



Industrialização, Digitalização,
Desempenho

5º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação
e Comunicação na Construção e 5º Workshop de
Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos

FLORIANÓPOLIS-SC | 20 a 22 de agosto

1ª FOTOGRAMETRIA DIGITAL NO PROCESSO DE INVESTIGAÇÃO TÉCNICA DE MAPEAMENTO DE DANOS

Using Digital Photogrammetry in the technical investigation process of damage mapping

Gustavo Vanini

Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | gustavo.vanini@usp.br

Tallis Rubens

Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | tallis@usp.br

Fabiana Lopes de Oliveira

Universidade de São Paulo | São Paulo, SP | floliveira@usp.br

RESUMO

Com o avanço contínuo da tecnologia, novos métodos e técnicas se propõem a fornecer maior abrangência e qualidade dos processos de documentação e levantamento do patrimônio edificado. Destaca-se, por exemplo, ferramentas como a Fotogrametria Digital, capaz de dar base a um corpus documental mais preciso que, além de contribuir para o registro histórico, pode ser capaz de guiar a tomada de decisões no âmbito de sua preservação e recuperação. Desse modo, por meio do estudo de caso da fachada do casarão que sedia o Museu Republicano "Convenção de Itu" – um importante exemplar da arquitetura colonial paulista – este trabalho analisa a concepção do Mapa de Danos da azulejaria da fachada com o auxílio da Fotogrametria Digital, pontuando as especificidades do uso dessa técnica e compreendendo como o ferramental tecnológico contribui para o campo da tecnologia da arquitetura e da preservação do patrimônio histórico edificado. O mapeamento do revestimento cerâmico deu origem a quatro Fichas de Identificação de Danos que incluem as manifestações patológicas presentes na azulejaria, a saber: perda/desgaste da parte superficial do azulejo (vidrado) pelas arestas ou por descasque; perda/desgaste de vidrado e chacota; fissuras/rupturas do corpo cerâmico do azulejo; e alterações cromáticas e/ou de textura.

Palavras-chave: fotogrametria digital, documentação, azulejaria, patrimônio edificado, tecnologias digitais.

ABSTRACT

With the continuous advancement of technology, new methods and techniques are proposed to provide greater scope and quality in the processes of documentation and surveying of built heritage. Notably, tools such as Digital Photogrammetry emerge, capable of providing a more precise documentary corpus which, in addition to contributing to historical records, may also guide decision-making in the realm of preservation and restoration. Thus, through a case study of the façade of the mansion housing the Republican Museum "Convenção de Itu" – an important example of colonial architecture in São Paulo – this work analyzes the conception of the Damage Map with the aid of Digital Photogrammetry, highlighting the specificities of this technique and understanding how technological tools contribute to the field of architectural technology and the preservation of built heritage.

Keywords: Digital photogrammetry, Documentation, Architectural surveying, Built heritage, Digital Technologies.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo de sua existência, a humanidade tem acumulado um conjunto de experiências e práticas, não somente traduzidas no espaço edificado, que, de certa forma, constituem sua narrativa histórica e de seus povos, o seu patrimônio cultural. Considerando-o como fonte primária de conhecimento e enriquecimento individual e coletivo (Horta *et al.*, 1999), a preservação e conservação patrimonial pressupõe a manutenção de uma série de conhecimentos e materialidades que possibilitam a compreensão da história e identidade humanas pelas demais gerações. Indo além, no caso do patrimônio edificado, deve-se considerar sua potencialidade no registro histórico da arquitetura e das técnicas construtivas desenvolvidas pelo homem, além da contribuição para reduzir o impacto ambiental causado pela produção de novos edifícios (CREA-SP, 2008).

Tratando-se especificamente da leitura material de um bem edificado, pode-se observar um crescente uso de ferramentas digitais na obtenção de dados iniciais para documentação e análise. A aplicação dessas técnicas para levantamento espacial e análise situacional tem contribuído não somente para conservação e salvaguarda dos bens, como também otimiza etapas de levantamento e análise, superando as limitações de

¹VANINI, GUSTAVO; RUBENS, TALLIS; OLIVEIRA, FABIANA, A fotogrametria digital no processo de investigação técnica de mapeamento de danos. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2025, Florianópolis. *Anais [...]*. Porto Alegre: ANTAC, 2025.

técnicas tradicionais, como a medição direta. Diversas vantagens podem ser evidenciadas para essas tecnologias, como a maior precisão na coleta de dados; a flexibilidade na geração dos produtos; a facilidade de atualização, do armazenamento e da divulgação das informações. Como define Nogueira (2010), o processo inicial de documentação arquitetônica compreende:

[...] extrair do objeto seus aspectos físicos (geométricos, estado de conservação, materiais construtivos, etc.), topológicos (relação com o entorno) e imateriais. Nesta fase, as técnicas comumente utilizadas são a de medição direta (métrica), fotografia, GPS, fotogrametria terrestre digital e 3D *laser scanning*. (Nogueira, 2010).

Entre os métodos que utilizam ferramentas digitais, a Fotogrametria Digital é uma das técnicas mais comuns, por razões como sua maior viabilidade técnica e de custos. As tomadas fotográficas possibilitam a extração da geometria dos objetos ou edifícios por meio de softwares específicos que produzem a restituição fotogramétrica que podem gerar fotos retificadas, ortofotos, desenhos e modelos geométricos (texturizados ou não), dependendo da técnica empregada e da necessidade de cada levantamento.

Além do levantamento arquitetônico, a maior exatidão obtida pelas técnicas e métodos que utilizam ferramentas digitais pode contribuir de forma significativa para um processo elementar na compreensão do nível de conservação e deterioração de um bem, que é o mapeamento de danos. O resultado da aplicação desse método é o mapa de danos, definido por Tinoco (2009) como um documento de representação gráfica-fotográfica responsável por identificar e mapear as manifestações patológicas de um bem edificado, de forma detalhada e minuciosa. Deste modo, o mapa de danos se apresenta como uma síntese das investigações realizadas acerca de um edifício, que além dos levantamentos diretos, pode se beneficiar dos métodos digitais anteriormente citados.

Para tanto, o percurso a ser descrito e analisado contempla o estudo de caso da fachada principal do edifício que abriga o Museu Republicano "Convenção de Itu" (MRCI), com ênfase no seu revestimento cerâmico (azulejaria). O edifício é parte integrante do Museu Paulista (MP) da Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade do interior paulista com importância significativa para a economia regional desde o período colonial e que viria a sediar em 1873 a convenção originária do Partido Republicano Paulista, em 1873 (Zequini, 2003).

1.1 O MUSEU REPUBLICANO “CONVENÇÃO DE ITU” E SUA AZULEJARIA

A sede do Museu Republicano (Figura 1) tem sua origem datada entre o final do século XVIII e início do século XIX, como apontam as próprias descobertas realizadas durante a investigação documental empreendida nas etapas iniciais de investigação.

Durante seus quase dois séculos e meio de existência, o sobrado, erguido em taipa de pilão, passou por diversas mudanças, especialmente em sua fachada principal. Originalmente, essa fachada apresentava sete portas no térreo e sete janelas no andar superior. Hoje, exhibe sete portas com pequenas varandas na parte de cima e sete janelas com uma porta principal no térreo. Ademais, o andar superior da fachada é adornado com azulejos de padrão 'tipo português'², assentados por volta de 1867, conforme indicado na platibanda, possivelmente marcando o término de uma grande reforma realizada por um de seus proprietários, como aponta Zequini (2003).

² Conforme definido por Barbuy et al. (2012), os 'azulejos de padrão' são azulejos decorativos que, quando assentados em conjunto, formam um padrão. Na fachada do MRCI, observa-se um motivo geométrico principal autônomo, bem como um motivo vegetal nos cantos, os quais se completam somente pela junção de quatro azulejos. Além desses azulejos, a fachada é adornada por azulejos de cercadura escuros, que circundam o padrão principal, imitando mármore, e por azulejos de friso, que remetem a motivos da Antiguidade.

Figura 1: Fachada principal do MRCI atualmente



Fonte: Acervo MRCI/APMP/USP.

Posteriormente, na década de 1970, o Museu passa por um grande processo de restauro, onde não são especificadas intervenções na azulejaria da fachada. Entretanto, entre 2007 e 2012, o edifício passa por novas reformas, onde se destaca o restauro dos azulejos (Figura 2).

Figura 2: Fotografias da fachada durante o restauro de seus azulejos (à direita) e foto de detalhe dos azulejos sendo restaurados (à esquerda).



Fonte: Estúdio Sarasá e Acervo MRCI/APMP/USP.

1.2 A FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Considerando o processo de levantamento e documentação do patrimônio, é evidente que a qualidade nos procedimentos de preservação está demasiadamente ligada à qualidade do conjunto de informações e dados que compõem o conjunto documental pertinente a um bem, assim como a acurácia das atividades práticas de levantamento. Ou seja, ante ao processo investigativo faz-se necessário um devido planejamento para essas atividades e a acurada compreensão das técnicas e métodos a serem realizados.

Ao unir fundamentos de geometria da projeção central, perspectiva e a fotografia; a Fotogrametria acompanhou a evolução tecnológica transformando-se na Fotogrametria Digital, um procedimento que se utiliza de aparatos digitais, possuindo custo mais baixo, maior acessibilidade e princípios mais bem consolidados.

O princípio básico da Fotogrametria Digital consiste no registro iconográfico de um objeto por meio da

aplicação de cálculos de intersecção gráfica sobre tomadas fotográficas, atualmente com auxílio de *softwares* especializados. Como expõe Nogueira (2010):

Este processo, a restituição a partir de múltiplas fotografias do objeto, é fundamentado no Desenho Projetivo e na Perspectiva Exata, onde são determinadas as posições no espaço dos pontos de interesse, a partir da intersecção dos raios luminosos que passam através do centro óptico (centro perspectivo) e nos pontos homólogos existentes nas várias fotografias. (Nogueira, 2010, p. 132)

Esse procedimento de restituição com o uso de diversas fotografias do objeto proporciona produtos geometricamente ajustados em suas perspectivas com medidas mais fiéis possíveis ao estado do objeto no momento de seu registro, sendo capaz de produzir um documento autêntico de sua representação, seja em representação de desenhos em duas dimensões ou modelos geométricos foto realísticos.

De forma sucinta, as etapas da Fotogrametria Digital consistem na tomada fotográfica em campo, levantamento direto de algumas medidas, orientação de parâmetros internos da câmera fotográfica, orientação externa do bem edificado por meio de pontos homólogos que serão processados pelas fotografias registradas, constituição dos produtos e a exportação desses resultados.

Atualmente, o avanço tecnológico permitiu o surgimento da Fotogrametria Digital, que utiliza computadores, câmeras, *scanners* e *softwares* como ferramentas para captura, processamento, tratamento e armazenamento dos dados. Mais recentemente, a aplicação de veículos aéreos não tripulados (VANT ou UAV - *Unmanned Aerial Vehicle*), os drones, aprimorou o método ao permitir maior alcance de registro, segurança nos levantamentos e possibilidade de registro fotográfico de maiores alturas e áreas de difícil acesso (Canuto, et al., 2017; Innocencio, et al., 2021).

O processo da Fotogrametria Digital atrelado ao processamento de nuvem de pontos pode ser dividido nas etapas de planejamento do levantamento, tomada fotográfica/aquisição de dados, análise e processamento dos dados obtidos e concepção de produtos e exportação.

A utilização do método fotogramétrico acaba sendo indicada para levantamentos mais rápidos e de baixo custo, de elementos externos de edificações e de detalhes arquitetônicos que apresentam texturas não uniformes, podendo apresentar grande valia na elaboração do mapeamento de danos, como indicado a seguir.

1.3 MAPEAMENTO DE DANOS

O mapa de danos, principal produto do mapeamento, pode ser definido como a representação gráfica e rigorosa do estado de conservação de uma edificação, ou sua parte, desenvolvido por meio da compreensão, investigação e análise dos levantamentos e dados obtidos com os métodos e técnicas anteriormente citados.

Como bem definido por Tinoco (2009), o mapeamento de danos delimita as manifestações patológicas identificadas em uma edificação, ou pormenores, a modo de sintetizar o resultado das investigações nos sistemas e componentes construtivos da edificação. O documento possibilita a aplicação de medidas de correção e prevenção (profilaxia) e orienta na tomada de decisões das intervenções a serem realizadas. Dessa forma, é possível garantir tanto que as manifestações sejam mais precisamente identificadas e corrigidas e que suas causas sejam sanadas, possibilitando um processo de conservação correto, eficaz e sustentável.

Para isso, os dados obtidos darão origem à documentação que modela o mapa de danos: as Fichas de Identificação de Danos (FID). Esses documentos registram as informações gráficas, fotográficas e textuais para trecho do mapa com grupo de danos correlatos identificados. Ou seja, as FIDs evidenciam o que está representado graficamente nos mapas de danos e devem possibilitar um rápido manuseio e compreensão das informações geradas (Tinoco, 2019).

No âmbito das tecnologias digitais, pode-se constatar muitas contribuições para os processos de documentação e formação de acervo histórico do bem edificado. Por meio das metodologias e técnicas disponíveis, podem-se somar resultados qualitativos e quantitativos às atividades de levantamento físico e investigação do estado de conservação de um edifício, fazendo com que os produtos obtidos sejam realizados de forma ainda mais precisa, como foi possível observar com a aplicação da Fotogrametria Digital na fachada do Museu Republicano.

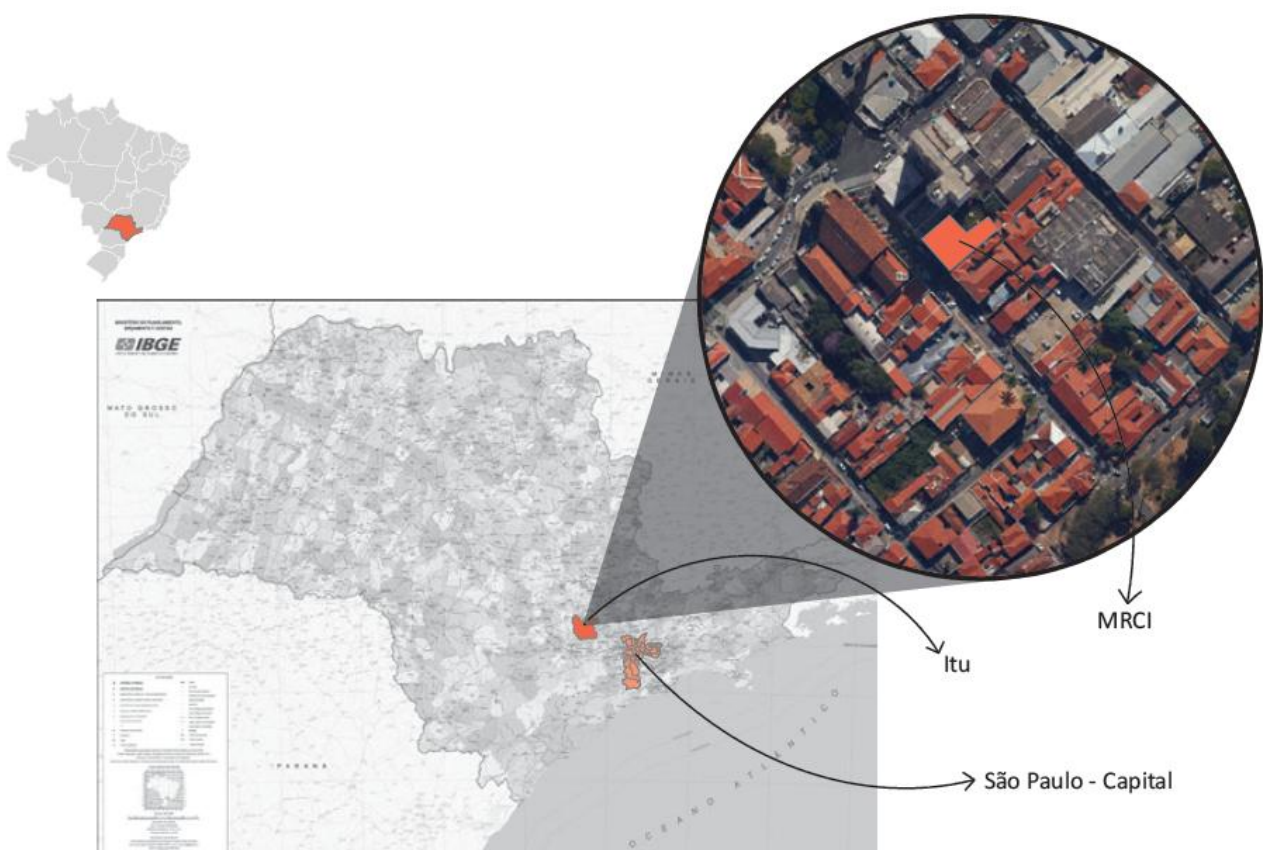
A investigação da fachada principal do MRCI com apoio da Fotogrametria Digital viabilizou seu registro integral, proporcionando concepção de uma ortofoto retificada que deu origem a desenhos de elevação mais precisos; possibilitou o desenvolvimento de uma reconstituição histórica da fachada em conjunto com os dados históricos abordados; e deu base a um excepcional mapeamento gráfico de suas manifestações patológicas, tendo como produto um mapa de danos preciso e avançado.

2 METODOLOGIA

Para as etapas relacionadas ao levantamento fotogramétrico se desenvolvesse de forma ideal, foi necessário a elaboração de um plano de execução que considerasse diversos fatores que atuam direta ou indiretamente na atividade prática. Primeiramente, foi compreendida a implementação do edifício tomando por orientação sua fachada principal, bem como suas dimensões aproximadas em altura e comprimento; o espaço da via e passeio público; e possíveis barreiras físicas na via e na própria fachada, compondo croquis de base para elaboração do plano.

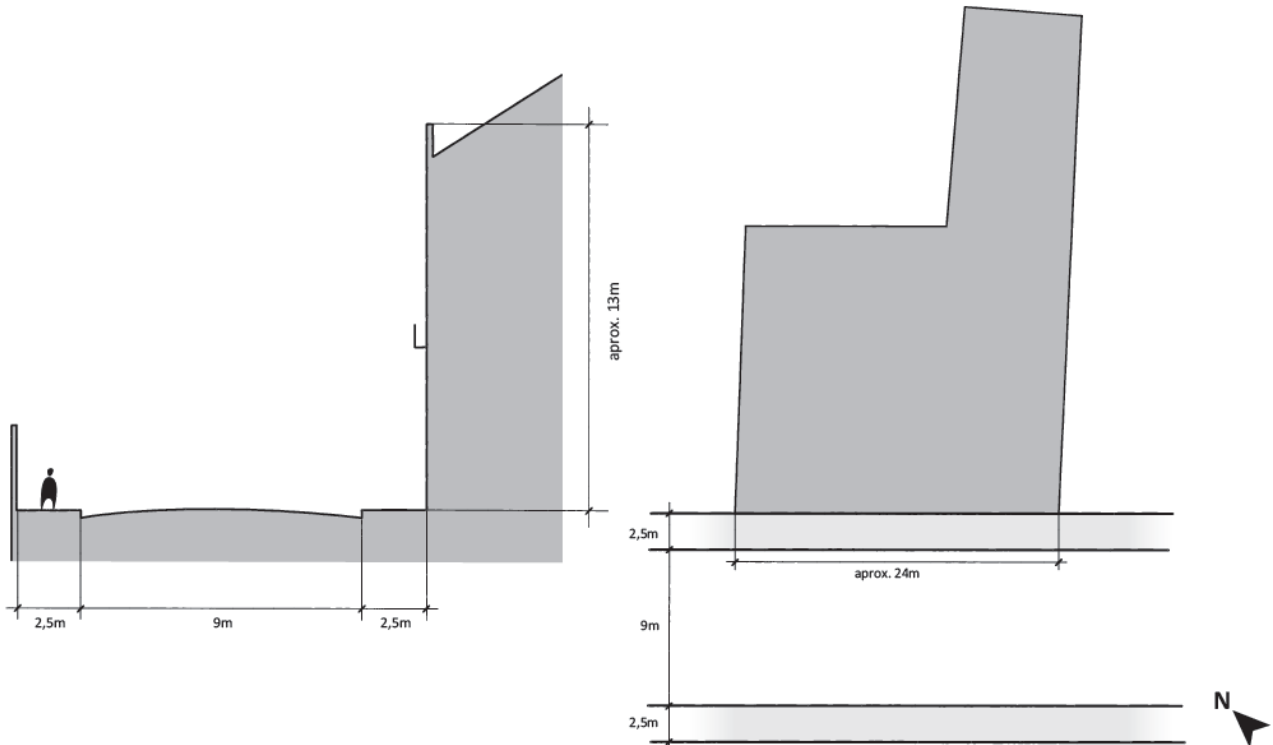
Figura 3: Localização, orientação geográfica e implantação do edifício do MRCI.

Fonte: Elaborado pelo autor com imagens do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e ItuGEO



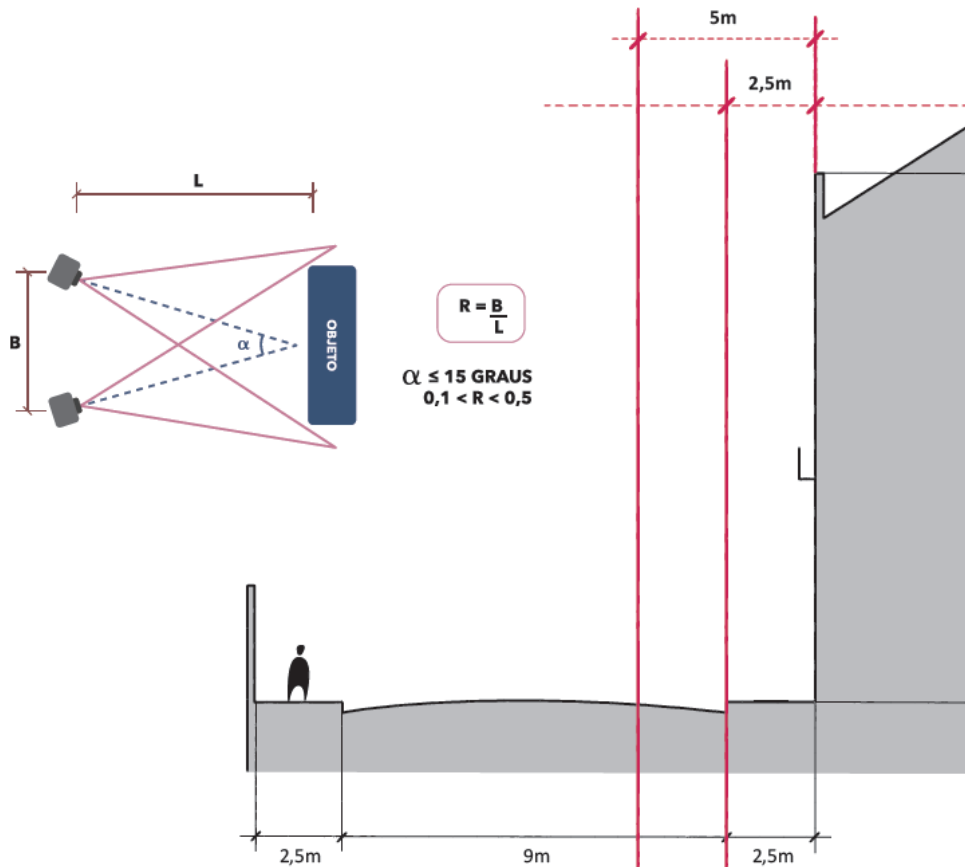
Por meio desses desenhos, foram considerados as distâncias ideais para a realização das tomadas fotográficas com o drone, tendo em conta a viabilidade de utilização da via e a necessidade de aproximação com a fachada para que as imagens obtidas apresentassem alta qualidade de sua resolução, atendendo aos requisitos necessários. Desse modo, utilizando o modelo apresentado por Groetelaars (2015), esquematizado na Figura 4, foram delimitadas as distâncias de 2,5 e 5 metros da fachada, para cálculo das medidas de distanciamento entre os pontos de tomada fotográfica e a quantidade de pontos totais a ser utilizada (Figuras 5 e 6).

Figura 4: Croquis de corte e vista superior da Rua Barão de Itaim com a implementação do edifício do MRCI, elaborados com base nas medidas aproximadas dos desenhos técnicos da SEF.



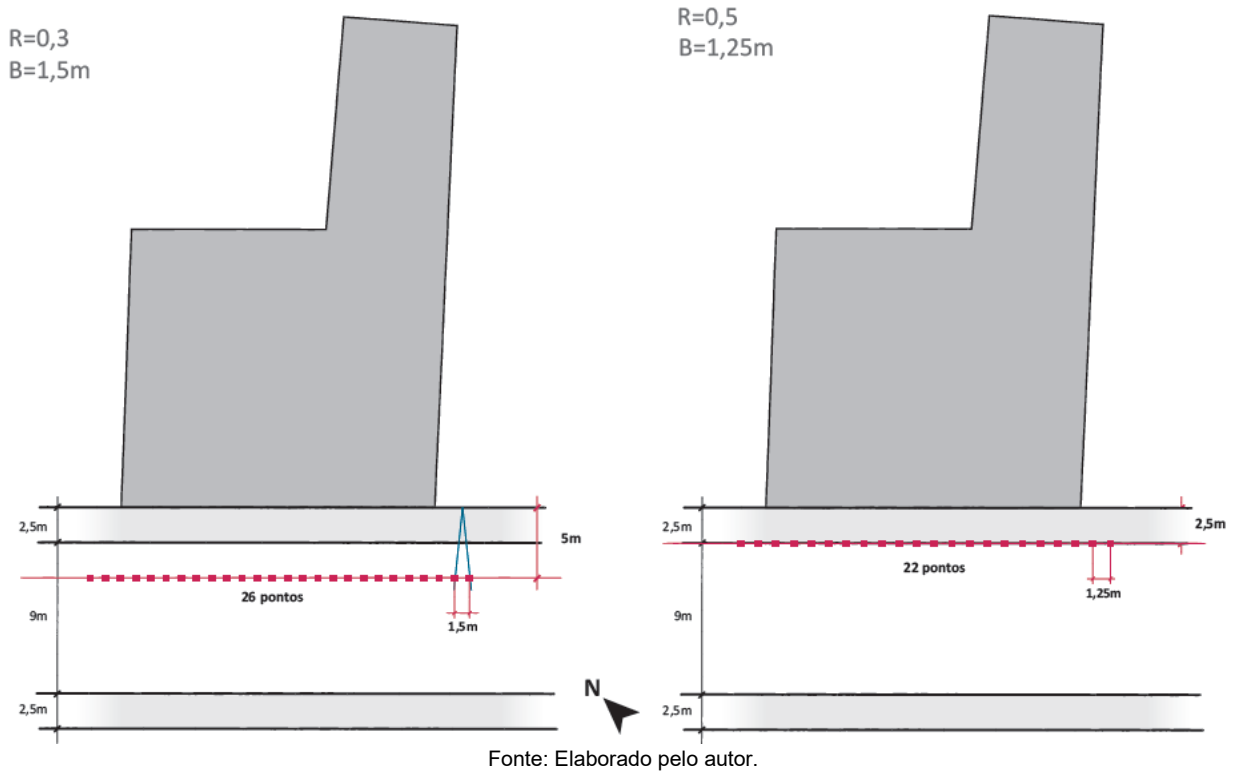
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5: Modelo de cálculo de distâncias e croquis com medidas pré-estabelecidas e calculadas (vista lateral).



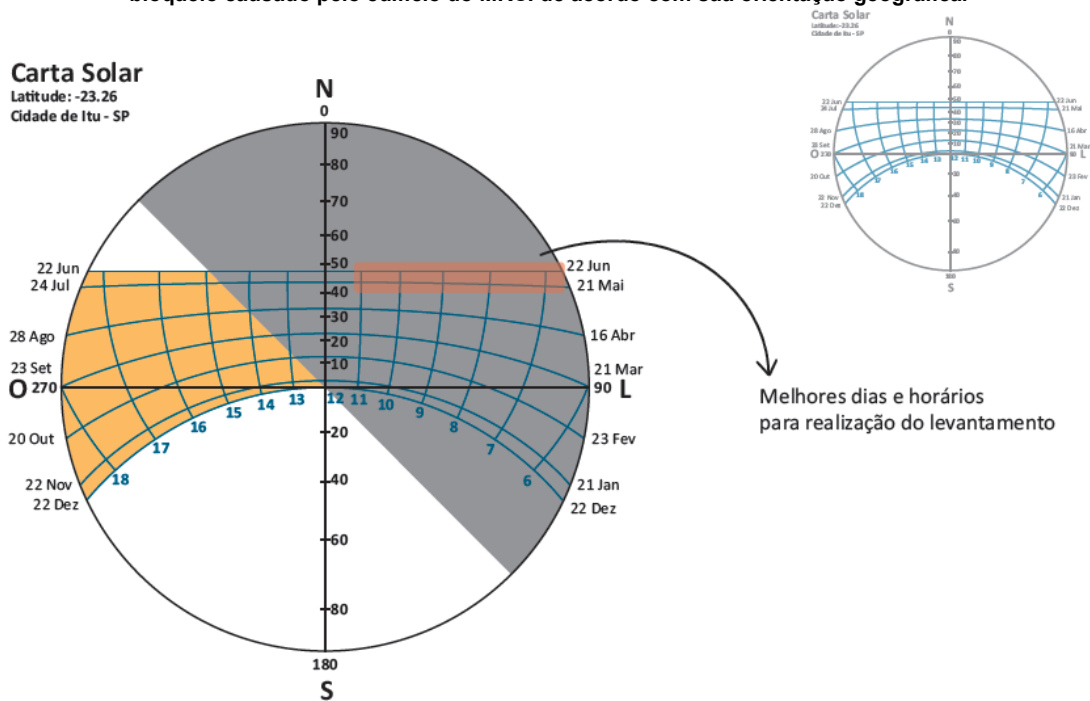
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 6: Modelo de cálculo de distâncias e croquis com medidas pré-estabelecidas e calculadas (vista em planta)



Complementando o plano de execução, outro fator de interesse constitui a orientação geográfica do edifício e consequente insolação incidente sobre a fachada, buscando o período do ano e os horários em que o sol não recaísse diretamente contra a câmera, e nem contra a fachada, evitando reflexos luminosos e sombras, que poderiam favorecer distorções e prejudicar o processamento dessas imagens (Figura 7).

Figura 7: Carta solar relativa à latitude da cidade de Itu, onde é possível observar a representação da insolação incidente e o bloqueio causado pelo edifício do MRCl de acordo com sua orientação geográfica.



Para finalizar o plano, ponderou-se o histórico meteorológico da cidade, considerando o regime de ventos, chuvas e a obstrução atmosférica dos raios solares, o que possibilitou a interseção desses regimes e uma análise indicativa nos meses de maio e junho como ideais para o levantamento, sobretudo se também

considerados os dados fornecidos pela carta solar.

O arranjo e a observação de todos esses dados permitiram o desenvolvimento do plano de execução. Considerando todas as prerrogativas citadas anteriormente, inferiu-se que a melhor situação para a tomada fotográfica se dava na condição de um distanciamento de 2,5 metros da fachada no período da manhã, entre 6h e 11h, nos meses de maio ou junho.

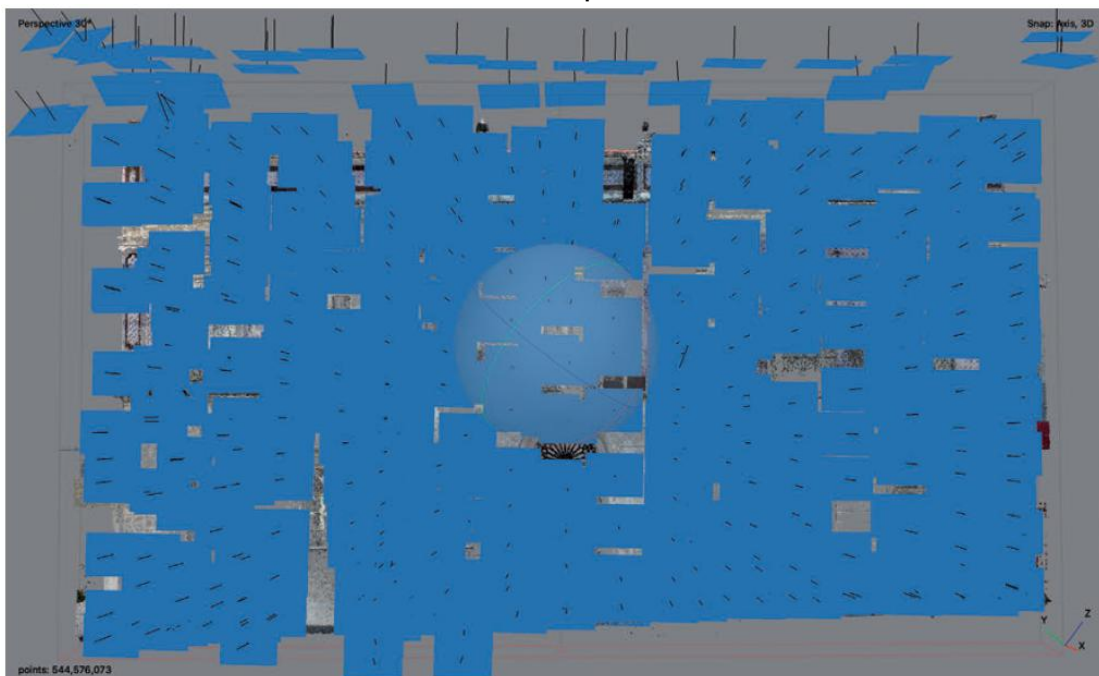
Após o cenário delineado, realizou-se o primeiro levantamento fotográfico efetivo da fachada, com apoio da equipe do Vídeo FotoFAU e do MRCI. Para tanto, a área do passeio público e de estacionamento da via em frente ao museu foram interditados e todas as obstruções físicas como bandeiras e faixas sobre a fachada foram retiradas. Desse modo, ocorreu a operação de voo do drone *DJI Mavic II Enterprise Advanced*, com tomadas fotográficas a partir de voos na vertical, respeitando os distanciamentos estabelecidos no plano de execução. Para referenciamento escalonar e retificação de planos geométricos no software, foram aplicados quatro alvos na fachada, formando um quadrado de 1x1 metro com dois eixos na vertical e dois na horizontal.

2.1 PROCESSAMENTO DE DADOS

Após a execução do levantamento fotográfico integral da fachada, foi possível aplicar a técnica de Fotogrametria Digital nas imagens obtidas. Das mais de 500 fotografias tomadas, realizou-se um primeiro processo de seleção manual, eliminando imagens que excederam o objeto de estudo ou fora de contexto, reduzindo para um total de 429 fotos utilizadas no processamento fotogramétrico. Todas essas fotografias, com resolução de 8000x6000 *pixels*, foram inseridas e processadas no *software Metashape Pro (Agisoft Metashape 1.8.5 Professional Edition)*, especializado na obtenção de nuvem de pontos e ortofoto com correção de perspectivas e dimensões ajustadas em escala por meio da técnica da Fotogrametria Digital.

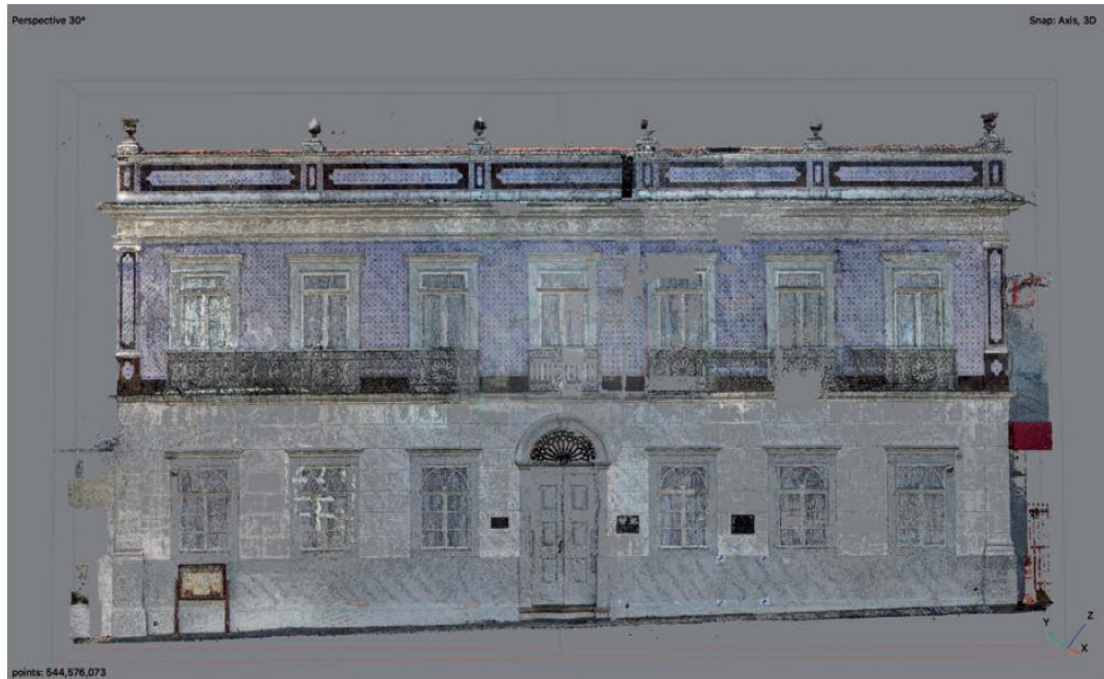
O *software* realizou o alinhamento e posicionamento espacial das fotografias (Figura 8), gerando uma malha TIN de 336.540 pontos; estendida em uma nuvem de pontos densa, em alta resolução, com 544.576.073 pontos (Figura 9); e modelo geométrico de alta qualidade com 151.205.896 faces e 75.666.724 vértices (Figura 10). Contudo, os resultados obtidos demonstraram inconsistências e múltiplas falhas na nuvem de pontos e ortofoto, como pode ser observado nas figuras a seguir.

Figura 8: Captura de tela do *software Metashape Pro* com o posicionamento das fotografias carregadas para processamento da nuvem de pontos.



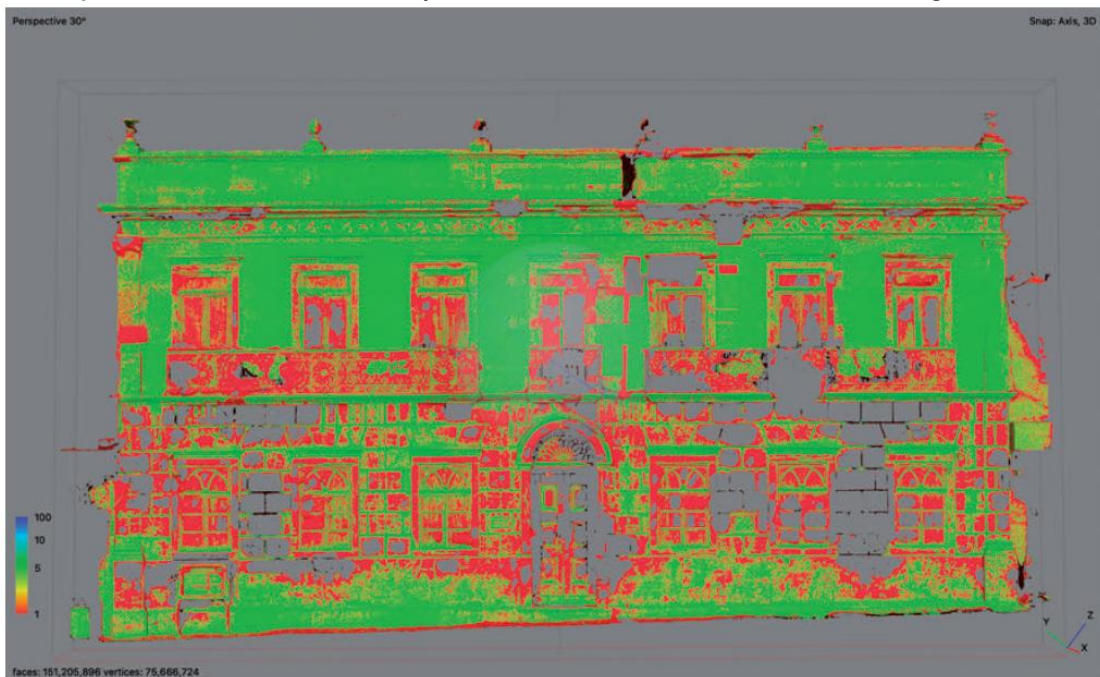
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9: Captura de tela do software *Metashape Pro* com a nuvem de pontos densa e marcação dos pontos dos alvos com eixos vertical e horizontal, para alinhamento do modelo geométrico e ortofoto.



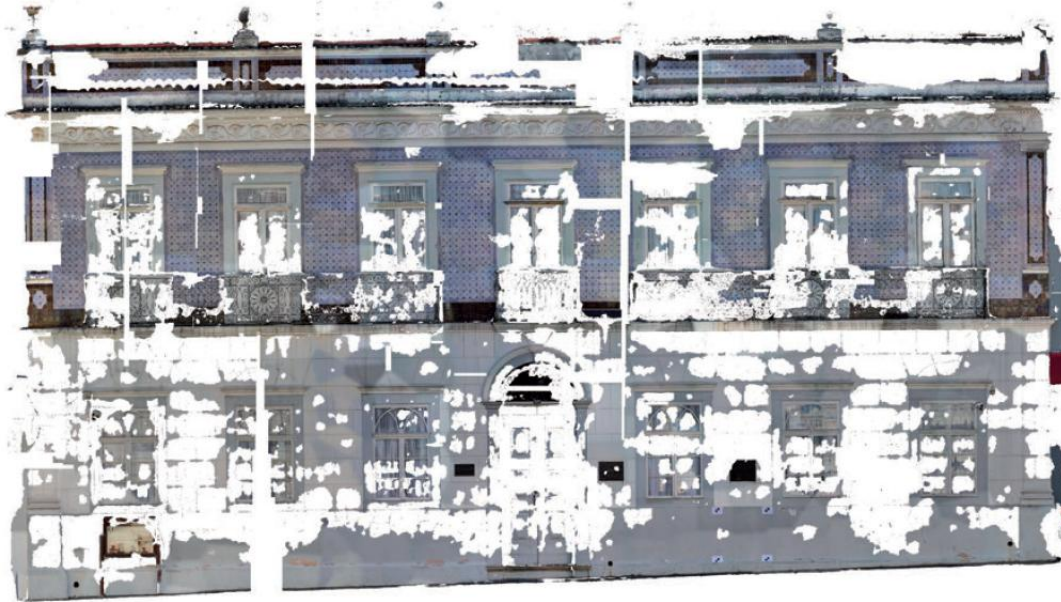
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 10: Captura de tela do software *Metashape Pro* com a escala de confiabilidade do modelo geométrico texturizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11: Ortofoto da fachada do MRCI gerada pelo software *Metashape Pro*

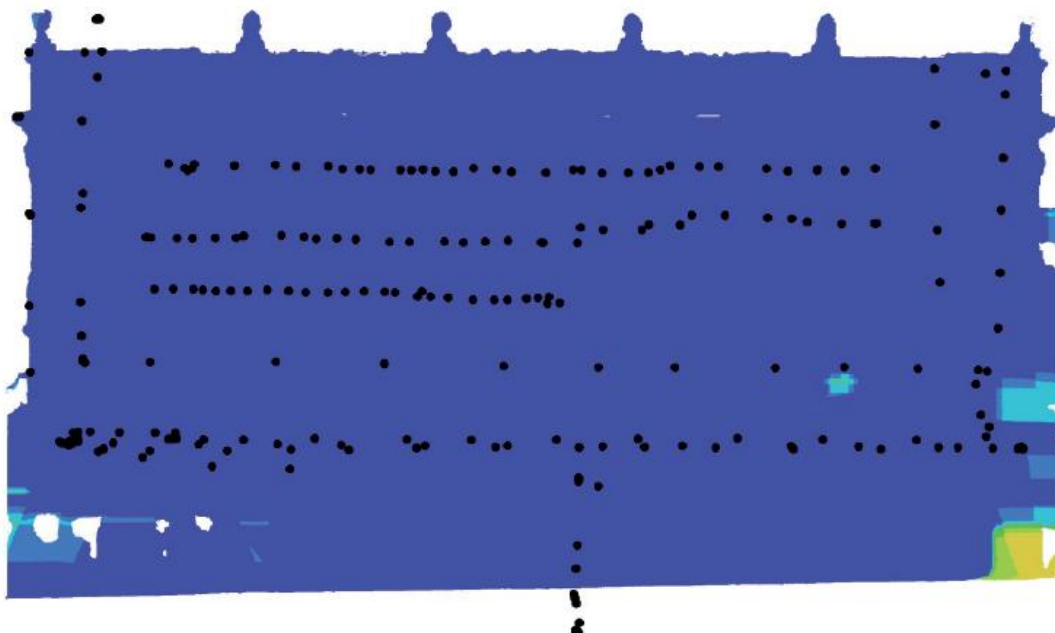


Fonte: Elaborado pelo autor.

Buscando compreender possíveis problemas que causaram a inconsistência de dados, apesar do grande número de informações fornecidas e tratadas para o processamento, uma nova tomada fotográfica da fachada foi realizada, optando-se por um plano de voo na horizontal, com um distanciamento maior em relação à fachada (5 metros) que ainda possibilitaria fotografias em alta resolução, visto as configurações do drone *DJI Mavic II Enterprise Advanced*; e um horário com melhor incidência solar sobre os planos. Para os demais pontos, como período do ano e distanciamento entre as fotografias, foi respeitado o estabelecido no plano de execução.

O novo processamento apresentou uma malha TIN de 116.431 pontos, malha de pontos densa em alta qualidade de 76.683.980 de pontos; modelo geométrico texturizado de alta qualidade com 75.664.319 e 37.846.643, e taxa de erro dentro dos parâmetros aceitos (1,35 *pixels*). Com suporte nos produtos obtidos e com base em medidas ortogonais nos eixos verticais e horizontais realizados por medição direta na fachada, o *software* gerou a ortofoto retificada com altíssima qualidade e representação detalhada de todos os elementos da fachada, possibilitando a execução das atividades seguintes.

Figura 12: Localizações e cobertura da câmera do drone. Dados fornecidos por meio do processamento no software *Metashape Pro*



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13: Captura de tela do software *Metashape Pro* com nuvem de pontos densa de alta qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14: Captura de tela do software *Metashape Pro* com modelo geométrico texturizado em altíssima qualidade.



Fonte: Elaborado pelo autor

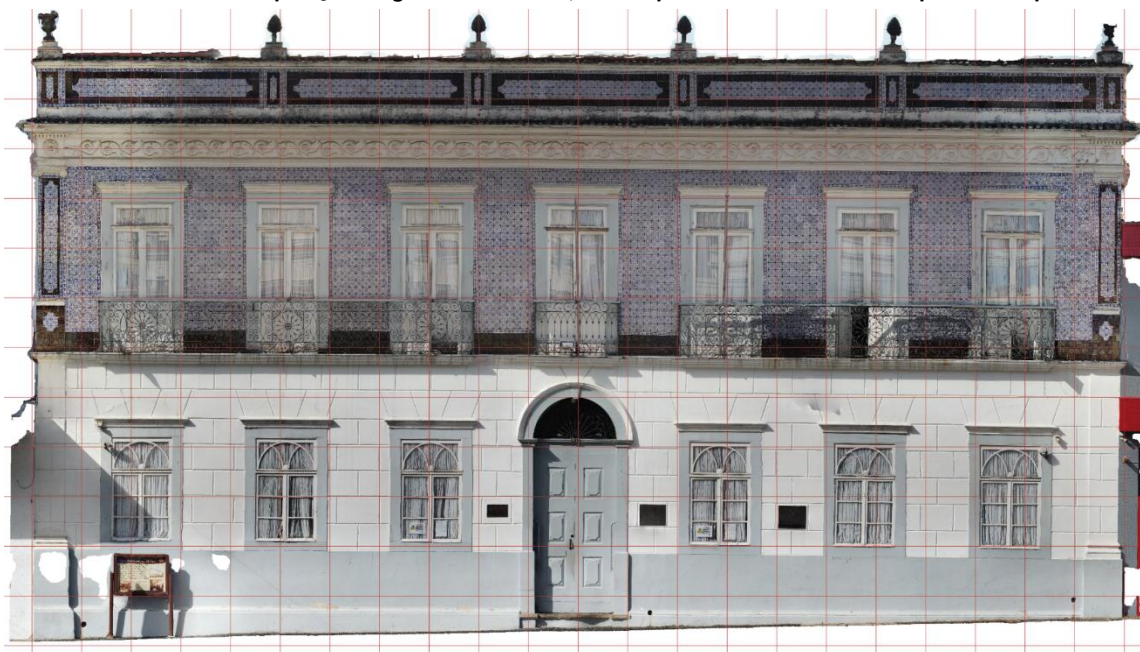
Figura 15: Ortofoto retificada da fachada do MRCI gerada pelo software *Metashape Pro*.



Fonte: Elaborado pelo autor

A ortofoto retificada por meio do processamento fotogramétrico digital possibilitou diversos desmembramentos além da elevação *as is* da fachada principal do edifício. Esse primeiro e mais evidente produto consistiu em um desenho detalhado de todos os elementos da fachada, sua ornamentação, esquadrias, placas, paginação da azulejaria, entre outros, refletindo as irregularidades apresentadas pelo edifício centenário e demais alterações ocorridas ao longo do tempo, como o recalque decorrente da construção de edifícios contíguos ao museu.

Figura 16: Ortofoto com sobreposição de grid de 1x1 metro, onde é possível observar o recalque sofrido pela edificação



Fonte: Elaborado pelo autor

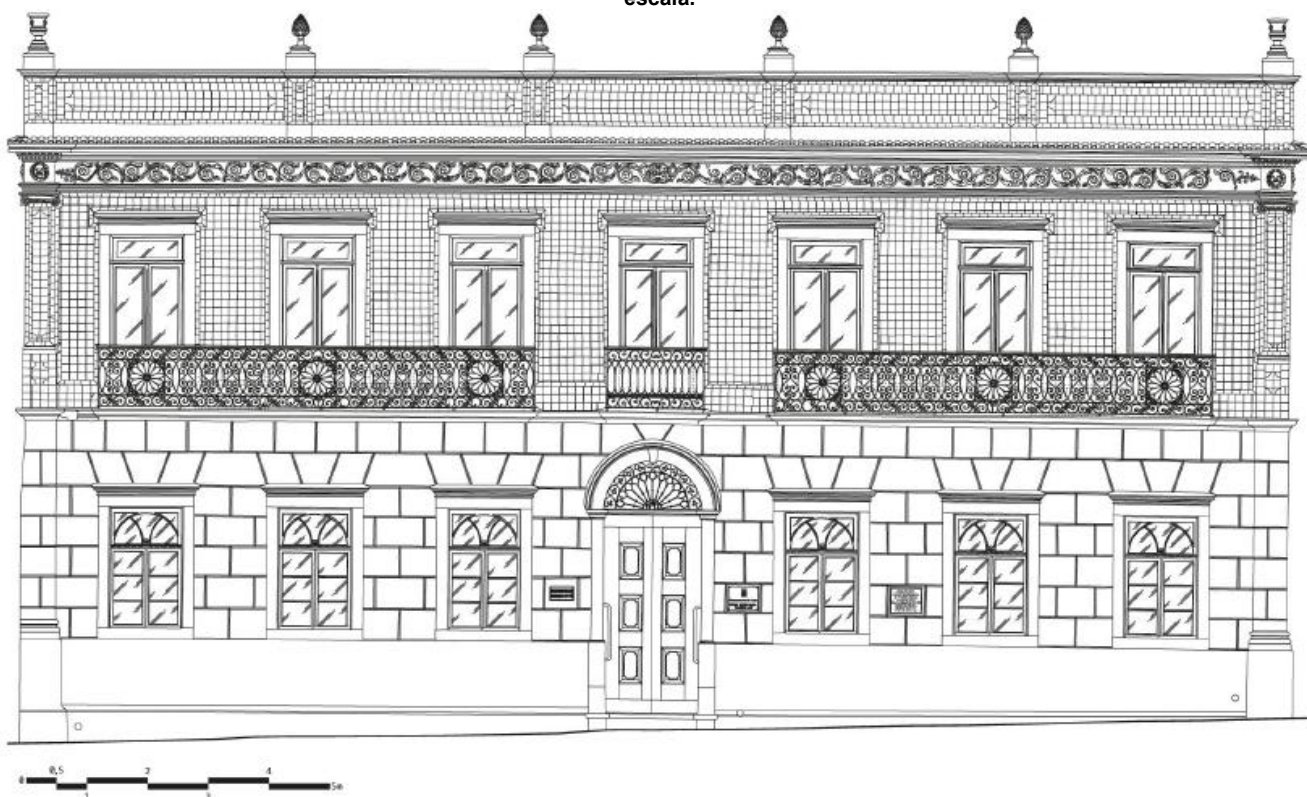
A ortofoto integral da fachada, obtida por meio da Fotogrametria Digital, com as devidas correções de perspectiva e proporcionamento da imagem em escala dimensional, possibilitou que fosse realizada uma

elevação rigorosamente detalhada, por meio de decalque de cada elemento. A análise minuciosa da ortofoto permite identificar pequenos erros e distorções na casa das dezenas de milímetros até unidades centímetros, que para os objetivos propostos, apresentam-se de acordo com as escalas de detalhamento e podem ser reparados por correção manual com base nas fotografias e demais levantamentos já realizados.

Contudo, alguns poucos elementos não foram corretamente ou integralmente constituídos na ortofoto, o que pode se dar pela falta de fotografias necessárias fornecidas ao software, ou outras condições como incidência de luminosidade sobre esses elementos. Um caso notável ocorre sobretudo nas extremidades da fachada, como as pinhas e vasos sobre a platibanda, que precisaram ser desenhados com auxílio complementar de outros recursos como fotografias, desenhos anteriores, reconstituição simétrica, ou até mesmo o uso dos elementos espaciais representativos desses ornamentos, presentes no acervo do MRCI.

Seguindo às peculiaridades da prática do desenho da elevação, é válido apontar que a rigurosidade obtida por meio do decalque sobre a ortofoto acaba por delinear algumas representações gráficas de manifestações patológicas. Como é possível inferir ao notar os estudos de Saviane (2021) quanto ao processo de levantamento arquitetônico na Vila Itororó, a atividade de desenho do estado de fato da edificação já acaba por retratar os danos físicos aparentes, mesmo que não se proponha a nenhuma análise das manifestações representadas.

Figura 17: Elevação da fachada principal do MRCI realizada sobre a ortofoto retificada por meio da Fotogrametria Digital, sem escala.



Fonte: Elaborado pelo autor

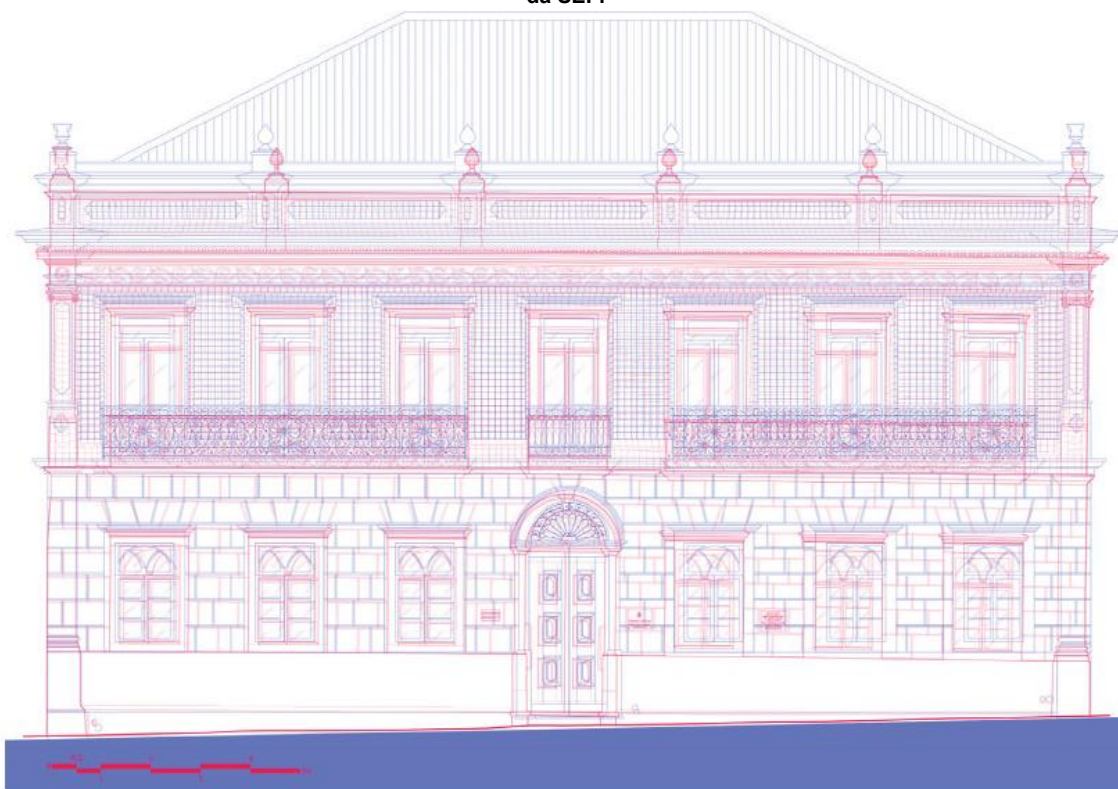
Figura 18: Sobreposição do desenho da elevação (em vermelho) sobre a ortofoto. Vaso da extremidade direita da platibanda, que foi recomposto por meio de outros recursos (à esquerda) e danos físicos aparentes representados no desenho (à direita).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mesmo com essas particularidades, o levantamento métrico e arquitetônico realizado por meio da técnica de fotogrametria digital permitiu um detalhamento de qualidade superior em relação aos desenhos de elevação da fachada que compõem os acervos do Museu e da SEF, especialmente se considerado desenhos que representem de forma mais fiel possível o estado de fato da fachada, com todas as suas irregularidades, ornamentações, etc. As diferenças ficam evidentes quando se coloca em confronto esses desenhos, como é possível ver na Figura 19.

Figura 19: Sobreposição da elevação realizada com o auxílio da Fotogrametria Digital (em vermelho) sobre a elevação oficial da SEF.



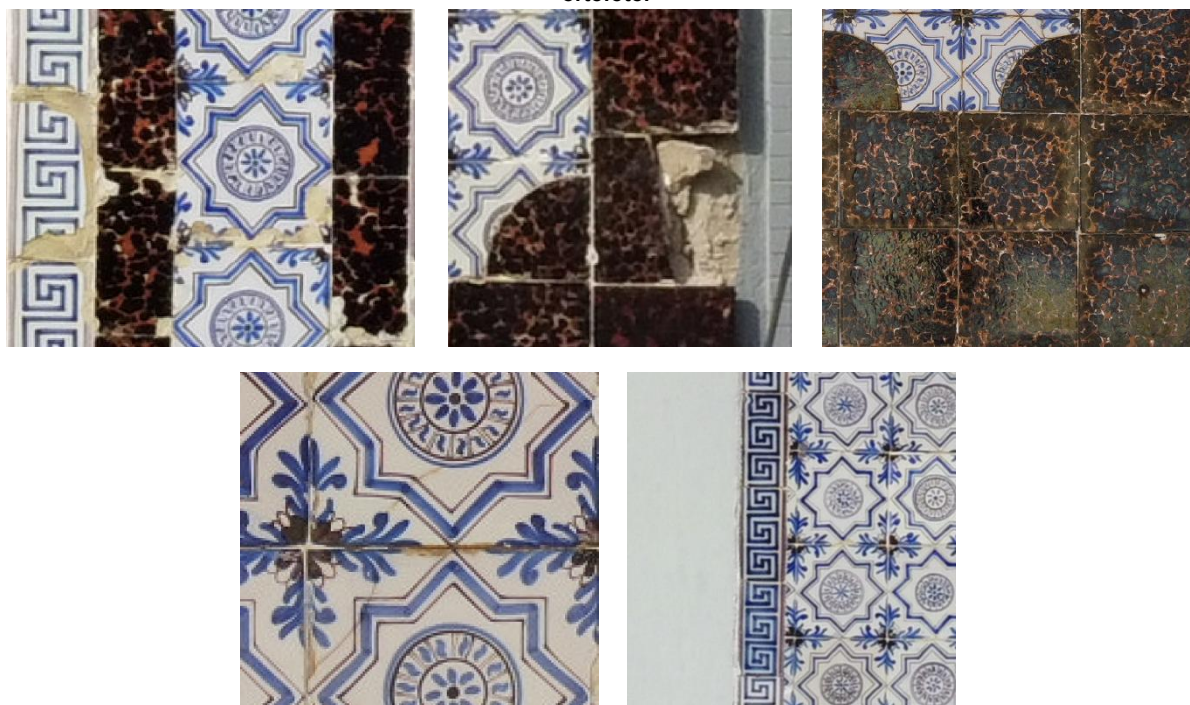
Fonte: Elaborado pelo autor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os procedimentos adotados para realização do desenho que compõe o mapa de danos foram os mesmos da elevação da fachada, utilizando a ortofoto retificada por meio da técnica de Fotogrametria Digital, sobretudo para delimitação das áreas e perímetros tomados pelas manifestações patológicas.

No conjunto de azulejos investigados, foram identificados com clareza cinco tipologias de manifestações patológicas e/ou suas variações, de acordo com a Figura 20: (a) Perda/desgaste da parte superficial do azulejo (vidrado) pelas arestas ou por descasque; (b) Perda/desgaste de vidrado e chacota; (c) Fissuras/Rupturas do corpo cerâmico do azulejo; (d) Alterações cromáticas; (e) Alterações cromáticas e/ou de textura (identificadas principalmente nos azulejos escuros com simulação de mármore). Essas manifestações também foram mapeadas sobre a ortofoto (Figura 21).

Figura 20: Quadro das manifestações patológicas identificadas na azulejaria de fachada do MRCl, com representação na ortofoto.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O delineamento dessas manifestações foi realizado de maneira exitosa, abrangendo os detalhes e traçando os pormenores perimetrais e de áreas dos danos identificados (Figura 21). Considerando que a escala de erro na ortofoto estava entre a casa das dezenas de milímetros e unidades de centímetros, as possíveis imprecisões se encaixam dentro dos objetivos e escalas do mapeamento de danos, uma vez que não incorreram na imperícia da identificação e nem em significativas discrepâncias nas delimitações dos contornos e áreas.

Desse modo, foi realizado o mapeamento de todo o revestimento de azulejos da fachada, dando origem à quatro Fichas de Identificação de Danos, que incluem o mapeamento gráfico das manifestações patológicas assinaladas, fotografias com indicações representativas dessas manifestações; e a dois mapas de danos, um apenas com o desenho técnico do mapeamento e um outro sobreposto a ortofoto (Figuras 22, 23 e 24). Não é viável a publicação das pranchas integralmente neste artigo, mas as mesmas podem ser encontradas em VANINI, 2024.

Figura 21: Capturas de tela do mapeamento das manifestações patológicas sobre a ortofoto, durante o processo de desenvolvimento do mapa de danos.

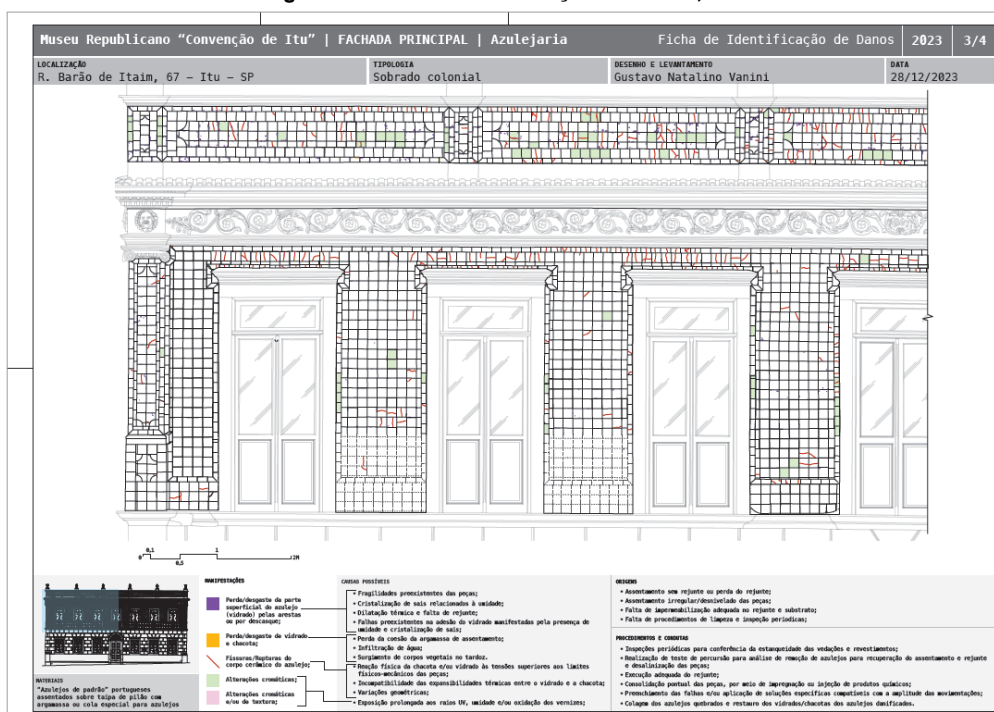


Fonte: Elaborado pelo autor.

Além do conteúdo direto resultado dessa atividade, a concepção do *layout* das fichas e mapas também passou por uma elaboração que considerasse todas as especificidades, como tipologias das informações das legendas, formas de representação dos arquivos, entre outros. Tomou-se como premissa fundamental as recomendações de Tinoco (2009, p. 12) de mapas de danos devem possuir valor cognitivo, portanto informações claras e objetivas que não se restrinjam ao aspecto técnico da comunicação visual, e tão somente à quantidade de informações disponibilizadas.

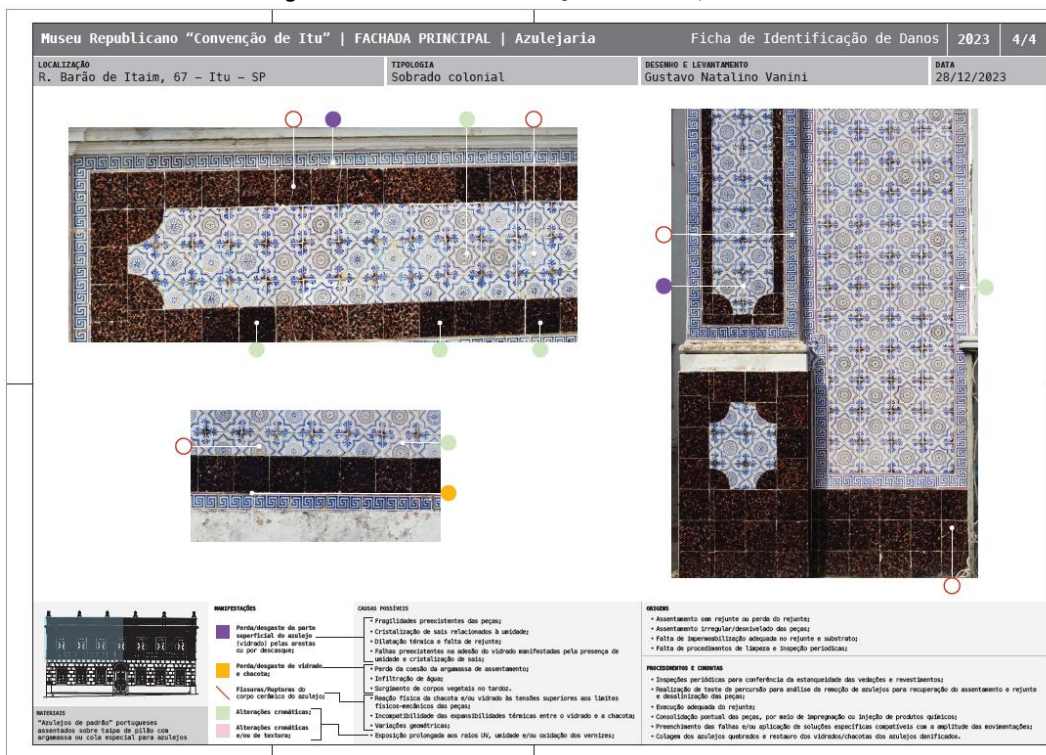
Nesse sentido, os *templates* desses produtos são compostos por um cabeçalho com a identificação geral do edifício, como nome, localização, tipologia, responsável pelo levantamento, data e numeração da folha; e um rodapé que varia entre as FDIs e os mapas de danos. Para a primeira foram inseridas a demarcação do trecho evidenciado em relação ao todo (no caso específico a fachada completa) e as legendas das manifestações acompanhadas de um fluxo de quadros com as possíveis causas de cada dano identificado e suas origens, assim como procedimentos e condutas recomendadas para a sua resolução. Já para o mapa de danos, os rodapés informam a demarcação do trecho da edificação, as legendas das manifestações patológicas e dos materiais que compõem os sistemas relacionados à fachada.

Figura 22: Ficha de Identificação de Danos, número 3.



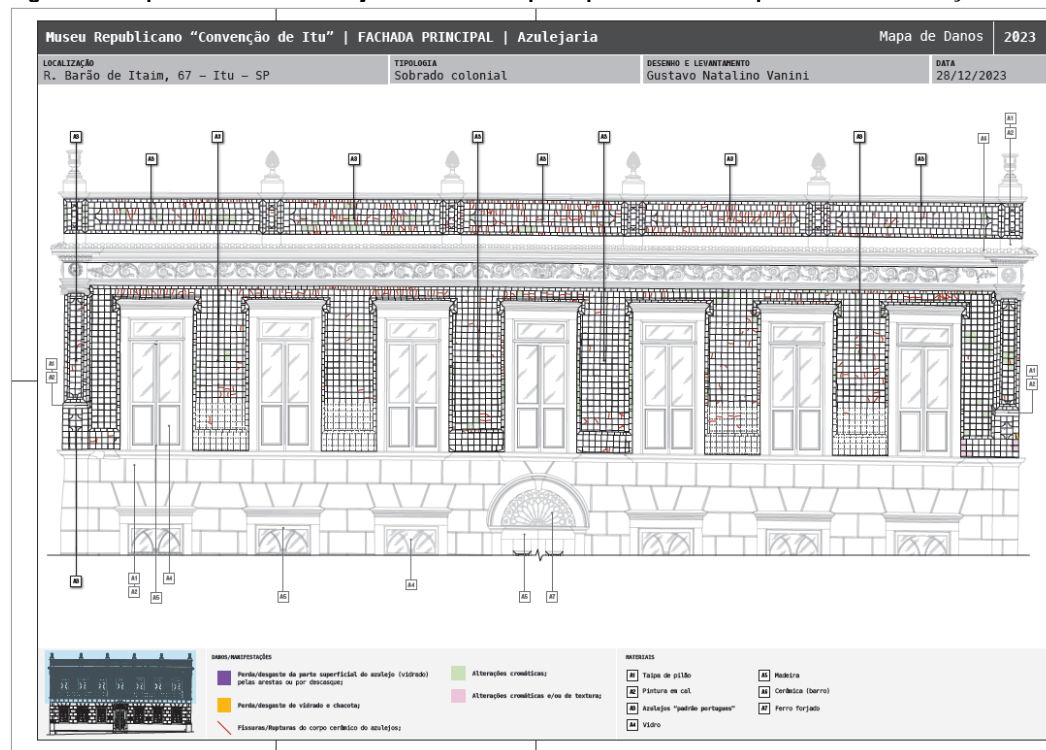
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23: Ficha de Identificação de Danos, número 4.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24: Mapa de danos da azulejaria da fachada principal do Museu Republicano "Convenção de Itu".



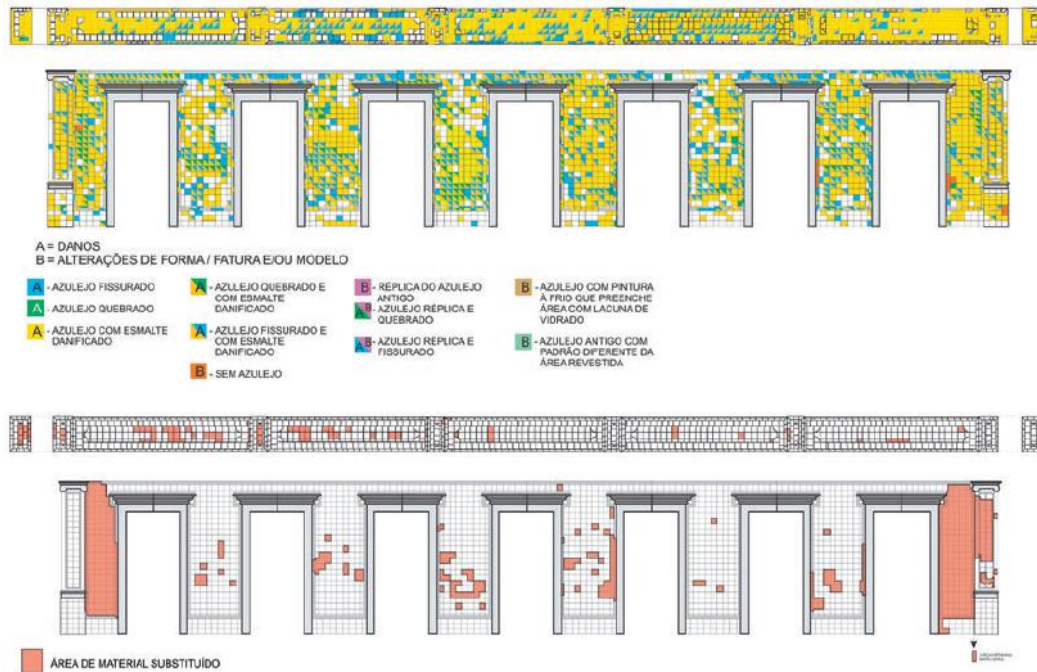
Fonte: Elaborado pelo autor.

Tratando-se especificamente do mapa de danos desenvolvido, foi possível realizar um confronto com o mapeamento de danos da azulejaria elaborado em 2012 para os trabalhos de restauração dos azulejos do Museu (Figura 26). Ademais, os próprios materiais de relatórios e projetos de restauro, possibilitam algumas análises e inferências a respeito das manifestações identificadas atualmente; indo ao encontro do defendido por alguns estudiosos como Tinoco (2009a; 2019b) ao apontar a necessidade da atualização temporal do mapa de danos, para melhor compreensão das manifestações abatidas sobre a edificação, sua efetiva solução, estagnação, ou até mesmo seu avanço; uma vez que a sobreposição dos dados entre dois ou mais mapas de danos pode auxiliar na análise e entendimento da evolução dessas manifestações, observando-se

essas possíveis mudanças.

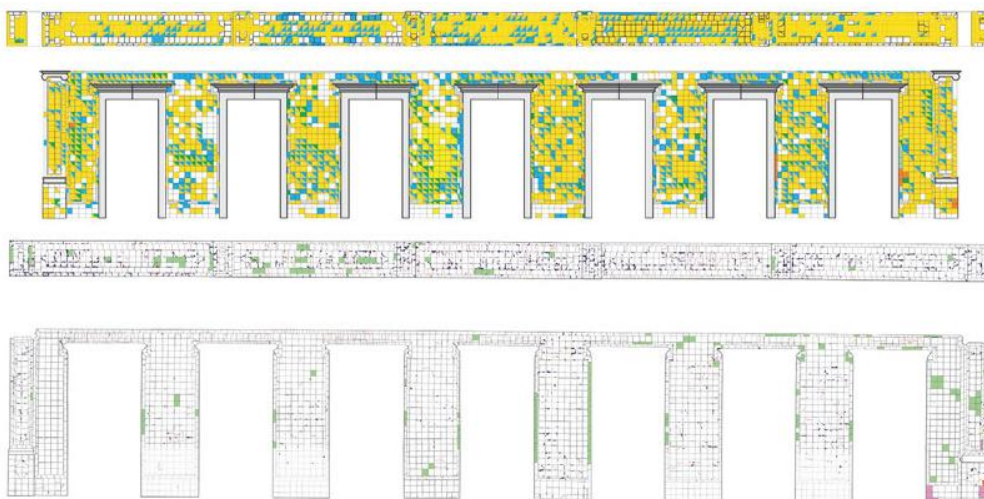
No mapa de danos elaborado em 2012 foram identificados: fissuras, rupturas do corpo cerâmico, danificações no esmalte (provavelmente perda de vidrado), perdas de peças, pintura à frio sobre a perda de vidrado, e padrão diverso do original. Ou seja, os danos encontrados em ambas os levantamentos indicam as mesmas tipologias de manifestações patológicas, com diferença da pintura a frio, que foi sanada no processo de restauro. Em complemento ao mapa de danos, há também o mapa de substituição dos azulejos, indicando quais peças foram trocadas (Figura 25).

Figura 25: Mapa de danos da azulejaria da fachada principal do MRCI (acima) e o mapa de substituição de azulejos da fachada principal (abaixo), elaborados em novembro de 2012.



Fonte: Elaboração: Estúdio Sarasá/Acervo MRCI/APMP/USP

Figura 26: Contraposição entre os mapas de danos elaborados em 2012 (acima) e em 2023 (abaixo).



Fonte: Estúdio Sarasá/Acervo MRCI/APMP/USP e autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No âmbito das tecnologias digitais, pode-se constatar muitas contribuições para os processos de documentação e formação de acervo histórico do bem edificado. Por meio das metodologias e técnicas disponíveis, podem-se somar resultados qualitativos e quantitativos às atividades de levantamento físico e

investigação do estado de conservação de um edifício, fazendo com que os produtos obtidos sejam realizados de forma ainda mais precisa; como foi possível observar com a aplicação da Fotogrametria Digital na fachada do Museu Republicano.

Contudo, considerando singularmente essas técnicas e metodologias, deve-se ter em conta as particularidades de cada uma delas, bem como as da edificação a ser investigada; fato esse que pode ser mais bem compreendido por meio de vistorias prévias e, substancialmente, com o processo de levantamento do corpus documental. Desse modo, todos pormenores devem ser alinhados para avaliação das melhores técnicas e metodologias a serem aplicadas para o levantamento em questão. Ou seja, as particularidades atribuídas a cada bem a ser analisado devem ser consideradas para a escolha das ferramentas e meio de aplicação das técnicas disponíveis, novamente enfatizando a importância de um planejamento e projeto de levantamento minuciosamente elaborados.

No estudo de caso proposto neste trabalho, a investigação da fachada principal do MRCI com apoio da Fotogrametria Digital viabilizou seu registro integral, proporcionando a concepção de uma ortofoto retificada que deu origem a desenhos de elevação mais precisos; possibilitou o desenvolvimento de uma hipótese de reconstituição histórica da fachada em conjunto com os dados históricos abordados; e deu base a um excepcional mapeamento gráfico de suas manifestações patológicas, tendo como produto um mapa de danos preciso e avançado.

Quanto à reconstituição da fachada, ressalta-se que o produto apresentado configura apenas uma de diversas hipóteses possíveis, que poderão variar de acordo com as referências bibliográficas e historiográfica tomadas, estudos comparativos com demais edifícios do mesmo período e uma análise aprofundada do quadro de manifestações patológicas observadas em todos os sistemas constituintes da fachada. Para este trabalho, o objetivo foi apenas demonstrar de forma sutil mais uma viabilidade de aplicação das metodologias de levantamento digital. Nesse sentido, acredita-se em todo um conjunto investigativo capaz de se desmembrar em trabalhos mais complexos e acurados de reconstituições históricas dos elementos arquitetônicos que compuseram a fachada original do edifício.

Por fim, independente do formato estabelecido no estudo de caso, permanecem evidentes as necessidades de pesquisas constantes sobre o campo da documentação patrimonial, sobretudo nas temáticas que abordam os sistemas de inventário e os processos tecnológicos e digitais, que se apresentam em rápida e gradual evolução. Essas transformações, que muitas vezes não conseguem ser acompanhadas pela aprendizagem vivenciada em ambientes de formação superior, acabam por refletir nas práticas cotidianas de preservação e conservação do nosso patrimônio.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR CB-02**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Rio de Janeiro, 2011.
- CANUTO, C. L.; MOURA, L. R.; SALGADO, M. **Tecnologias digitais e preservação arquitetônico: explorando alternativas**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 7, n. 4, p. 252-264, dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i4.8647456>. Acesso em: 04 jul. de 2021.
- CREA-SP. Patrimônio histórico: como e por que preservar. GHIRARDELLO, N.; SPISSO, B. (Coord.); FARIA, G.G.M [et al.] (Col.). Bauru, SP: Canal 6, 2008. 34 p.
- EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.
- EISENMAN, P. Visions unfolding architecture in the age of electronic media. In: NESBITT, K. **Theorizing a New Agenda for Architecture**. 2. ed. Nova Jersey: Princeton Architectural Press, 1996. p. 556-561.
- FASOULAKI, E. **Integrated design: a generative multi-performative design approach**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Architecture Studies) – Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2008.
- FISCHER, T. Generation of Apparently Irregular Truss Structures. In: International Conference on Computer aided Architectural Design Futures, 11., 2005, Viena. **Proceedings [...]** Viena: Vienna University of Technology, 2005. p. 229-238. DOI: doi.org/10.1007/1-4020-3698-1_21
- FISCHER, T.; BURRY, M.; FRAZER, J. Triangulation of generative form for parametric design and rapid prototyping. **Automation in Construction**, v. 14, n. 2, p. 233-240, mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.004>
- GORDON, D. **The emergent genius of ant colonies**. Ted Talks: ideas worth spreading. The Emergent Genius of Ant Colonies. 2003. Disponível em: <http://www.ted.com/>. Acesso em: 12 setembro 2023.

- GROETELAARS, N. J. **Criação de Modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica**. 2015. 372 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.
- HORTA, M.L.P.; GRUNBERG, E.; MONTEIRO, A. Q. **Guia Básica de Educação Patrimonial**. Brasília, IPHAN, Museu Imperial, 1999, 65 p.
- INNOCENCIO, C. de R.; SALZANI, L. O.; PEREIRA, T. da S. S.; BARBOSA, M. T. G. **A termografia e o uso de veículo não tripulado como instrumentos de auxílio no diagnóstico de manifestações patológicas em patrimônio cultural edificado**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, [S. l.], v. 16, n. 3, 2021. DOI: 10.11606/gtp.v16i3.174232. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/174232>. Acesso em: 6 mai. 2023.
- KILIAN, A. **Design explorations through bidirectional modeling of constraints**. 2006. 325 f. Tese (Doutorado em Philosophy in Architecture Design and Computation) – Massachusetts Institute of Technology, Boston, 2006.
- KOLAREVIC, B.; MALKAWI, A. M. (Ed.). **Performative Architecture Beyond Instrumentality**. Nova Iorque: Spon Press, 2005.
- LEWIN, R. **Complexity: life at the edge of chaos**. 2. ed. Chicago: University of Chicago Press, 2000.
- NOGUEIRA, F. M de S. **A representação de sítios históricos: documentação arquitetônica digital**. 2010. 215 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.
- TINOCO, J. E. L. **Mapas de Danos – Recomendações básicas**. Volume 43. CECI, Olinda, 2009.
- TINOCO, J. E. L. **Ficha de Identificação de Danos FID na modelagem de um Mapa de Danos**. Volume 65. CECI, Olinda, 2019.
- SAVIANE, B. M. **Levantamento arquitetônico: prática antiga, disciplina contemporânea**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 446. 2021.
- VANINI, Gustavo Natalino. **A prática de levantamento do patrimônio edificado e a Fotogrametria Digital como processos de investigação técnica e histórica**. 2024. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024. doi:10.11606/D.16.2024.tde-14082024-104803. Acesso em: 2025-06-06.
- ZEQUINI, A. **O Sobrando da Convenção de Itu na antiga Rua do Carmo (atual Rua Barão do Itaim): uma pesquisa documental**. *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 197-211, 2003. DOI: 10.1590/s0101-47142003000100011. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/anaismp/article/view/5387>. Acesso em: 12 out. 2022.