnicas:

- **mínima intervenção:** dadas a incerteza e a dificuldade da avaliação do nível de segurança das estruturas, combinadas aos prejuízos da descaracterização da obra, sugere-se uma abordagem incremental, ou seja, aquela feita a partir de intervenções de pequena escala com a mínima retirada de material e com a subsequente intervenção complementar à medida que as intervenções anteriores demonstrarem ou não a sua validade;
- **retrabalhabilidade:** sempre que possível, sugere-se a adoção de soluções que sejam retrabalháveis, ou reversíveis, propiciando intervenções posteriores à medida que novas soluções sejam viabilizadas pelo avanço do conhecimento científico e tecnológico. A retrabalhabilidade pode estar associada a soluções menos robustas e que requerem manutenção mais frequente e acompanhamento do seu desempenho;
- **compatibilidade entre materiais:** os reparos devem privilegiar o emprego de materiais e composições que se assemelhem aos originais. Esse princípio, conhecido como *like-for-like materials*, traz algumas contradições como as relacionadas às transformações do segmento da produção do concreto. Por exemplo, o cimento usado à época da produção dos edifícios modernistas sofreu alterações, ao longo do tempo, na composição e finura; os agregados usados atualmente têm distintas feições geológicas e distribuições granulométricas. Portanto, concretos produzidos atualmente são distintos e devem ser usados após estudos que os compatibilizem tecnicamente com o do patrimônio a ser conservado;
- **distinguidade das intervenções:** tem como objetivo principal diferenciar a substância (matéria) original das de intervenções ao longo do tempo; tem como objetivo secundário documentá-los [intervenções e acréscimos] como ações que também ganham significado histórico com o tempo. Em termos práticos, o principal ponto a ser discutido é a compatibilização do princípio da distinguidade com a harmonização das intervenções no substrato original. A harmonização visa preservar a obra como unidade, sem fragmentá-la visualmente, preservando atributos da aparência, como cor e textura; esse é um grande desafio, considerando as exigências de normas e

regulamentos locais.

Na conservação de estruturas de concreto aparente, os requisitos de segurança, funcionalidade e durabilidade devem ser combinados a requisitos patrimoniais. Os novos requisitos patrimoniais relacionam-se à preservação dos valores atribuídos pela sociedade ao edifício; são de natureza estética, histórica, social, científica, tecnológica, entre outras. O projeto com todas as suas especialidades, que leva a cabo a conservação, deve resultar da relação dialética dos requisitos técnicos e patrimoniais, distinguindo-se, nesse sentido, da típica abordagem da recuperação estrutural do concreto armado.

2.2 Imposições legais do “tombamento”

“Tombamento” é uma das formas de preservação e acatamento dos bens culturais, ou seja, bens representativos da identidade, ação e memória dos diferentes grupos formadores de uma sociedade. Sendo um ato administrativo, no Brasil o tombamento é de responsabilidade da administração pública, na esfera federal, estadual e municipal, e caracterizam-se como infrações eventuais danos e ameaças ao patrimônio tombado. Efeitos do ato do tombamento são, portanto, o controle e as restrições das intervenções físicas realizadas nos bens culturais, a partir da observância de legislação específica.

Como no Brasil adota-se o conceito de que a importância do bem não tem vínculo direto com a sua idade, exemplares da arquitetura moderna foram tombados antes de 20 anos de uso. Se por um lado o instrumento jurídico limita intervenções visando a proteção do patrimônio, por outro lado dificulta ações mais intrusivas para a salvaguarda do edifício que apresenta sinais de deterioração precoce.

Como exemplo, cita-se o programa de ensaios para a inspeção e caracterização do concreto do edifício Vilanova Artigas, edifício sede da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, projetado pelos arquitetos João Batista Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, e construído entre 1967 e 1969. Em 2016 um projeto foi apresentado aos órgãos de preservação para caracterização do concreto aparente das fachadas, elementos estruturais que funcionam como vigas-parede, totalizando uma superfície externa de, aproximadamente, 3080 m². A partir das inspeções feitas *in loco*, combinadas ao estudo da documentação acessível, foram estimados 14 lotes de concretagem. No entanto, os órgãos de proteção aprovaram a extração de apenas 4 testemunhos com diâmetro de 50 mm e altura de 200 mm (equivalente à espessura da viga-parede). Para viabilizar a obtenção de amostra mínima para permitir a realização de alguns dos ensaios definidos, decidiu-se pela extração de 2 testemunhos de 2 empenas distintas (Figura 1).

Outra limitação impediu a remoção localizada do concreto para exame visual da armadura e verificação do avanço da frente de carbonatação. Não sendo permitida qualquer remoção do concreto original, a realização desses ensaios limitou-se a algumas áreas de reparo localizado.

Com isso, restringiu-se a caracterização do concreto e das armaduras de uma estrutura que nunca tinha sido avaliada e para a qual não foram localizados registros rastreáveis sobre o histórico de projeto e produção. Essa questão dos registros documentais é fundamental, pois, sem eles, há uma dificuldade maior na definição dos processos



Figura 1 À esquerda: testemunhos extraídos das fachadas do edifício Artigas com a indicação das frentes de carbonatação. À direita: delimitação de área para a realização de ensaios eletroquímicos e remoção da argamassa de reparo para o acesso às armaduras (Fotos: Acervo ConservaFAU, 2017, disponibilizadas pelas autoras)

de reparo e na avaliação do real estado da estrutura. Restrições impostas pelo tombamento são igualmente impactantes na fase de recuperação e proteção superficial do concreto. De acordo com o que motiva a preservação, geralmente contido nas instruções do tombamento, a elaboração de um Plano de Conservação é necessária e visa orientar qualquer intervenção, incluindo, no caso do concreto aparente, a política de conservação do material quanto à limpeza das superfícies, às diretrizes de reparação e a definição clara de que alterações são aceitas e em que extensão [5]. A inexistência do Plano de Conservação desarticula o processo decisório levando à especificação de soluções técnicas que não atendem, equilibradamente, os requisitos técnicos e patrimoniais do projeto.

2.3 A escala e a frequência de intervenções

Embora a tecnologia de recuperação das estruturas de concreto armado tenha experimentado grandes avanços nos últimos anos, continua sendo um desafio garantir a unidade visual de estruturas monolíticas com grandes superfícies de edifícios tombados pelo patrimônio histórico, dependendo da extensão dos danos provocados pela corrosão e da ausência de ações preventivas de manutenção. A partir do entendimento de que as intervenções devem manter a percepção da unidade arquitetônica do conjunto, são apresentadas abordagens dependentes da escala e da frequência de manutenção.

Castro [6] traz o exemplo do complexo residencial Habitat 67 (Figura 2), localizado em Montreal, projetado por Moshe Safdie e inaugurado em 1967. Nas fachadas de concreto pré-moldado há diversos reparos, com diferentes formas, tamanhos e aparência de cor distinta se comparada à do concreto original, mas o arranjo volumétrico e a dispersão dos reparos com relação às fachadas minimizam o impacto visual e mantêm a percepção da unidade da obra.

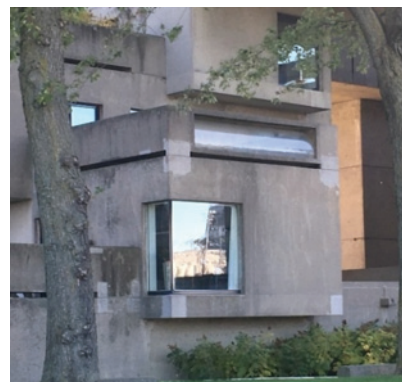


Figura 2 Residencial Habitat 67, Montreal. Acima: vista do complexo. Abaixo: detalhe do reparo da fachada de uma unidade habitacional (Fotos: cortesia Carmen Saraiva, 2017)

Por outro lado, o atual estado das fachadas do edifício Artigas (Figura 3), formadas por grandes planos monolíticos, produz uma



Figura 3 Acima: fachada sudoeste do edifício Vilanova Artigas. Abaixo à esquerda e ao centro: aspectos do concreto original da fachada. À direita abaixo: detalhe de um reparo realizado com argamassa industrializada na campanha de 2012-2015 (Fotos: Acervo equipe ConservaFAU, 2017)

imagem fragmentada e “pixelada” das empenas [7]. O efeito, resultante da intervenção realizada entre 2012 e 2015, não resgatou a imagem unitária e coerente das empenas do edifício, principalmente porque havia muitos pontos de reparos superficiais.

Acrescenta-se que essas grandes empenas do edifício Artigas, expostas a teores de umidade relativa do ambiente com médias anuais entre 75% e 85%, e à crescente intensidade pluviométrica, não foram submetidas à manutenção, preventiva ou corretiva, por mais de 40 anos que sucederam a inauguração do edifício (1969) até a primeira campanha de recuperação realizada entre os anos 2012 e 2015.

O efeito das ações preventivas e frequentes, por sua vez, pode ser observado na aparência do conjunto esportivo do SESC Pompéia (Figura 4), localizado na cidade de São Paulo, Brasil, projetado pela arquiteta Lina Bo Bardi e inaugurado em 1986.

O concreto aparente dos edifícios do conjunto esportivo do SESC Pompéia tem características próprias da textura das fôrmas de

madeira, porosidade superficial e grande variação cromática, além de apresentar reparos feitos com argamassa industrializada nas campanhas de manutenção. O concreto da torre do reservatório de água tem maior compacidade superficial, razão pela qual foi sujeito a um menor número de intervenções; a maior homogeneidade cromática da sua superfície tem facilitado a harmonização dos reparos com o substrato. O edifício é submetido à manutenção programada com periodicidade anual (vistoria geral e reparos de pequena escala), bienal (inspeções detalhadas e ensaios *in loco* por especialistas) e quinquenal (limpeza das superfícies, reparos programados e aplicação de hidrofugante). Essas ações propiciam a execução de reparos que, com o tempo, vão se integrando ao concreto sem se converterem em pontos muito destoantes. A leitura do edifício continua oferecendo ao observador a apreensão de um verdadeiro conjunto, mantendo a visão unitária das grandes superfícies de concreto, combinadas ao ritmo imposto pelas passarelas e janelas nas fachadas.



Figura 4 Conjunto esportivo do SESC Pompéia. À esquerda: vista geral das duas torres que abrigam a circulação, serviços, quadra poliesportiva e conjunto aquático e a torre do reservatório de água. Ao centro: detalhe da superfície do reservatório de água com um reparo localizado. À direita: superfície com reparos pontuais feitos com argamassa industrializada (Fotos: Tatiana Simão, 2018)

2.4 A abordagem projetual

Em exemplares arquitetônicos autorais, cada edifício é único e requer uma abordagem projetual específica. A abordagem é influenciada pela qualidade da construção que, geralmente, determina o nível de intervenção. Edifícios como o National Theatre em Londres – projeto de Sir Denys Lasdun, construído entre 1969 e 1976 [8], e o Sydney Opera House – projeto de Jørn Utzon, construído entre 1959 e 1973 [9], por exemplo, são referências mundiais em termos de qualidade projetual e construtiva. Características como a especificação de armadura de aço galvanizado e espessura de cobrimento de 38 mm (1 ½ polegada) para o National Theatre [8] e a vida útil de projeto de 250-300 anos para o Sydney Opera House [9] propiciam intervenções, geralmente, discretas e pontuais.

Na especificação de materiais e de técnicas de reparo e proteção das estruturas, há duas abordagens mais comuns. A primeira continua sendo baseada na prática de especificar materiais (argamassas de reparo industrializadas de base cimentícia modificada com polímeros) e técnicas de aplicação próprias do campo da engenharia de recuperação, sem preocupação com a compatibilização estética do reparo com o concreto, pois, em geral, há um “estucamento” da superfície, também com produtos industrializados ou com pasta de cimento aditivada com polímeros, antes do acabamento final. A segunda abordagem projetual decorre da aplicação universal do já apresentado conceito *like-for-like material*. Especialistas defendem o uso preferencial do concreto moldado *in loco* às argamassas de reparo em razão da similaridade que guarda com as propriedades do substrato, como o módulo de deformação e a resistência mecânica [10]. Essa prática tem recebido mais atenção a partir da divulgação de informação qualificada sobre as intervenções no concreto da arquitetura moderna, realizadas a partir da década de

1990. A formulação das misturas deve ser fundamentada em ensaios laboratoriais e de campo, bem como na produção de protótipos, com o objetivo de eleger os melhores padrões de intervenção e os procedimentos mais apropriados [10-13].

O concreto moldado *in loco* para os reparos estruturais por vezes não é apropriado em termos executivos, sem um extensivo programa experimental de apoio. No caso do edifício Artigas, foram reparadas 940 áreas dispersas pelos quase 3080 m² das fachadas em uma única campanha de intervenção, o que totalizou, aproximadamente, 24 % da área do concreto original substituído por argamassa (ver Figura 3). Para esse caso, em especial, a recomposição das lacunas usando o conceito *like-for-like material*, ao invés de argamassa industrializada, resultaria na concretagem de 940 áreas distintas nas fachadas, exigindo um projeto especial de fôrmas, em razão das dimensões das empenas, com estruturas auxiliares ou uso de fixadores nas fachadas que, certamente, trariam acréscimos à imagem do edifício. Publicações sobre o assunto trazem, geralmente, exemplos de fôrmas sem grandes complexidades e destinadas a concretagens em pontos isolados, mas na escala do edifício Artigas apenas um projeto apoiado por experimentação indicaria a melhor solução construtiva. Acrescenta-se que o controle da qualidade do concreto produzido *in loco* requer gerenciamento e fiscalização rigorosos, especialmente quando traços tendem a variar para efeito de harmonização de cor e textura.

Há relatos mais recentes de intervenções para as quais foi especificada argamassa de reparo industrializada modificada com polímero por razões técnicas e operacionais [14-16]. Os reparos no concreto devem recompor a continuidade estrutural do elemento e, para tanto, parâmetros como a aderência ao substrato, capacidade de envolvimento das armaduras e preenchimento do pequeno

espaçamento entre barras favorecem o uso das argamassas industrializadas aplicadas manualmente, especialmente em superfícies verticais, com lacunas de pequena profundidade (até 3 ou 4 cm).

Intervenções no concreto como as executadas no National Theatre em Londres [16] e no complexo de residências universitárias *Collegi* na Universidade de Urbino [14] utilizam uma solução intermediária: argamassa industrializada aplicada manualmente nas lacunas e uma camada final (espessura de 1 ou 2 cm) de argamassa com finalidade “cosmética”, feita em obra a partir de estudos prévios, com o objetivo de harmonizar cor e textura com o concreto do entorno. Estudos exploratórios, para adequação da camada de argamassa cimentícia cosmética, também foram realizados como subsídios ao eventual refazimento dos reparos do concreto do edifício Artigas. Castro (2018) desenvolveu procedimentos de apoio para determinar variáveis cromáticas por meio do sistema CIE $L^*a^*b^*$, usando colorímetro (espectral e/ou tristímulo) à semelhança dos estudos reportados em *Collegi* na Universidade de Urbino [14].

Ressalta-se que o tempo, os insumos e a experiência profissional para estudos e elaboração dos projetos dificilmente são considerados nos orçamentos dos serviços de conservação, ou considerados nas modalidades de contratação, especialmente nas obras públicas no Brasil. Portanto, a falta de treinamento de engenheiros e arquitetos das empresas contratadas também é um fator limitante para a obtenção de bons resultados, e para o contínuo aprimoramento das técnicas de conservação do concreto aparente.

3 Oportunidades

3.1 O aprofundamento cognitivo das estruturas

Muito se fala sobre o aprofundamento cognitivo dos atributos físicos e do estado de conservação dos edifícios, porém pouco ainda se publica sobre a caracterização de materiais e do funcionamento estrutural do patrimônio em concreto aparente do século XX. Conhecer propriedades do concreto armado (cobrimento da armadura, resistência mecânica, resistividade, entre outras), aspectos da microestrutura do concreto (porosidade, fases hidratadas, traços reconstituídos, entre outros) e da corrosão das armaduras seria de interesse à melhor compreensão do desempenho desses edifícios.

Na avaliação do concreto as técnicas de aquisição de dados a partir de imagens, como o escaneamento a laser, termografia e a radiação eletromagnética (georadar), são preferenciais por serem não invasivas ao patrimônio. Dentre essas, o escaneamento a laser, utilizado para o registro digital tridimensional das empenas do edifício Artigas [7] mostrou-se apropriado para a documentação dos reparos feitos nas fachadas e também para o registro do estado de conservação das empenas. Os dados obtidos compõem uma base dimensional da estrutura periférica, vigas-parede, que será útil à calibração do modelo analítico estrutural do edifício, em desenvolvimento por pesquisadores da FAUUSP.

A avaliação da corrosão e de seus efeitos ao patrimônio configura-se como novo campo de pesquisa, sobretudo como frente necessária de interpretação do funcionamento estrutural desses edifícios de concreto aparente. A corrosão das armaduras é prejudicial não

apenas pela desagregação do concreto, mas também por provocar a perda de aderência entre concreto e aço rompendo o trabalho solidário dos materiais. Zhu [17] destaca outra consequência importante que não tem sido considerada com a profundidade necessária. Trata-se da alteração nas propriedades do aço, mais precisamente da utilidade quando corroído, que pode alterar o modo de falha dos elementos estruturais. Portanto, na conservação de estruturas sujeitas à corrosão de armaduras, mesmo que reparos localizados tenham sido feitos com sucesso, é necessária a verificação da capacidade resistente dos elementos estruturais na eventual corrosão das armaduras principais mais vulneráveis, vinculando-se também a contribuição das disposições construtivas dessas armaduras. A prioridade deve ser dada aos elementos mais suscetíveis à corrosão como elementos estruturais com grande superfície exposta ao intemperismo.

3.2 Sistemas de reparo e de proteção de superfície

Os efeitos da corrosão em estruturas com grandes superfícies devem ser analisados sistemicamente. Para o concreto em que a frente de carbonatação já atingiu a armadura, o estágio de corrosão encontra-se na fase de propagação que compreende estágios de deterioração gradativa das estruturas, chegando a um nível crítico com consequências além dos limites toleráveis [18]. Nessa condição, a taxa de corrosão da armadura deve ser o principal foco de controle, como apontado no relatório do edifício Artigas [7], valendo-se de uma estratégia de tratamento de toda a superfície e não apenas dos reparos. Com esse tratamento evita-se a corrosão na área adjacente ao reparo que resulta da incompatibilidade eletroquímica entre o concreto carbonatado e o material do sistema de reparo tradicional (argamassa de base cimentícia modificada com polímeros). Após o reparo, o trecho de armadura no concreto perde a polarização catódica que lhe era proporcionada pela atividade anódica do trecho corroído. Com isso, a armadura do concreto adjacente ao reparo fica suscetível à corrosão enquanto o trecho de armadura do reparo é repassivado pela alcalinidade da argamassa. Esse fenômeno é conhecido e amplamente discutido no meio técnico há décadas [19] e requer soluções que garantam a compatibilidade e o equilíbrio, num determinado período de tempo, das propriedades físicas, químicas e eletroquímicas entre o material de reparo e o do substrato; essa compatibilidade é determinante para a durabilidade e a eficácia dos reparos estruturais, especialmente quando se trata da conservação de concretos porosos, fissurados e carbonatados que não propiciam as melhores condições de proteção às armaduras de aço.

Além da eventual aplicação de realcalinizante na interface concreto/reparo e do uso de inibidor de corrosão de migração na argamassa de reparo, a impregnação de toda a superfície da estrutura, exposta ao intemperismo, com inibidor de corrosão de migração e hidrofugante é uma vertente de investigação recomendada por especialistas e reportada em Pinheiro *et al.* [7].

O hidrofugante à base de silano tem sido usado na proteção do concreto aparente do patrimônio moderno como sugere intervenção documentada [11]. Os hidrofugantes, especialmente os de impregnação à base de silano (que penetram em maior profundidade) e com elevado teor de sólidos, têm sido utilizados

em pesquisas voltadas à proteção de superfícies em ambientes de elevada agressividade. Embora o seu uso corrente ainda não seja competitivo por razões de custo, se comprovada a sua durabilidade poderá se tornar uma opção viável.

O uso dos sistemas formadores de películas é polêmico e tende a desnaturar a obra. A especificação da pintura expressa a urgência da proteção da estrutura para manter condições de segurança e funcionalidade, no uso cotidiano do edifício, dado o insucesso de soluções testadas anteriormente. Exemplo desta postura é visto no caso do Museu de Arte de São Paulo – MASP (projetado por Lina Bo Bardi e inaugurado em 1969). A pintura dos pilares e vigas externos, com tinta vermelha, foi uma solução aprovada pela arquiteta Lina, em 1990, para os problemas persistentes de infiltração [20]. A decisão foi tomada após soluções malsucedidas de conter a penetração de água no concreto afetando a integridade da estrutura e umedecendo áreas internas do edifício como a pinacoteca.

A pintura também tem sido especificada como parte de sistema combinando inibidor de corrosão de migração e hidrofugante. Exemplos do uso desse sistema são os edifícios da Fundação Joan Miró (projeto do arquiteto Josep Lluís Sert e inaugurado em 1975), do Pentágono Americano e do *New York Hall of Science* (projetado pelo arquiteto Wallace K. Har, para a Feira Internacional de Nova York de 1964-1965). O sistema de proteção aplicado nas fachadas do edifício da Fundação Joan Miró é também composto por pintura acrílica branca, segundo relatório técnico publicado pelo Instituto de Ciências de La Construcción Eduardo Torroja [21]. Para os edifícios do Pentágono Americano [22,23] e *New York Hall of Science* [24] foi especificada tinta mineral à base de silicato de potássio, em razão da necessidade de prolongar a vida útil da estrutura, e nas palavras de Edelson [22] "*proteger o concreto pelos próximos 50 anos*". Relatos de Silva e Meyer [23] indicam que medições realizadas ao longo de 10 anos, durante os trabalhos no edifício do Pentágono Americano, demonstraram o bom funcionamento do sistema aplicado, mantendo a taxa de corrosão em valores indicativos de estado passivo da armadura, e também destacam que a pintura à base de silicato de potássio, aditivado com pigmento, foi especificada para proteger o hidrofugante da radiação ultravioleta e também para possibilitar a homogeneização da cor.

A despeito de bons resultados obtidos, reportados por especialistas, a continuidade das pesquisas é necessária para avaliar o efeito da camada de pintura usada em combinação com inibidor de corrosão de migração e hidrofugante. Considerando os princípios da mínima intervenção e retrabalhabilidade, convém que o desempenho do sistema de proteção seja avaliado sem a camada final de pintura.

Diante da disponibilidade de novos produtos no mercado, a ação de sistemas de proteção de superfícies, aplicados por meio de técnicas pouco invasivas, está sendo investigada por pesquisadores da FAUUSP e do IPT em concreto com características similares às do edifício Artigas. Esses sistemas são compostos por inibidores de corrosão de migração à base de amina-éster, realcalinizantes químicos e hidrofugantes à base de silano com elevado teor de sólidos. O foco da primeira etapa da pesquisa é a investigação da interação dos produtos com o concreto, verificando como as espécies químicas se difundem no concreto carbonatado e que alterações são produzidas quanto à absorção de água, formação de

novos compostos, porosidade e profundidade de penetração. Além disso, está sendo investigada a alteração do potencial de corrosão que indica a probabilidade de corrosão da armadura no concreto tratado com esses sistemas de proteção. Outra pesquisa, em fase de formulação, está voltada à investigação das técnicas de aplicação do hidrofugante em superfícies muito irregulares, que não devem – ou não deveriam – ser estucadas.

3.3 Monitoramento das estruturas

A carência de dados confiáveis para as estruturas de concreto em questão, aliada ao desconhecimento de como se dá o envelhecimento dos materiais de reparo, amplia as incertezas sobre a validade das intervenções no longo prazo. Técnicas de monitoramento das estruturas podem auxiliar a obtenção de respostas necessárias ao entendimento do comportamento em uso, considerando que ensaios laboratoriais não reproduzem todas as variáveis de campo e suas combinações. Além disso, permite que certos mecanismos, verificáveis apenas no concreto envelhecido naturalmente, possam ser avaliados.

No caso das investigações do edifício Artigas [7], foi proposto o embutimento de eletrodos de referência em trechos da armadura no concreto e nos novos reparos a serem executados e ainda, se possível, o uso adicional de sensor galvânico e de sensor de taxa de corrosão nos novos reparos. O uso de eletrodos e de sensores permite o monitoramento dos fatores que governam o comportamento dos materiais; permite também avaliar métodos de proteção da superfície do concreto com vista ao planejamento de manutenções futuras, especialmente para a reaplicação do hidrofugante e do inibidor de corrosão de migração, além da avaliação da eficiência dos reparos realizados. Convém considerar a associação dos sistemas de monitoramento do concreto armado com outros sistemas que monitoram as condições climáticas e, ainda, o tempo de molhamento das superfícies.

4 Entre o desejável e o possível

Conservar o concreto armado aparente da arquitetura moderna importa não apenas pela preservação dos valores estético e histórico, mas pela preservação de testemunhos de sofisticadas soluções projetuais e técnicas que exploram os limites da expressão estrutural e plástica do concreto armado.

Nesse contexto, o desejável seria o diálogo qualificado entre os intervenientes no processo, mediado por profissionais com formação e experiência na área, para levar a cabo uma competente intervenção.

Aos conservadores cabe reconhecer que um dos principais atributos qualificadores desse patrimônio, as superfícies do concreto aparente, é também a principal ameaça à sua preservação. Mudanças aceitáveis, objetivando preservar o que ainda resta e garantir a estabilidade da estrutura, devem ser claramente enunciadas, a partir da experimentação das técnicas de reparo e proteção.

Aos profissionais da área técnica cabe o desafio central de propor soluções de reparo, trabalhando em parceria com a indústria para o estudo da viabilidade do desenvolvimento de argamassas feitas "sob

medida" que consigam estender a vida útil de estruturas projetadas e produzidas com base em normas e códigos que não consideravam, na sua totalidade, critérios de durabilidade. Apoiados pelos recentes avanços tecnológicos, esses profissionais seriam capazes de buscar alternativas não convencionais para a solução desse desafio, orientados pelos conservadores.

Dada a dispersão de informações sobre o patrimônio de concreto aparente, a falta de dados confiáveis sobre o desempenho das intervenções e a carência de profissionais experientes no assunto, o possível é investir na formação de recursos humanos, especialmente nos cursos universitários e nos institutos de pesquisa. Ações voltadas à pesquisa e desenvolvimento favorecem o avanço e difusão do conhecimento na área e estimulam a formação do pensamento crítico associado às bases científicas.

As pesquisas citadas estão em andamento e, no momento, dispõem-se apenas de resultados preliminares e ainda limitados. Apenas a partir dos resultados finais poderão ser definidas as perspectivas de desempenho dos sistemas de tratamento e revestimento, sendo estes objeto de publicações futuras sobre o presente tema. Espera-se que haja também contribuições ao desenvolvimento futuro de metodologias de seleção e de avaliação de técnicas de reparo e de sistemas de proteção de superfícies, aplicados aos elementos do patrimônio moderno de concreto aparente.

Referências

- [1] International Council on Monuments and Sites – ICOMOS, 2013 – *The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance*. Acessado em 19 Abr. 2016. Disponível em: <http://australia.icomos.org>.
- [2] International Council on Monuments and Sites Icomos, 2003 – *Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage: Guidelines*. 2003. Disponível em: https://www.icomos.org/charters/structures_e.pdf. Acesso em 30 jun. 2017
- [3] Kuhl, B.M. et al, 2011 – *Edifícios da FAU como bens culturais: Fundamentação teórica para intervenções*. Material complementar. Plano Diretor Participativo FAUUSP (2011-2018). São Paulo.
- [4] International Council on Monuments and Sites – Icomos, 1965 – *International charter for the conservation and restoration of monuments and sites* (the Venice Charter 1964). Veneza, ICOMOS. http://www.icomos.org/charters/venice_e.pdf. Acessado em 19 abr. 2016.
- [5] Kerr, J.S., 2013 – *Conservation plan: a guide to the preparation of conservation plans for places of European cultural significance*. 7th edition, Australia ICOMOS Inc., 2013.
- [6] Castro, C.S.S.M. de, 2018 – *Para além das aparências: contribuição ao estudo da conservação da superfície arquitetônica de concreto aparente*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [7] Pinheiro, M.L.B. et al., 2017 – "Subsidies for a conservation management plan: Vilanova Artigas Building" (School of Architecture and Urbanism of the University of São Paulo – FAUUSP). Los Angeles: Technical Report. Keeping It Modern. The Getty Foundation. 2017. Disponível em: http://www.getty.edu/foundation/initiatives/current/keeping_it_modern/report_library/ Acesso em: 18 nov. 2018
- [8] Haworth Tompkins, 2008 – "Conservation Management Plan for the National Theatre". Final Draft. Disponível em https://www.nationaltheatre.org.uk/sites/default/files/nt_conservation_plans_dec_08.pdf.
- [9] Taylor, L., 2018 – "Sydney Opera House Concrete Conservation Project". Final Report Summary.
- [10] Harrer, A.; Gaudette, P., 2019 – "Challenges of preserving modernist concrete". MATEC Web of Conferences (2019), Concrete Solutions 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335446851_Challenges_of_preserving_modernist_concrete Acesso em: 16 nov. 2019.
- [11] Slaton, D.; Gaudette, P.; Patterson, D. 2018 – Morse and Ezra Stiles Colleges Yale University, New Haven, Connecticut. In: Prudon, T.; Normandin, K. (Ed.). *International Specialist Committee/Technology Dossier 14 - Concrete and Modernism: Technology and Conservation*. New York: Docomomo US, p. 32-37.
- [12] Caldwell, J.; Harrer, A., 2017 – "Repairs to Concrete at the Pilgrimage Theatre in Los Angeles, California". *APT Bulletin*. The Journal for Preservation Technology, Vol. 48, No 1, p. 49-57.
- [13] Gaudette, P.; Slaton, D., 2007 – *Preservation Briefs 15: "Preservation of Historic Concrete"*. Washington: Technical Preservation Services. Disponível em: <https://www.nps.gov/tps/how-to-preserve/briefs/15-concrete.htm> Acesso em: 16 nov. 2019.
- [14] Università Degli Studi di Urbino Carlo BO, 2018 – "The Conservation Plan of the Collegi Universitari di Urbino: framework, achievements and new challenges". Disponível em: http://www.getty.edu/foundation/pdfs/kim/urbino_conservation_plan.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [15] Stegen, G., 2018 – "Patch repair, the cure for the typical weaknesses of early modern and older heritage in concrete". In: *Conference and Expert Meeting Modern Heritage in Concrete*, 3rd, 2018. Proceedings. Berlin, 2018, p.1-11.
- [16] Douglas, S., 2016 – "A concrete performance: conservation at the National Theatre". *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering History and Heritage*, Volume 169, Issue 1, February 2016, p. 36-41. <https://doi.org/10.1680/jenhh.15.00009>.
- [17] Zhu, W., 2014 – *Effect of corrosion on the mechanical properties of the corroded reinforcement and the residual structural performance of the corroded beams*. 190 p. PhD Thesis. Civil Engineering. Institut National des Sciences Appliquées de Touseuse - INSA.
- [18] Araujo, A.; Panossian, Z., 2017 – "Comportamento eletroquímico do aço-carbono em concreto: potencial de eletrodo e densidade de corrente elétrica". *Téchne*, v.24, n.247, p.47-52.
- [19] Emmons, P.H.; Vaysburd, A.M.; McDonald, J.E., 1993 – "A Rational Approach to Durable Concrete Repairs". *Concrete International*. Vol. 15, No 9, p. 40-45.
- [20] Oksman, Silvio et al, 2018 – "Plano de Conservação da Estrutura do MASP". Los Angeles: Technical Report. Keeping It Modern. The Getty Foundation. 2019. Acesso em: 18 nov. 2019. Disponível em: http://www.getty.edu/foundation/initiatives/current/keeping_it_modern/report_library/masp.html?q={
- [21] Instituto se Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc, 2015 – *Informe 20.489 – Efecto del inhibidor de corrosión MasterProtect 8000 CI en la Fundación Joan Miró*.

- [22] Edelson, R., 2007 – "The Pentagon lightwell walls: repair, rehabilitation and protection for the next 50 years". *Structure Magazine*. January 2007, p. 34-36.
- [23] Silva, M. da R.; Meyer, J.J., 2019 – "Restauração do Pentágono Americano". *Concreto & Construções*. IBRACON: São Paulo, ed. 94, p. 85-89, abr./jun. 2019.
- [24] Buchner, L.N.; Pepi, R.M., 2015 – "Restoration of the cast-in-place concrete at the New York Hall of Science". *APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology*, Vol. 46, No. 2/3, p. 54-63.