

13º Seminário

do_c_o_m_o_m_o_
brasil

Salvador – BA
7 a 10 de outubro de 2019



MÉTODO DE ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO PARA SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM MÁRMORE: O Caso do Congresso Nacional

Teorias e práticas de intervenção no moderno

Bruna Barbosa de Lima

Arquiteta e Urbanista. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.
brunablim@gmail.com

Vanda Alice Garcia Zanoni

Doutora em Arquitetura e Urbanismo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília.

vanda.a.g.zanoni@gmail.com

Resumo:

O século XX foi marcado pela consolidação do edifício em altura como tendência construtiva, e pelas pesquisas com materiais novos e tradicionais, porém aplicados de modos inovadores. Nesse contexto, destaca-se a mudança no modo de se construir com a rocha, até então adotada predominantemente na forma de blocos, passando a ser utilizada como placas esbeltas a integrar sistemas de revestimento em grandes superfícies de fachada. No caso brasileiro, destaca-se o papel fundamental da rocha na expressão formal dos Palácios de Brasília, onde o mármore branco configura elemento de destaque e de unidade no conjunto monumental. Não obstante, nota-se na bibliografia um enfoque na conservação do material rochoso de modo independente do sistema de revestimento, o que conduz a diagnósticos inconsistentes. Tornam-se prementes, assim, estudos sobre como conservar esses sistemas, somados à dificuldade imposta à inspeção e ao monitoramento quando instalados em edifícios altos. Nesse contexto, é proposto um método de análise como suporte à investigação do estado de conservação de sistemas de revestimento em mármore em edifícios altos do período moderno. De modo específico, é apresentada a etapa de levantamento físico por meio de VANT, fotogrametria e prospecções, com vistas a se delinear tendências para futuras intervenções no estudo de caso escolhido: o Congresso Nacional. Espera-se contribuir para o repertório de estudos acerca da conservação do patrimônio moderno e seus sistemas, particularmente no tocante às técnicas de inspeção e de monitoramento em edifícios em altura, com a possibilidade de transposição dos procedimentos a outros casos semelhantes.

Palavras-chave: sistemas de revestimento em mármore, edifícios altos, estado de conservação, VANT, Congresso Nacional.

Abstract:

The 20th century was marked by the consolidation of the high-rise building as a constructive trend, besides the researches on new materials or innovative ways to apply traditional materials. In this context, stands out the shift in the constructive paradigm regarding the natural rock, which was predominantly adopted as blocks, and begins to integrate cladding systems as slabs of natural rock applied on large surfaces of facades. In the Brazilian case, rock has a fundamental role in the formal expression of the Palaces of Brasília, where white marble is an element of prominence and unity in the monumental set. Nevertheless, the literature focuses on the conservation of rock independently of the cladding system, leading to incomplete diagnoses. Therefore, there is an urgente need for studies

13º Seminário
do_co,mo,mo_
brasil

Salvador – BA
7 a 10 de outubro de 2019



about the conservation of these systems, added the difficulty of inspection and monitoring in the case of high-rise buildings. So, it is proposed a method of analysis as support for the investigation of the state of conservation of marble cladding systems in high buildings. Specifically, the article presents the stage of survey by means of UAV, photogrammetry and prospecting, in order to delineate trends for future interventions in the case study: the Brazilian Palace of Congress. It is expected to contribute to the repertoire of studies on the conservation of modern heritage and its systems, particularly with regard to inspection and monitoring techniques in high-rise buildings, with the possibility of transposing the procedures to other similar cases.

Keywords: *marble cladding systems, rock, high-rise building, state of conservation, UAV, Brazilian Palace of Congress.*



MÉTODO DE ANÁLISE DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO PARA SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM MÁRMORE: O Caso do Congresso Nacional

Introdução

O edifício em altura se consolidou como tendência construtiva no século XX, impulsionada pelos avanços no cálculo de estruturas e fundações, pela invenção do elevador e pelo desenvolvimento de materiais de construção como o aço e o concreto armado¹.

No âmbito das pesquisas com materiais próprias do período², destaca-se a mudança no modo de se construir com a rocha. De uso até então predominante nas vedações, colunas, alicerces e arcadas na forma de blocos e aduelas, com a evolução das técnicas de beneficiamento e ancoragem, a rocha passa a ser adotada como placas esbeltas a integrar sistemas de revestimento em grandes superfícies de fachada.

No caso brasileiro, destaca-se o papel fundamental do revestimento em placas de rocha na expressão formal dos Palácios de Brasília³. No contexto único da construção da capital, o mármore confere o branco de destaque e, ao mesmo tempo, coesão dos edifícios na paisagem da Esplanada e praça cívica.

Na área de tecnologia da conservação, predominam os estudos sobre a conservação da rocha focada no material, o que conduz a diagnósticos inconsistentes quando considerado o sistema como um todo. Acresce que a bibliografia específica abrange informações conflitantes e terminologias dúbias quanto à sua conservação, particularmente no que se refere aos sistemas adotados na arquitetura moderna.

Por falta de um pleno entendimento dos processos de degradação e frente à relevância da rocha na arquitetura do século XX, é premente a investigação sobre métodos e procedimentos de conservação de sistemas de revestimento de fachada que adotam o material rochoso em placas. A problemática consiste, assim, em como conservar esses sistemas de fachada, somada à dificuldade imposta à inspeção e ao monitoramento quando instalados em edifícios altos.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é apresentar um método de análise como suporte à investigação do estado de conservação de sistemas de revestimento em placas de mármore na arquitetura moderna, particularmente na tipologia de edifício em altura. De modo específico, será apresentada a etapa de levantamento físico por meio de VANT⁴, fotogrametria e prospecções, com vistas a se delinear tendências e recomendações para futuras intervenções no estudo de caso.

Os procedimentos propostos objetivam a busca pelas informações necessárias para a caracterização técnica e do estado de conservação do sistema em estudo, incluindo a investigação de suas camadas quanto às dimensões e às funções desempenhadas. Para

¹ FICHER, 1991, "Edifícios altos no Brasil", p. 61.

² MACDONALD (1996) destaca as pesquisas no séc. XX por novos materiais e por materiais tradicionais, adotados de modos inovadores (MACDONALD, 1996, p. 90).

³ SILVA, 2012, "Os palácios originais de Brasília", p. 79.

⁴ O termo VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) derivado do inglês UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) é adotado nas pesquisas acadêmicas para se referir a qualquer equipamento não tripulado por um ser humano que acesse o espaço aéreo. A ICAO (2015) adota a sigla RPA (*Remotely Piloted Aircraft*) para denominar aeronave não tripulada pilotada remotamente por uma estação. O termo drone, por sua vez, é a denominação informal para se referir a esse tipo de equipamento.



tanto, o VANT é adotado como ferramenta de inspeção, associado à técnica da fotogrametria digital para a produção de ortoimagens das fachadas.

A fim de testar o método desenvolvido, foi escolhido como estudo de caso o sistema de revestimento em mármore de exemplar notável da arquitetura moderna brasileira: o Palácio do Congresso Nacional. O mármore branco instalado nas empenas de suas torres gêmeas, concebidas para serem as mais altas da capital⁵, tem grande relevância no contexto da construção de Brasília. Não obstante, faltam informações detalhadas a respeito dos aspectos físicos (técnicos e construtivos) do sistema, das condições de uso e exposição e de seu estado de conservação, com o intuito de subsidiar as ações futuras de conservação.

Espera-se do artigo contribuição para o repertório de estudos de técnicas de inspeção e de análise em edifícios em altura por meio de VANT e de fotogrametria, no sentido de monitorar, no âmbito da manutenção preventiva, o sistema de revestimento em mármore das fachadas do objeto de estudo – com a possibilidade de transposição para outros casos semelhantes.

Enquadramento teórico

Frente à relevância da rocha na arquitetura moderna, o aprofundamento dos estudos sobre como conservar esse material enquanto parte de um sistema de revestimento de fachada é fundamental. Apesar de várias pesquisas abordarem o tema sob a ótica dos processos químicos de alteração no material rochoso, com ênfase nos blocos e cantarias de monumentos históricos antigos (OLIVEIRA, 2011; 2016; HAAS, 2003; AIRES-BARROS, 1991), os estudos a respeito da conservação da rocha em placas mostram-se ainda incipientes.

Quanto aos métodos e às técnicas de inspeção desses sistemas nas fachadas de edifícios altos, os trechos de difícil acesso são um dos desafios impostos à realização dos levantamentos necessários. Nesses casos, os VANTs se mostram como alternativa para a realização das inspeções voltadas a subsidiar às ações de conservação e manutenção dos edifícios e de seus sistemas de fachada (MELO JÚNIOR, 2016; TONDELO E BARTH, 2019).

O uso dos VANTs como ferramenta de monitoramento no campo da Arquitetura e Engenharia tem sido tema de pesquisas diversas. Os equipamentos podem ser adotados para acompanhamento de obras, inspeção de fachadas e levantamentos e medições de elementos arquitetônicos. No tocante aos estudos sobre sua aplicação como suporte ao mapeamento de danos de fachadas, destacam-se Melo Júnior (2016) e Córdoba (2012), que associam a técnica à fotogrametria a curta distância; Tondelo e Barth (2019), que analisam aspectos construtivos e manifestações patológicas de fachadas industrializadas; Kim et al. (2017), que adotam o processamento digital das imagens obtidas para a identificação de fissuras em estruturas de concreto; e Ham et al. (2016), que apresentam uma revisão bibliográfica dos métodos mais recentes de inspeção de obras civis por meio dessa ferramenta.

No levantamento fotográfico, as imagens geradas com a finalidade de subsidiar a produção de mapas de danos devem apresentar resolução ou tamanho de pixel conforme o nível de precisão desejado. Para as câmeras digitais, a resolução depende da quantidade de pixels, do tamanho do sensor digital, da distância ao objeto e da distância focal (MELO JÚNIOR, 2016). Além disso, deve-se configurar a câmera de modo a regular os parâmetros que

⁵ COSTA; NIEMEYER, 1958, "Praça dos Três Poderes e Palácio do Congresso Nacional", p. 18.



influenciam o nível de precisão e a qualidade das imagens: distância focal, abertura do diafragma, tempo de exposição e sensibilidade ISO.

No tocante ao uso do VANT para a condução da câmera, a distância da tomada fotográfica até o edifício deve ser preferencialmente a mínima possível, desde que assegurados os requisitos de segurança com relação ao equipamento, e, principalmente, ao patrimônio edificado. Tondelo e Barth (2019) estabeleceram essa distância em 80 cm para análise da envoltória de edifício com apenas três pavimentos.

A distância mínima recomendada por Melo Júnior (2016) é de 3 metros. Para o cálculo da distância entre tomadas fotográficas (B), o autor sugere a aplicação da Equação (1) em função da sobreposição desejada, da distância entre a câmera e o objeto e o valor do ângulo de visão da lente da câmera.

$$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} L \cdot (1 - p/100) \quad (1)$$

Em que: α é o ângulo da abertura da lente da câmera (graus); L é a distância da câmera ao objeto (m); e p é o percentual de sobreposição de uma fotografia em relação à outra.

Uma vez obtidas as imagens do sistema inspecionado, é preciso prepará-las para a fase seguinte, de identificação de danos. No âmbito da Ciência da Computação, a área da visão computacional estuda métodos para a extração automatizada de informações contidas em imagens, com destaque para a fotogrametria digital, mais especificamente o *Dense Stereo Matching* (DSM) (MELO JÚNIOR, 2016).

Groetelaars (2015) classifica o DSM como a última evolução das técnicas fotogramétricas automatizadas para obtenção de modelos geométricos, fundamentada na correlação automática de conjuntos de pixels homólogos em diferentes fotos para a geração da chamada "nuvem de pontos". A partir dela, podem ser extraídas as ortoimagens, ou seja, produtos bidimensionais obtidos pela projeção ortográfica dos modelos geométricos.

Outra linha de estudo na visão computacional se fundamenta em técnicas de extração automática de características ou atributos de um objeto. Nesse contexto, Melo Júnior (2016) investiga a extração de informações sobre manifestações patológicas em fachadas por meio do processamento digital de imagens.

Costa e Amorim (2009) aplicaram uma metodologia para mapeamento de danos a partir da fotogrametria digital, que consistiu em registro fotográfico do monumento, geração das ortoimagens e identificação dos danos por meio de vetorização em ferramenta CAD. Os autores concluíram que a utilização de ortoimagens para a produção de mapas de danos conferiu mais celeridade e racionalidade ao trabalho, apesar de não dispensar a realização de levantamentos complementares como prospecções e ensaios laboratoriais.

Método proposto

O método de análise do estado de conservação para sistemas de revestimento em mármore foi desenvolvido mediante revisão bibliográfica sobre os temas de conservação de rochas – inclusive convenções existentes para identificação de danos, tais como IPHAN (2012), ICOMOS-ICS (2010), UNI 11182 (2006) e Normal 1/88 (CNR-ICR, 1988) –, metodologias de análise de risco (BS, 2006) e de monitoramento e inspeção de edifícios (ASCE, 2014; ASTM, 2014; CÓIAS, 2009; TINOCO, 2009; LICHTENSTEIN, 1986).



Como referencial metodológico, destaca-se o método de análise dos modos de falhas e seus efeitos (FMEA)⁶, que prevê procedimentos para a análise de um sistema com vistas a identificar os modos de falhas potenciais, suas causas e danos. Para tanto, faz-se necessária a identificação dos componentes do sistema e dos requisitos de função e desempenho assegurados por cada um deles (BS, 2006).

Frente aos fundamentos teóricos e metodológicos, o método proposto divide-se em três etapas:

- i) levantamento, que inclui procedimentos para a identificação e caracterização do objeto de estudo e de seu estado de conservação, por meio de pesquisa do histórico do edifício e levantamento físico;
- ii) análise do estado de conservação, com identificação dos modos de falha, suas causas e efeitos, das Zonas de Tensão e a priorização dos danos; e
- iii) elaboração dos cenários de conservação, ou seja, os cenários representativos historicamente, na condição presente e como tendências futuras do estado de conservação do sistema em estudo.

Este artigo apresenta a etapa de levantamento, mais especificamente o levantamento físico por meio de VANT, fotogrametria digital e prospecções, conforme detalhado a seguir.

Etapas de levantamento

A etapa de levantamento tem como objetivo coletar as informações necessárias para a caracterização técnica e o estado de conservação do sistema em estudo, incluindo os seus componentes e camadas, suas dimensões e funções, em conformidade com o escopo do FMEA (BS, 2006). Para esse fim, são adotados os procedimentos de pesquisa do histórico do edifício e de levantamento físico e do estado de conservação.

A pesquisa do histórico consiste nos procedimentos de anamnese, ou seja, o processo de observação na linha do tempo da edificação, a fim de compreender os danos (TINOCO, 2009). Ocorre mediante consulta a projetos e a documentação técnica, além de entrevistas com os envolvidos na sua conservação ao longo dos anos. Desse modo, tem como finalidade a obtenção de informações a respeito do sistema de revestimento em mármore por meio do levantamento de sua narrativa histórica enquanto parte do edifício, desde a construção, passando pelas intervenções sofridas.

O levantamento físico, enfoque deste artigo, consiste no levantamento da situação atual do sistema estudado a partir da associação dos seguintes métodos e técnicas: a captura de imagens mediante uso de VANT, a geração de ortoimagens das fachadas por meio da fotogrametria digital e a vetorização dos danos por ferramenta CAD.

Inicia-se o levantamento físico a partir de uma vistoria preliminar realizada por meio de inspeção, análise visual e registros fotográficos. Essa fase, denominada de vistoria de aspecto geral⁷ pela ASTM (2014), possibilita um reconhecimento da tipologia da fachada, os

⁶ A norma internacional BS EN 60812:2006 – *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis – FMEA* define o método FMEA (*Failure Mode Effects Analysis*) como um procedimento sistematizado para a análise de um sistema, com vistas a identificar modos de falha potenciais, suas causas e danos. Com base nele, foi desenvolvido o FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), que inclui a avaliação da probabilidade de ocorrência e do grau de criticidade (ABNT 5462:1994).

⁷ A vistoria ou inspeção de aspecto geral (*general inspection*) consiste em inspecionar de forma abrangente os elementos de fachadas e do interior da edificação por meio de análises visuais e registros fotográficos, de modo a permitir que se identifique anomalias e regiões críticas (ASTM, 2014).

aspectos gerais do sistema, as condições de exposição e os danos de fácil detecção, de modo a viabilizar o planejamento e a definição do tipo de abordagem para as fases seguintes.

No escopo das atividades sugeridas pela ASCE (2014) para a inspeção das condições de envoltórias de edifícios, estão a fase de levantamento preliminar e a de inspeção pormenorizada dos sistemas de fachada. Nesse sentido, procedimentos como ensaios laboratoriais e prospecções podem contribuir para a obtenção de dados para avaliação, análise e elaboração de recomendações.

A inspeção de sistemas de fachada na tipologia de edificação em altura agrega a dificuldade de acesso a todos os trechos da fachada para vistorias e inspeção, motivo pelo qual se adota câmera fotográfica digital acoplada a VANT para a captura de imagens. Além de subsidiar o mapeamento dos danos, as fotografias obtidas consistem em documentação fotográfica por registrar o estado atual do objeto de estudo.

O planejamento de voo para captura de imagens deve se dar conforme a finalidade do levantamento, o tipo de processamento e a precisão dos resultados esperados. Envolve a escolha do equipamento, a análise da implantação e do entorno, a definição de dia e horário que ofereçam condições favoráveis ao voo e ao registro fotográfico, a definição da distância da câmera até a edificação, a determinação da sobreposição das imagens, bem como da distância entre as tomadas fotográficas.

A partir das fotografias obtidas, são gerados os modelos por DSM. As ortoimagens das fachadas, produtos do processamento digital, irão subsidiar a consolidação do levantamento cadastral do edifício, especificamente o sistema de fachada estudado, e a produção dos mapas de danos.

Na sequência, as manifestações patológicas e interferências no sistema são representadas graficamente por meio de vetorização em ferramenta CAD. A identificação se baseia em conceitos e convenções gráficas pré-estabelecidas, resultantes dos marcos referenciais e normativos adotados.

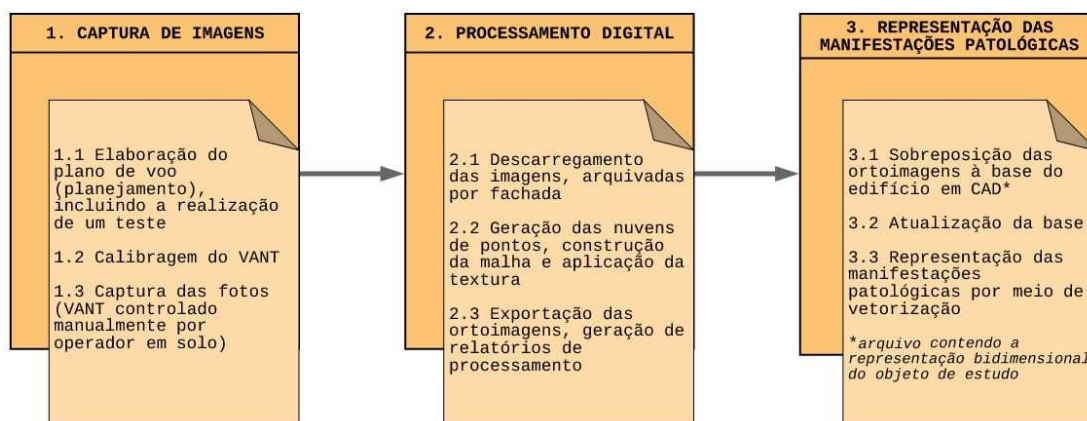


Figura 1: Fluxograma do levantamento físico.

Fonte: desenvolvido pelas autoras.

O levantamento físico por meio de VANT obedece a uma sequência de passos, segundo o fluxograma apresentado na Figura 1. Complementarmente, a fim de se obter informações detalhadas para a caracterização do sistema, são previstas prospecções in loco.



Apresentação e discussão dos resultados

Com o objetivo de testar o método proposto, foi escolhido como estudo de caso o Palácio do Congresso Nacional, especificamente o sistema de revestimento em placas de mármore branco nas empenas das torres anexas, dentro do recorte temático proposto.

Objeto de estudo

O Congresso Nacional consiste no conjunto formado pelo bloco predominantemente horizontal, o Edifício Principal, onde se apoiam as cúpulas que marcam os plenários das casas legislativas, e as lâminas verticais – as duas torres anexas, sendo a torre Sul denominada Anexo 1 da Câmara dos Deputados, e a torre Norte, Anexo 1 do Senado Federal⁸.

O mármore branco instalado nas empenas das torres é um elemento típico da expressão niemeyeriana no contexto da concepção da Brasília monumental, motivo pelo qual foi adotado como estudo de caso. As torres de 28 pavimentos em estrutura mista de aço e concreto, com orientação Noroeste e Sudeste, possuem empenas de 980 m² dotadas de sistema de revestimento em mármore.

O sistema, por sua vez, é composto por camada de acabamento em placas de mármore branco polido com dimensões de aproximadamente 40 cm x 81,5 cm. O padrão de paginação é definido pelas juntas de assentamento das placas, de aproximadamente 2,3 mm, intercaladas verticalmente e alinhadas horizontalmente. Devido à paginação intercalada, há placas com a metade da largura nas extremidades. As empenas contam, ainda, com juntas horizontais de movimentação de cerca de 21 mm. No sentido vertical, não há juntas de movimentação nem juntas estruturais.

Convencionou-se que os panos de 10,35 m x 3,25 m definidos pelas juntas de movimentação a cada pavimento configuram os trechos a serem levantados e analisados na aplicação do método, em um total de 30 trechos por empena. As dimensões de trechos e placas variam nas áreas do embasamento e de topo das torres. Há variação, também, nas bordas das fachadas com esquadrias (Sudoeste e Nordeste) de ambas as torres, onde as placas de mármore contam com cerca de 27 cm de largura.

Na sequência são apresentados os resultados obtidos para o objeto de estudo submetido aos procedimentos da etapa de levantamento físico, conforme as subetapas de captura de imagens, processamento digital e realização de prospecções.

Captura de imagens por VANT

Para a captura de imagens no âmbito do levantamento físico, é fundamental o plano de voo. Este deve considerar a implantação do edifício, sua tipologia, o tipo de sistema a ser levantado e o equipamento utilizado, tendo em vista a finalidade das informações coletadas. As condições climáticas também interferem nos procedimentos, uma vez que a câmera fotográfica deve estar ajustada para a luminosidade do ambiente, e condições como ventos fortes e precipitações podem dificultar ou mesmo impedir as atividades.

⁸ As torres foram chamadas de “edifício dos serviços anexos” em COSTA e NIEMEYER. Praça dos Três Poderes e Palácio do Congresso Nacional. In: MÓDULO, n.º 9, 1958, p.14.



Os procedimentos de levantamento fotográfico das fachadas Sudeste e Noroeste da torre Sul⁹ do Congresso Nacional foram realizados primeiramente no mês de dezembro. Nessa ocasião, adotou-se o VANT modelo DJI Phantom 3 Pro com câmera digital integrada.

Uma vez que as imagens obtidas não alcançaram a qualidade requerida para identificação dos danos no sistema, procedeu-se a novos levantamentos com outro equipamento, o DJI Phantom 4 Pro, equipado com câmera fotográfica digital original de fábrica. As especificações técnicas da câmera, aliadas à maior estabilidade no voo, resultaram em melhora significativa na qualidade das fotos. As alterações nas especificações do Phantom 3 Pro para o Phantom 4 Pro, respectivamente, foram:

- máxima resolução em pixels de 4.000 x 3.000 para 5.472 x 3.548;
- megapixels efetivos de 12,4 MP para 20 MP;
- sensor de 11,04 mm para 25,4 mm;
- ângulo de abertura de 94° para 84°;
- distância focal de 20 mm para 24 mm.

No mês de janeiro de 2019, foram retomados os procedimentos de captura de imagens ao longo de três dias. No primeiro dia, para aferir a qualidade das fotografias obtidas com o equipamento, realizou-se um teste no primeiro trecho da fachada Noroeste da torre Sul, às 15:00 no horário de verão de Brasília, com céu limpo e sem nuvens. A câmera estava configurada para a velocidade do obturador 1/800s, abertura f/6.3 e ISO 100. Tendo em vista que as imagens atenderam aos requisitos, iniciou-se no dia seguinte o levantamento, que levou dois dias para ser concluído devido à necessidade de se ajustar os parâmetros fotográficos da câmera às condições ambientais que se apresentavam.

No primeiro dia de realização da fase de captura de imagens por meio de VANT, optou-se por se iniciar os serviços às 7:40 da manhã, com início pela fachada Sudeste da torre Sul, seguida da Noroeste. O dia estava nublado, com ventos predominantes de Sudeste. As configurações da câmera foram: velocidade do obturador 1/640s, abertura f/6.3 e ISO 500. O levantamento de ambas as fachadas durou cerca de 18 minutos cada e obedeceu ao plano de voo detalhado na Figura 2. Apesar de a nebulosidade proporcionar uma iluminação homogênea, as imagens obtidas perderam nitidez em comparação às da fase de teste.

Nesse sentido, optou-se por repetir os procedimentos em outro dia mais propício. Na data agendada, as condições ambientais eram similares ao dia do teste: céu limpo e sol a pino (devido ao horário de início, 13:00 no horário de verão de Brasília), com ventos fortes de direção Sul e Sudeste. As configurações da câmera foram: velocidade do obturador 1/1000s, abertura f/7.1 e ISO 100. As tomadas de fotos levaram 19 minutos para a fachada Sudeste e 22 minutos para a Noroeste. As fortes correntes de ar dificultaram a estabilização da aeronave, porém não impediram a obtenção dos registros fotográficos.

No âmbito do planejamento, a distância entre a aeronave e o edifício foi definida em cinco metros, considerando os requisitos de segurança e a qualidade das imagens a serem obtidas. A sobreposição estabelecida para as fotografias foi de 60% lateralmente e de 80% no sentido longitudinal. A distância entre as linhas de voo garantiu a sobreposição lateral. Para se obter a sobreposição longitudinal desejada, foi necessário equilibrar a velocidade de

⁹ O levantamento se limitou à torre Sul devido a restrições impostas pelo órgão responsável pela torre Norte, uma vez que estavam em andamento serviços de intervenção nas fachadas com uso de balancim, no escopo do Edital 036/2017 (BRASIL. SENADO FEDERAL, 2017).



voe e a frequência de disparo da câmera, realizado manualmente mediante controle remoto e verificação visual por meio de tela auxiliar.

Desse modo, a captura de imagens foi realizada em três linhas de voo com distância de 3,60 m entre elas, sendo a primeira tomada feita com o VANT subindo, a segunda descendo e a terceira subindo novamente. Em cada linha de voo, eram realizadas capturas em dois pontos por trecho, sendo um alinhado com a junta de movimentação e outro na metade da altura do trecho, ou seja, no ponto equidistante entre duas juntas (Figura 2a).

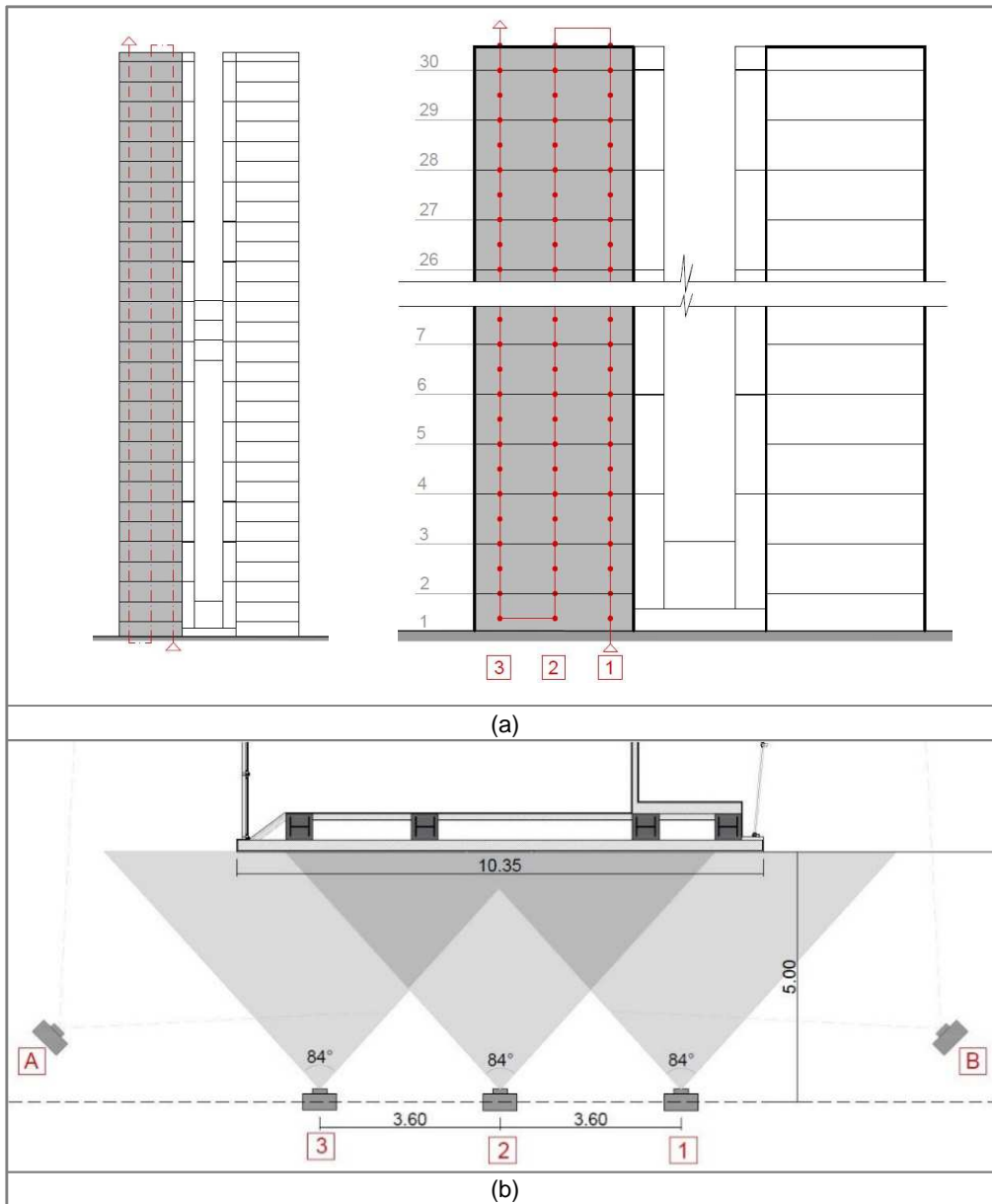


Figura 2: Plano de voo: a) linhas de voo para a Fachada Sudeste da torre Sul; b) planta com as distâncias estabelecidas para as tomadas fotográficas.

Fonte: desenvolvida pelas autoras.

A distância (B) de 3,60 m entre as linhas de voo foi obtida em função do ângulo de abertura da câmera, do percentual de sobreposição definido e da distância da câmera com relação à fachada, segundo a Equação (2).



$$B = 2 \tan \frac{84^\circ}{2} 5 \cdot \left(1 - \frac{60\%}{100}\right) \quad (2)$$

Além das linhas de voo perpendiculares à fachada, foram feitas tomadas fotográficas das bordas, uma vez que esses trechos também integram o sistema de fachada estudado e podem contribuir para o entendimento do seu comportamento e dos processos de degradação.

Optou-se por registrar as bordas a um ângulo de 45°, uma vez que a captura de modo perpendicular ao plano da fachada não seria possível devido às restrições oferecidas ao acesso do VANT no espaço aéreo entre as duas torres, tais como possíveis falhas no sistema de satélite e o forte corredor de vento, que poderia desestabilizar a aeronave. Esses pontos de tomada fotográfica são representados na Figura 2b como “A” e “B”. A Figura 2b apresenta, ainda, as distâncias estabelecidas em planta para o VANT, com relação à fachada e entre as tomadas fotográficas.

Durante a realização do levantamento, notou-se uma dificuldade em se manter a distância da câmera com relação à fachada. Apesar dos parâmetros definidos no planejamento, houve uma variação – comum em inspeções em edifícios altos com uso de VANT em voo manual (não automatizado) em decorrência das correntes de ar e da falta de pontos de referência para o piloto nos pavimentos mais altos.

Como medida para tentar reduzir essas variações, as tomadas fotográficas foram realizadas por equipe composta por piloto e observador munido de tela auxiliar para verificação visual da posição da foto.

Outro desafio imposto à obtenção de imagens com nitidez e resolução adequadas foi a configuração dos parâmetros fotográficos da câmera diante das características inerentes das placas de mármore: sua cor branca e a superfície altamente reflexiva. Essa dificuldade motivou a realização do teste de voo e a repetição de tomadas fotográficas.

As fotografias foram armazenadas na extensão JPEG e DNG, sendo adotadas no processamento as imagens comprimidas (.jpg).

Processamento por nuvem de pontos (DSM)

Após a obtenção das fotografias, estas foram descarregadas e arquivadas por fachada no computador. Na sequência, deu-se início à fase de processamento das imagens por nuvem de pontos, por meio do *software* PhotoScan Professional versão 1.4.2 da Agisoft. As etapas para a geração das ortoimagens foram:

- i) alinhamento das imagens;
- ii) reconstrução da nuvem de pontos esparsa;
- iii) construção da nuvem de pontos densa;
- iv) construção da malha; e
- v) aplicação da textura.

Os relatórios produzidos para cada fachada evidenciaram a variação da distância do drone com relação ao plano fotografado: a distância média foi de 6,85 m para a fachada Sudeste e de 7,03 m para a Noroeste. Também consta nos relatórios que o TP (Tamanho de Pixel) obtido foi de 1,73 mm/pixel para a fachada Sudeste e 1,81 mm/pixel para a Noroeste.



A análise do TP permite concluir que as imagens obtidas não apresentaram o nível de detalhe ideal para a identificação de fissuras de abertura igual ou inferior a 0,5 mm, ou mesmo de trincas entre 0,5 mm e 1 mm. Os fatores que influenciaram esses resultados foram a restrição de aproximação do VANT com relação à fachada (por motivos de segurança, como já foi explicitado) e as configurações da câmera digital adotada.

Apesar de fotografar em 20 MP, a câmera original de fábrica possui sensor que gera imagens de menor resolução quando comparada a outras câmeras digitais. A adaptação do VANT com outras câmeras, todavia, interferiria no peso do conjunto, afetando a sua estabilização durante o voo e as tomadas fotográficas.

As ortoimagens exportadas no formato TIFF foram, então, inseridas na plataforma CAD (*Computer Aided Design*), software Autocad versão 2017 da Autodesk, de modo a permitir a atualização e complementação do levantamento cadastral do edifício¹⁰, bem como a identificação e o registro gráfico, por meio de vetores, das manifestações patológicas no sistema de revestimento em mármore.

Prospecções

A fim de se obter informações complementares para a caracterização técnica do sistema de fachada, foram realizadas prospecções em pontos externos e interno da parede da edificação, devido à configuração do sistema de vedação com parede dupla.

As prospecções evidenciaram que o sistema de revestimento em mármore é composto por camada de acabamento em placas de mármore branco polido de 30 mm de espessura assentada sobre substrato de argamassa, chapisco e alvenaria de tijolos cerâmicos.

Constatou-se a presença de placas de mármore com 20 mm de espessura, bem como de arames de fixação de aço galvanizado de 1/8 no tardo das placas em um ponto de sondagem na região do embasamento da torre Norte. Ensaios petrográficos realizados em amostras de mármore da fachada Sudeste desta torre sugerem se tratar de intervenções posteriores à construção do palácio, e entrevistas realizadas às equipes responsáveis pela conservação do edifício corroboram essa hipótese.

A prospecção interna na torre Sul, empena Noroeste, 23º trecho, confirmou a existência de parede dupla na conformação das empenas, de acordo com o projeto original¹¹. A parede externa, que compõe a base do sistema de revestimento de fachada, é composta por tijolos cerâmicos de 6 furos e dimensões de 14 cm x 19 cm x 9 cm de cor marrom clara, o que provavelmente indica um tijolo de alta queima e maior resistência. Seu assentamento do tipo alvenaria de uma vez é muito usual em sistemas de vedação vertical externa por conferir maior resistência e estanqueidade à fachada (Figura 3).

A alvenaria interna, por seu turno, possui tijolos cerâmicos de cor vermelho barro de 8 furos de 19 cm x 19 cm x 9 cm, assentamento do tipo meia vez. Também é possível observar na Figura 3 o pilar de concreto disposto entre a parede dupla.

¹⁰ O Departamento Técnico da Câmara dos Deputados forneceu arquivo CAD contendo o levantamento cadastral do edifício, ao qual foram incorporadas informações obtidas por meio de medições realizadas com trena e paquímetro a trechos acessíveis, além de dados extraídos de documentos e plantas históricas.

¹¹ Dossiê nº 0006 de 1959 do Acervo de Plantas Técnicas da Câmara dos Deputados.

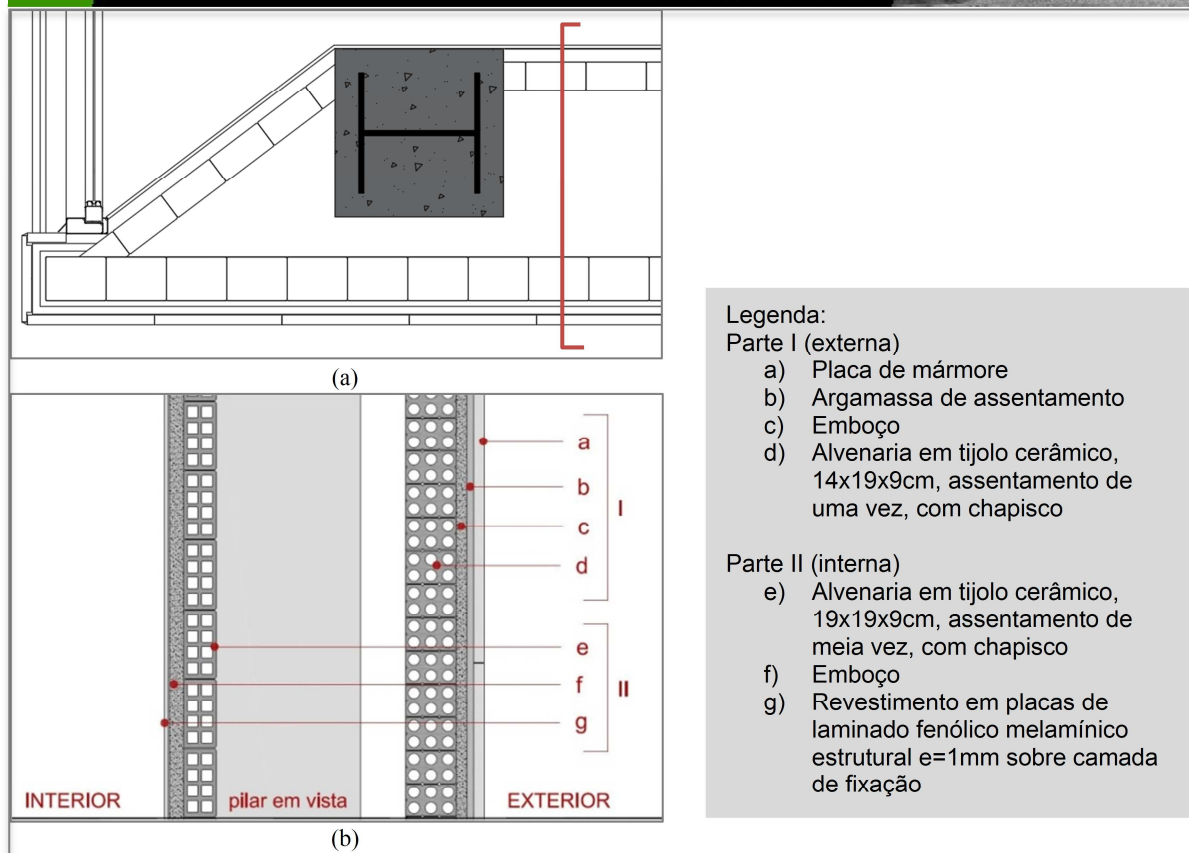


Figura 3: Detalhe do sistema de revestimento em mármore: a) planta; b) seção vertical.

Fonte: desenvolvida pelas autoras.

O revestimento interno em laminado fenólico melamínico na cor bege foi instalado na década de 80, quando a torre Sul foi submetida a uma série de intervenções voltadas ao atendimento das normativas de segurança contra incêndio (SILVA, 2012). A reforma incluiu a substituição de divisórias e de revestimentos internos, a recuperação das esquadrias externas, a instalação de heliponto na cobertura, a revisão das instalações elétricas, hidráulicas, de telefonia, de sonorização, de ar condicionado e a instalação de *sprinklers*¹².

Possivelmente, a parede interna foi refeita nessa ocasião, uma vez que passam tubos de queda no vão entre as duas vedações, além de haver controles do sistema de sonorização e do ar-condicionado embutidos nela.

As informações coletadas possibilitaram a caracterização dos componentes, ou seja, as cinco camadas do sistema, bem como a identificação dos requisitos de função e desempenho por elas assegurados:

1. camada de acabamento externo composta por placas de mármore branco itálva, espessura 30 mm, acabamento polido, cuja função consiste em acabamento e proteção da parede, além de conferir ao sistema estanqueidade à água;

¹² Informações obtidas em entrevista a Maurício Matta, ex-diretor do Departamento técnico da Câmara dos Deputados, em junho de 2017, e validadas por meio de consulta aos dossiês do Acervo de Plantas Técnicas da Câmara dos Deputados (nº 0311, 0367, 0021, 0358, 0343, 0701, 0702, 0703, 0704, 0316, 0319 – datados de 1984 a 1988).



2. camada de fixação em argamassa de assentamento, espessura 18 mm, composta por cimento e areia, com o objetivo de conferir aderência entre o substrato e a placa de revestimento de mármore;
3. camada de emboço que consiste no substrato, de espessura de 30 mm composto por argamassa de cimento, cal e areia, com a função de regularização da base;
4. chapisco ou camada de preparo da base, composta de argamassa de cimento e areia, espessura 3 a 5 mm. Sua função consiste em promover aderência entre o emboço e a base;
5. base¹³ composta por alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos, 14 x 19 x 9 cm. Assentamento do tipo alvenaria de uma vez, atua como elemento de vedação, responsável por estabelecer a separação entre ambiente externo e ambiente interno.

Conclusões

Neste artigo foi apresentada a etapa de levantamento físico que alia a captura de imagens por VANT à fotogrametria digital, no escopo do método de análise do estado de conservação de sistemas de revestimento em mármore nas fachadas de edifícios altos modernistas.

Os procedimentos propostos foram aplicados ao estudo de caso escolhido, as fachadas Noroeste e Sudeste da torre Sul do Congresso Nacional de Brasília. A adoção de VANT na inspeção do sistema de revestimento em mármore do palácio possibilitou o registro fotográfico de trechos com difícil acesso como os pavimentos mais altos. Além disso, viabilizou a obtenção de fotografias perpendicularmente ao plano da fachada, o que resultou em imagens passíveis de processamento por nuvem de pontos, com geração de ortoimagens voltadas à identificação e registros de danos no sistema.

O estudo de caso demonstrou que o VANT consiste em importante ferramenta auxiliar na inspeção/monitoramento e na análise do estado de conservação de sistemas de fachada de edifícios altos. Há ainda desafios a serem vencidos, tais como a obtenção de imagens com a qualidade necessária à identificação de danos como fissuras, além de um maior controle e estabilização do equipamento, visando garantir o alcance dos parâmetros planejados. Nesse sentido, uma medida recomendada é a adoção de sensores de distância acoplados ao equipamento.

Os procedimentos de captura de imagens, processamento digital por DSM e vetorização das informações contidas nas ortoimagens possibilitou o registro dos aspectos técnicos, construtivos e do estado de conservação do sistema. Em caráter mais detalhado, as sondagens realizadas mediante as prospecções permitiram a identificação das camadas componentes do sistema, bem como a verificação de informações oriundas de plantas e documentos históricos.

De posse das informações que identificam e caracterizam o sistema estudado, é possível dar seguimento à aplicação do método, mediante a aplicação das etapas de análise do estado de conservação e de elaboração dos cenários de conservação. Busca-se, assim, contribuir com o planejamento de ações no escopo da conservação e da manutenção

¹³ Uma vez que o sistema de vedação vertical existente consiste em parede dupla, optou-se por analisar como base do sistema de revestimento apenas a parede externa. Além disso, no objeto de estudo, a viga de bordo de pavimento em concreto armado atua como base do sistema de revestimento nos trechos de interface com o sistema de vedação.



preventiva para o sistema de revestimento em mármore das fachadas do Congresso Nacional, com a possibilidade de transposição dos procedimentos a outros exemplares arquitetônicos com os quais guarda similaridades.

Referências

- AIRES-BARROS, L. **Alteração e alterabilidade de rochas**. Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 1991. 384 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM E2270 – Standard Practice for Periodic Inspection of Building. Facades for Unsafe Conditions**. Estados Unidos. 2014. 6 p.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **ASCE standard ASCE/SEI 30-14 – Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope**. Virginia: [s.n.], 2014. 36 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462 – Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1994.
- BRASIL. SENADO FEDERAL. **Edital do Pregão Eletrônico 036/2017 – Contratação de empresa especializada para a prestação de serviços de manutenção de revestimentos de mármore nas fachadas do edifício Principal e do Anexo 1 do SENADO**. 2017. 182 p.
- BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS EN 60812 – Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)**. London, 2006. 50 p.
- CÓIAS, V. **Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios**. 2. ed. Lisboa: IST PRESS, 2009. 437p.
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE – CENTRALE PER IL RESTAURO (CNR-ICR). **NORMAL 1/88: Alterazione Macroscopiche dei Materiali Lapidei: Lessico**, Roma, 1990.
- CÓRDOBA, P. A. F. **Levantamento Fotogramétrico de Monumentos Arquitetônicos. Estudo de Caso Palácio Itamaraty – Brasília, DF**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil), Publicação E.DM-016A/12. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília, 2012, 156 p.
- COSTA, L. G. G.; AMORIM, A. L. Geração de ortofotos para produção de mapas de danos. In: SIGRADI 2009 - CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 13, 2009, São Paulo. SIGRADI – **Anais...** São Paulo: Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital, 2009. v. 1. p. 62-64.
- COSTA, L.; NIEMEYER, O. Praça dos Três Poderes e Palácio do Congresso Nacional. In: **Módulo**. Rio de Janeiro, v.2, nº 9. p. 14-21, fev. 1958.
- ENTE NAZIONALE ITALIANO DI UNIFICAZIONE. **UNI 11182: Materiali lapidei naturali ed artificiali – Descrizione della forma di alterazione – Termini e definizioni**, Milano: UNI, 2006.
- FICHER, S. Edifícios altos no Brasil. In: **Boletim do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília**, nº 52, p. 30-52, nov. 1991.
- FRASCÁ, M. H. B. O. Rochas para Revestimentos de Edificações: Variedades, Seleção, Usos e Durabilidade – Curso. In: **Anais do IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, CETEM/SBG, 350p. p 332-341. Rio de Janeiro RJ, 2003.
- GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de nuvens de pontos: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. Tese (Doutorado). Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura. Salvador, 2015, 372p.
- HAAS, Y. C. **Tecnologia de Conservação de Pedras: Uma Sistematização dos Procedimentos para Conservação dos Elementos de Fachada**. Rio de Janeiro, UFRJ. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

13º Seminário

do_co,mo,mo_
brasil

Salvador – BA
7 a 10 de outubro de 2019



HAM, Y.; HAN, K. K.; LIN, J. L.; GOLPARVAR-FARD, M. Visual monitoring of civil infrastructure systems via câmera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): a review related to works. **Visualization in Engineering**, v. 4 (1), jan. 2016. Disponível em:

<<https://viejournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40327-015-0029-z>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. ICAO. **Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)**. Doc. 10019 NA/507. 1 Ed. 2015.

INSTITUTO DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO NACIONAL. IPHAN. **Anexo 4 – Normativa de mapeamento de danos de materiais lapídeos**. PROCESSO nº 01500.000925/2012-24. Não publicado. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

INTERNATIONAL COUNCIL ON MONUMENTS AND SITES – INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE FOR STONE. ICOMOS-ISCS. **Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns**. Paris, 2010. 80 p.

KIM, H.; LEE, J.; AHN, E.; CHO, S.; SHIN, M.; SIM, S. Concrete Crack Identification Using a UAV Incorporating Hybrid Image Processing. **Sensors**, v. 17 (9), set. 2017. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/17/9/2052>>. Acesso em: 28 abr. 2019.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das Construções**. Boletim Técnico 06/86. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1986.

MACDONALD, S. **Modern matters: principles and practice of conserving recent architecture**. Shaftesbury: Donhead, 1996. 184 p.

MELO JÚNIOR, C. M. **Metodologia para geração de Mapas de Danos de Fachadas a partir de Fotografias obtidas por Veículo Aéreo não Tripulado e Processamento Digital de Imagens**. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Brasília: Universidade de Brasília, 2016. 372 p.

OLIVEIRA, M. M. **Tecnologia da Conservação e da Restauração**. 4. ed. Salvador: EDUFBA, 2011.

_____. Sobre pedra, arquitetura e restauro. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 24, n. 2, p. 21-29, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11643>>. Acesso em: 18 out. 2018.

SILVA, E. G. **Os palácios originais de Brasília**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília: Universidade de Brasília, 2012. 597 p.

TINOCO, J. E. L. **Mapa de danos: recomendações básicas**. Textos Para Discussão: Série 2 - Gestão de restauro, Olinda: Centro de Estudos de Conservação Integrada - CECI, v.43, 2009, p.1-21.

TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v.10, p.e019009, fev. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652817>>. Acesso em: 12 abr. 2019.