ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Fase inicial para transformação de ativos públicos em gêmeos digitais

Initial phase for the transformation of public assets into digital twins

Natália Cristina Diehl
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | nataliadiehl.arq@gmail.com
Léia Miotto Bruscato
Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre | Brasil | leia.bruscato@ufrgs.br

Resumo

A tecnologia para tornar um ativo físico gêmeo digital apresenta-se como solução para transformar edificações existentes em sistemas inteligentes. Para a implementação de gêmeos digitais, estão condicionados três componentes: a entidade física, a virtual e o manejo de dados entre elas. O objetivo desta investigação foi identificar as características do processo de captura do objeto físico e a modelagem virtual. Utilizou-se como objeto de estudo de caso único o processo de levantamento cadastral digital do Centro Administrativo Fernando Ferrari. Apresenta-se, neste artigo, a técnica de observação direta, realizada durante sete meses de 2023. Revelou-se, na observação, o alto esforço das equipes de modelagem a partir de nuvem de pontos, assim como o manejo de dados estáticos, que impactou um processo manual de refazer leiautes após o ambiente ter sido escaneado digitalmente. Esta pesquisa permitiu contextualizar a fase inicial do processo de criação dos gêmeos digitais voltados para a operação e a manutenção de ativos públicos no cenário nacional.

Palavras-chave: Gêmeos digitais. Ativos públicos. Estudo de caso. Observação. Virtualização.

Abstract

The technology to turn a physical asset into a digital twin presents as a solution to transform existing buildings into intelligent systems. For the implementation of digital twins, three components are required: the physical and virtual entity, and the data management between of them. The aim of this investigation was to identify the characteristics of the process of capturing the physical object and virtual modeling. The digital cadastral survey process of the Fernando Ferrari Administrative Center there was the study object. This article highlights the technique employed of direct observation, conducted over seven months in 2023. The observation revealed the high effort of modeling teams using point clouds, as well as the management of static data, which influenced a manual process of redoing layouts after the environment was digitalized scanned. This research allowed for contextualizing the initial stage of the process of creating digital twins aimed at the operation and maintenance of public assets in the national scenario.

Como citar:
Diehl, N.C; Bruscato, L.M. **Fase inicial para transformação de ativos públicos em gêmeos digitais.** ENTAC2024. In: ENCONTRO **NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.**

Keywords: Digital Twin. Public asset. Case study. Observation. Virtualization.

INTRODUÇÃO

O conceito de *digital twins* – gêmeos digitais (GD) – alcançou o setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) com potencial de habilitar edificações para que se tornem ativos inteligentes. Para que isso ocorra, utiliza-se o manejo de dados, a fim de simular, prever e aprimorar a tomada de decisões relacionadas ao ambiente construído [1].

Compreende-se que, para implementação de um GD, três componentes básicos são necessários: a existência de um objeto físico, o modelo virtual e o manejo de dados entre ambos [2,3]. Esses componentes estabelecem o paradigma físico-dados-virtual, no qual, para cada um deles, existirão subpartes consideradas habilidades e características dispostas a facilitar funções que transcorrem durante todo o ciclo de vida de um ativo físico, intercambiando tecnologias e ferramentas utilizadas em cada estágio de degradação do ativo [4].

Estudos destacam o potencial dos GD para transformar a manutenção e o gerenciamento de instalações em atividades inteligentes [5]. Com essa tecnologia, é possível monitorar o estado de degradação das edificações e identificar falhas de maneira preditiva, permitindo um novo nível de percepção e tomada de decisão [6].

Entende-se, também, que a aplicação de GD no ambiente construído tem o potencial de assegurar o conforto dos ocupantes via monitoramento aprimorado, utilizando parâmetros de condições ambientais e pessoais. A coleta de dados por meio de sensores, instalados em espaços internos da edificação, permite realizar simulações voltadas para a melhoria e otimização do consumo e do uso dos recursos das edificações. Além disso, os sensores podem fornecer relatórios sobre ocupação e movimento com base em dados, facilitando as tomadas de decisão relacionadas à distribuição e ao uso dos espaços [7].

Por ser considerado uma representação virtual de um ativo físico, o conceito de GD está associado à tecnologia de modelagem de informações de construção (BIM, do inglês *building information modeling*). Embora ambos apresentem abordagens e aspectos semelhantes, diferem em termos de objetivos, tecnologias, usuários finais e tipos de dados manejados. Enquanto o BIM trabalha com dados estáticos, os GD utilizam um fluxo de dados contínuo e dinâmico [3]. Quando relacionada ao ambiente construído, a implementação de GD começa com o BIM, que pode ser considerado um subcomponente no qual o modelo digital da edificação é enriquecido pela adição de capacidades de sensorização, *big data* e IoT [4].

A principal diferença na relação entre um modelo BIM e um GD é a maneira como as informações são gerenciadas em cada um deles. No GD, há uma interação com informações dinâmicas capturadas diretamente no ambiente; já no modelo BIM, as informações são escolhidas, adicionadas ou removidas conforme necessário [8]. Os GD ampliam os modelos BIM ao permitir a caracterização de elementos complexos que, embora não estejam detalhados nos projetos de construção, são importantes

componentes do ambiente construído em todas as fases do ciclo de vida das edificações [9].

Entende-se que os GD podem ser utilizados em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação, e a combinação das tecnologias BIM e IoT tem aprimorado sua aplicação para o gerenciamento de ambientes internos [10]. Ao abordar o gerenciamento de instalações, identificam-se fatores que englobam as condições existentes na fase de operação e manutenção de uma edificação, a qual é marcada pela perda parcial do controle dos processos. Além disso, a implementação dos projetos necessários nessa etapa demanda a participação de múltiplos interessados, o que é considerado uma dificuldade para a integração das informações [3].

Diante das dificuldades relacionadas à utilização das tecnologias BIM e GD na fase de operação e manutenção, nesta investigação busca-se compreender como ocorre o processo de captura do objeto físico e a criação de sua modelagem no estágio de virtualização de edificações existentes. Espera-se identificar características desse processo que possam auxiliar na contextualização dessa tecnologia no âmbito nacional.

Esta pesquisa é parte da investigação de mestrado, desenvolvida no Programa de Pós-graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul [11], que resultou em estruturas conceituais para auxiliar o processo de transformação de um ativo físico em GD.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o desenvolvimento da pesquisa, definiu-se o estudo de caso único, visto que se busca responder a questões de “como?” e “por quê?” o fenômeno ocorre. Além disso, a pesquisadora não exerce controle sobre o evento, e o foco do estudo é um fenômeno contemporâneo [12]. Neste artigo, apresenta-se a observação direta, uma das técnicas utilizadas para o desenvolvimento completo do estudo de caso.

A técnica de observação foi aplicada ao processo de captura do componente físico e à criação do componente virtual, resultado do processo de levantamento cadastral digital conforme especificado no edital nº 0071/2022 [13]. Para fins de viabilidade, selecionou-se um setor da edificação – a Subsecretaria Administrativa (SUAD) – como amostra durante a fase de elaboração do modelo virtual do Centro Administrativo Fernando Ferrari (CAFF). O processo de levantamento cadastral digital está sob a gestão do Laboratório de Estudos de Tecnologias BIM do Estado do Rio Grande do Sul (LaBIM/RS).

Os dados foram coletados entre junho e outubro de 2023, seguindo um planejamento prévio e flexível [14]. Primeiramente, a pesquisadora assistiu às aulas previstas no edital nº 0071/2022 [13], voltadas para a consultoria em modelagem sobre nuvem de pontos. Essa etapa foi considerada a imersão inicial da pesquisa, na qual foram gerados relatórios que contribuíram para a construção do protocolo definitivo, estruturado a partir do cruzamento dos conhecimentos adquiridos para a composição do referencial teórico e durante a etapa de imersão inicial [15]. Para validação e testagem, o

protocolo[1] foi apresentado à gerente do LaBIM/RS, coordenadora do projeto-piloto. Durante o processo, buscou-se identificar as características do processo de captura do objeto físico e a modelagem virtual.

Os procedimentos adotados na observação seguiram um roteiro de questões que conduziram à resolução dos seguintes tópicos: captura da realidade, capacitação de servidores e modelo BIM. O roteiro completo da observação pode ser acessado na publicação completa da pesquisa [11, p. 87].

Após o planejamento prévio, a observação direta contribuiu para a identificação de características do processo em estudo [14]. Desse modo, foram verificados os componentes do processo de criação do GD considerando-se a fase de captura do objeto físico e a modelagem virtual.

DESCRIÇÃO DO CASO

No processo de triagem dos casos, buscou-se possibilidades de GD aplicados à gestão do ambiente construído que ocorreram ou estavam em andamento no contexto nacional. A partir disso, identificou-se o trabalho-piloto da Estratégia BIMGov-RS. Segundo o termo de requerimento que norteou o processo de licitação, tinha-se como intuito

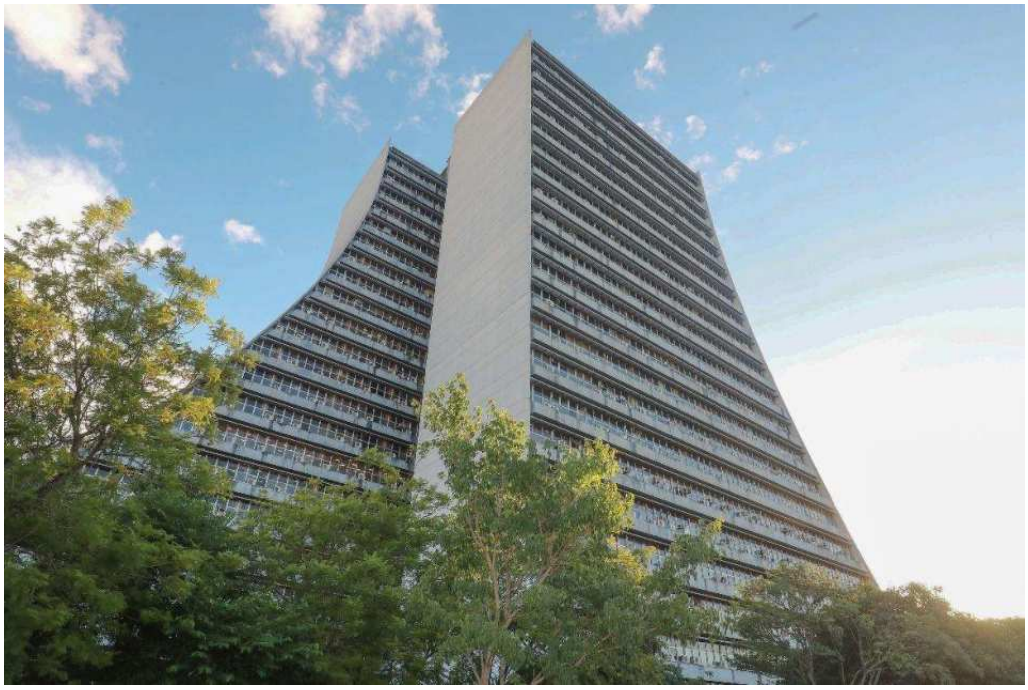
> *[...] possibilitar a criação de um modelo digital que represente com fidelidade o prédio sede do Centro Administrativo Fernando Ferrari (gêmeo digital), de forma a permitir a melhoria da gestão do ativo e do planejamento de intervenções e melhorias da edificação, ao mesmo tempo em que promove o treinamento e capacitação de servidores no uso de tecnologias inovadoras [...]* [13, p. 5]

Importante ponto de referência para a cidade de Porto Alegre, o CAFF é uma edificação de 21 andares, com área interna de aproximadamente 50 mil m², que acomoda 13 secretarias com quase 4 mil servidores públicos. A edificação de quase meio século (Figura 1) teve sua estrutura impactada pelo processo natural de degradação dos materiais, assim como pelos ajustes contemporâneos de legislações normativas de segurança, desempenho e acessibilidade.

Diversas dessas implicações são recorrentes e impactam a edificação, causando paralisações e impedimento do funcionamento normal de suas atividades. Um dos maiores obstáculos enfrentados está relacionado ao plano de prevenção e proteção contra incêndios (PPCI), que já foi motivo de interdição. A falta de um sistema integrado de informações dificulta sua gestão e estende-se a outros ativos do estado em termos de regularização, manutenção e adequação.

[1] Link de acesso ao protocolo completo: *https://lume.ufrgs.br/handle/10183/276809*

Figura 1: Centro Administrativo Fernando Ferrari



Fonte: Itamar Aguiar/Palácio Piratini [16].

A partir da definição do objeto de estudo, a pesquisadora interagiu de forma ativa com o caso. Acompanhou o processo de consultoria para modelagem com base na captura de nuvem de pontos, e os registros conduziram os procedimentos subsequentes do estudo, apresentados a seguir.

RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados e as discussões acerca das informações coletadas na observação direta. Por se tratar de uma pesquisa qualitativa, ao descrever-se os dados coletados, tem-se como objetivo identificar padrões que possam fornecer explicações sobre as informações obtidas [17].

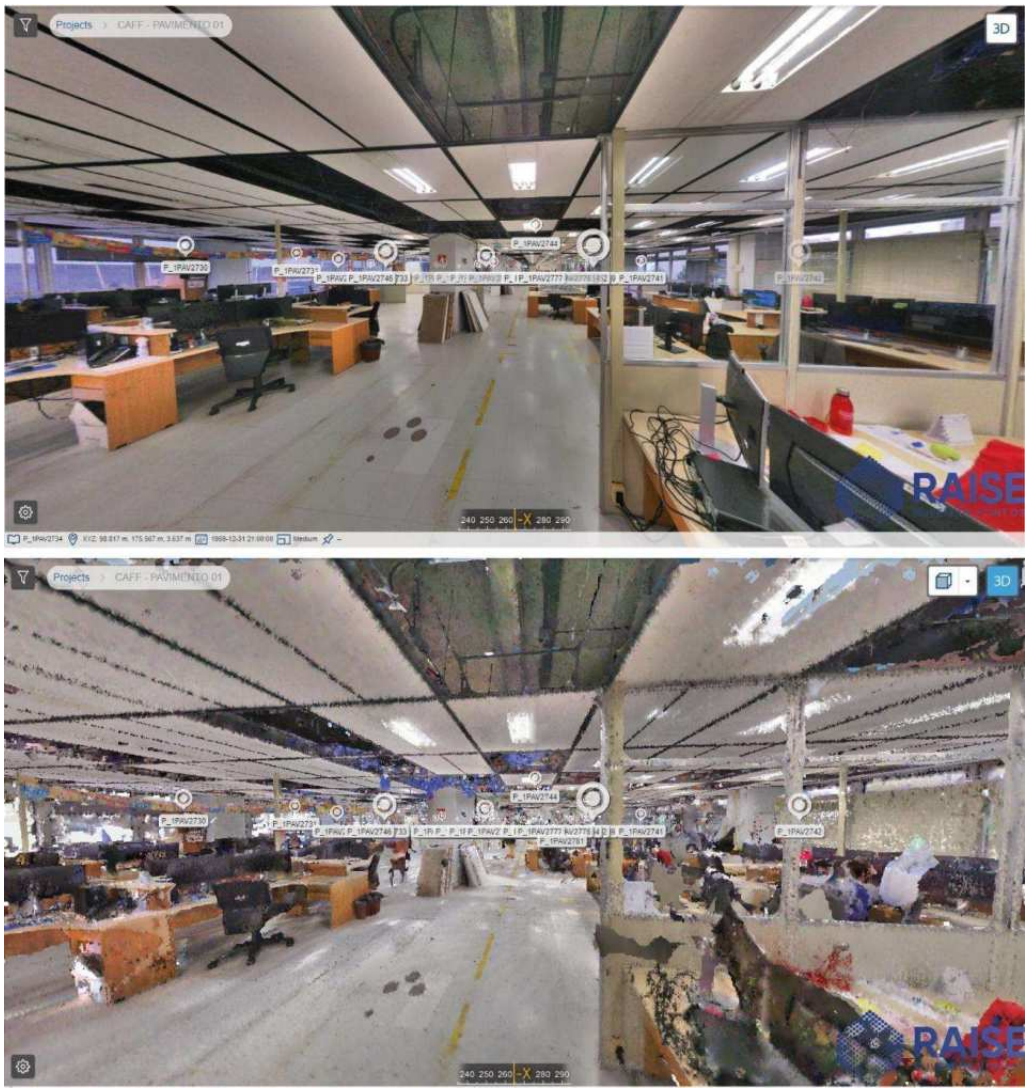
CAPTURA DA REALIDADE

O processo de captura da realidade tinha como objetivo levantar informações para a modelagem virtual do CAFF. Esse processo ocorreu por meio do escaneamento a *laser* contratado via edital nº 0071/2022 [13]. De forma geral, esperava-se obter o registro das fachadas externas e dos interiores do CAFF, gerando, a partir do levantamento, um sistema de visualização de nuvens de pontos e imagens 360° coloridas.

Segundo indicação da empresa responsável, utilizou-se o *scanner* terrestre FARO FOCUS S150. A manipulação dos dados brutos foi executada, primeiramente, no *software* FARO Sphere®. Para remoção de artefatos não pertinentes, foi utilizado o *software* Recap, da Autodesk. A nuvem de pontos foi disponibilizada no *software* FARO Sphere® e, além disso, foram disponibilizadas fotos 360° internas e das fachadas externas da edificação.

Dessa forma, forneceu-se uma interface de navegação que sobrepõe a nuvem de pontos com as imagens 360°, na qual é possível identificar os registros fotográficos, conferir medidas e navegar através das outras localizações capturadas. A navegação no aplicativo visa, principalmente, à visualização sobreposta das fotos panorâmicas coloridas (Figura 2).

Figura 2: Interface de visualização no *software*



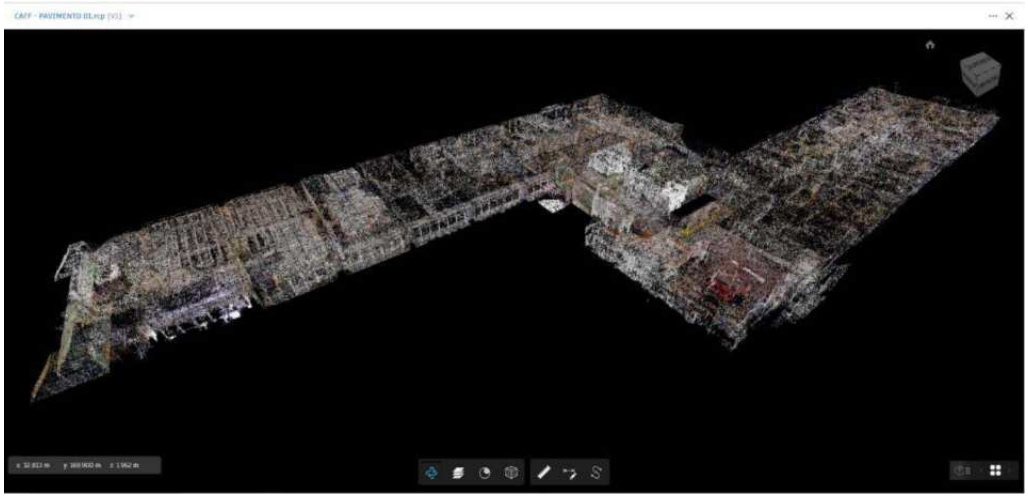
Nota: Foto 360° (imagem superior) e nuvem de pontos (imagem inferior). Disponibiliza-se em formato de vídeo a navegação da nuvem de pontos do *software* FARO Sphere®: https://youtu.be/E0nTET1X06I. Fonte: [11, p. 109].

Nota-se que a imagem 360° tem uma boa resolução para identificação de elementos e a nuvem de pontos é pouco nítida quando é preciso ampliá-la. Isso está relacionado à densidade de pontos processados, definida pela empresa contratada em 1 ponto a cada 10 mm (ou 1 ponto por cm²). A nuvem de pontos destinada à utilização para modelagem 3D foi disponibilizada em um arquivo em cores RGB no formato *RCS (para sistema Autodesk Revit), conforme a Figura 3.

A contratação do escaneamento objetivava contribuir para a elaboração do *As Built* da edificação e integrar essa tecnologia aos processos de levantamento cadastral do

corpo técnico do estado. Esperava-se minimizar riscos para os profissionais, reduzir erros humanos e criar um registro confiável das condições e do estado de conservação do imóvel. Além disso, o escaneamento apoiaria o projeto de recuperação das fachadas, a documentação dos leiautes internos para futuras alterações, a identificação de mobiliário, equipamentos e acabamentos, e a manutenção do patrimônio histórico.

Figura 3: Nuvem de pontos, base da modelagem do 1º pavimento



Nota: Registro em formato de vídeo da navegação da nuvem de pontos pelo *software* Recap via ambiente comum de dados utilizado para organização do projeto-piloto (ACC). Disponível em: https://youtu.be/ZrVAXGLeUqw. Fonte: [11, p. 114].

No entanto, os integrantes relataram dificuldades na modelagem estrutural de elementos, como escadas e detalhes das fachadas, a partir da nuvem de pontos, principalmente devido à diminuição da definição da nuvem com o aumento da distância do pavimento térreo e à lentidão dos arquivos no *software* de modelagem.

Outras dificuldades foram relatadas na modelagem hidrossanitária. As imagens 360° ajudaram a aferir posições dos equipamentos, mas houve problemas com tubulações escondidas, levando ao uso de documentos 2D antigos e suposições baseadas em ralos e equipamentos. Da mesma forma, na modelagem do mobiliário, surgiram dificuldades na visualização de objetos cobertos na nuvem de pontos, sendo necessário recorrer a projetos 2D da marcenaria do CAFF e realizar visitas para conferência de medidas.

A iniciativa tinha como objetivo capacitar servidores técnicos no uso dos produtos de *laser scanning* e ampliar os conhecimentos em BIM para promover o trabalho remoto e colaborativo, otimizando recursos ao reduzir tempo, deslocamentos repetidos e tamanho das equipes.

A seguir, a fim de avaliar a eficácia dos objetivos relacionados ao processo, apresenta-se o estágio de capacitação dos profissionais envolvidos no projeto-piloto da Estratégia BIMGov-RS.

CAPACITAÇÃO DE SERVIDORES

A capacitação dos servidores iniciou pela seleção de participantes que já tinham conhecimentos acerca do BIM. Para isso, foi aplicada uma pesquisa que identificou que a maioria dos servidores se considerava com domínio básico sobre o tema.

Depois de avaliar o nível de conhecimento dos servidores, verificou-se o interesse deles em participar ativamente do projeto. Antes da formação das equipes de trabalho, os servidores puderam participar de cursos de capacitação em BIM, oferecidos no formato *on-line*, com 16 horas de duração cada um. Os cursos abordaram temas como fluxos de trabalho, conceitos básicos, implementação, democratização, integração e interoperabilidade.

Os servidores selecionados passaram por entrevistas para coleta de informações sobre seus interesses e conhecimentos específicos, facilitando a distribuição dos papéis na equipe. Esses profissionais foram designados pelas secretarias por meio do ofício da Portaria SPGG nº 280/2023 [18]. As equipes foram organizadas por disciplinas (Quadro 1), incluindo: estrutural, instalações (elétrica, hidrossanitárias, PPCI e lógica), arquitetura e mobiliário. Cada grupo de disciplina contou com modeladores e um líder de modelagem. Adicionalmente, um servidor foi designado como coordenador, e a gerência geral do projeto ficou sob responsabilidade da gerente do LaBIM/RS.

Quadro 1: Organograma da equipe de modelagem CAFF

Atribuições	**Servidores distribuídos por disciplina**			
Gerenciamento	Gerente do LaBIM/RS			
Coordenação	Servidor (1)			
Líder de modelagem	Estrutural	Instalações	Arquitetura	Família/Mobiliários
	Servidor (1)	Servidor (1)	Servidor (1)	Servidor (1)
Modeladores	Servidor (1)	Servidor (5)	Servidor (2)	Servidor (3)

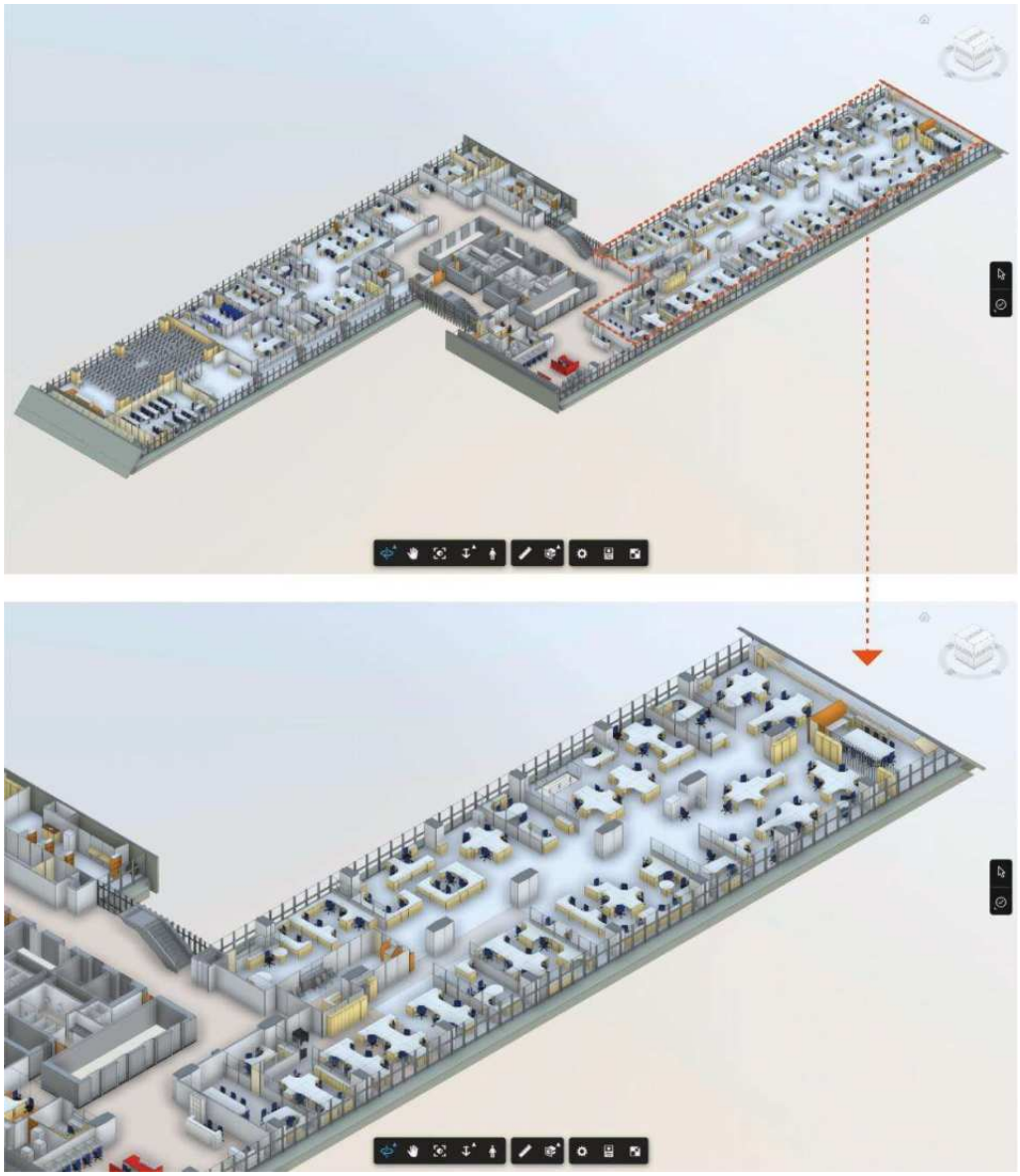
Fonte: Elaborado pela autora com base em [11].

Após essa distribuição, iniciou-se a consultoria, que tinha como objetivo nivelar as equipes para utilização dos *softwares* Autodesk Revit, Recap e Navisworks. A estrutura dos conteúdos abordados foi distribuída em nove etapas, que contemplaram aulas de conhecimentos específicos sobre o manejo da nuvem de pontos, utilização de *softwares* e boas práticas de modelagem.

A consultoria auxiliou na elaboração do Plano de Execução BIM (PEB) para o modelo digital CAFF, exigindo trocas de informações entre os membros do grupo de trabalho do projeto-piloto. Utilizou-se a modelagem do 1º pavimento da edificação (Figura 4), entregue pela empresa conforme o edital de contratação, para validações de nomenclaturas, especificações e fluxos de trabalho.

Ao longo do processo, houve uma notável melhoria e nivelamento dos conhecimentos da equipe sobre as ferramentas utilizadas. Alguns membros, que utilizavam outros *softwares*, levaram mais tempo para se adaptar às novas ferramentas. Durante o período observado nesta investigação no LaBIM/RS, ficou evidente a integração e a colaboração da equipe de modelagem do projeto-piloto CAFF.

Figura 4: Modelagem do 1º pavimento entregue pela empresa contratada



Fonte: [11, p. 116].

Destaca-se que, na equipe selecionada, não foram incluídos servidores responsáveis pela integração dos dados. Portanto, para que a modelagem BIM possa evoluir e ser utilizada para simulação, prevenção e otimização, é necessário integrar e designar profissionais de tecnologia da informação (TI) ou ciências da computação exclusivos para a função. Assim como foi feito para as frequentes alterações de leiaute, foram designados modeladores especificamente para o desenvolvimento dessa atividade.

MODELO BIM - SUAD

A modelagem BIM foi executada com base na nuvem de pontos escaneada, conforme definido pelo termo de referência [13]. Para estabelecer o padrão de nomenclaturas e classificações, foram utilizadas a NBR 15965-2 [19] e a NBR 15965-4 [20].

O nível de desenvolvimento mínimo estabelecido para a modelagem foi ND200 e os requisitos foram definidos pelo termo de referência para concorrência das empresas

[13]. A empresa contratada modelou apenas as estruturas visíveis, pois a nuvem de pontos não permite identificar instalações embutidas nem interruptores, tomadas ou equipamentos ocultos atrás de móveis.

O modelo do 1º pavimento da edificação serviu como base para as demais etapas do projeto-piloto, facilitando a organização das modelagens dos pavimentos superiores (Figura 5) e a extração de *templates* para o desenvolvimento dos modelos de cada disciplina. Alguns deles exigiram mais tempo para ajustes e elaboração, devido à necessidade de parametrização das informações. A primeira versão da modelagem foi entregue em outubro de 2023, após ajustes solicitados pela coordenação do projeto-piloto, e a entrega final da modelagem completa do andar ocorreu em novembro de 2023.

Figura 5: Fluxo modelagem BIM e reforma da SUAD



Fonte: [11, p. 118].

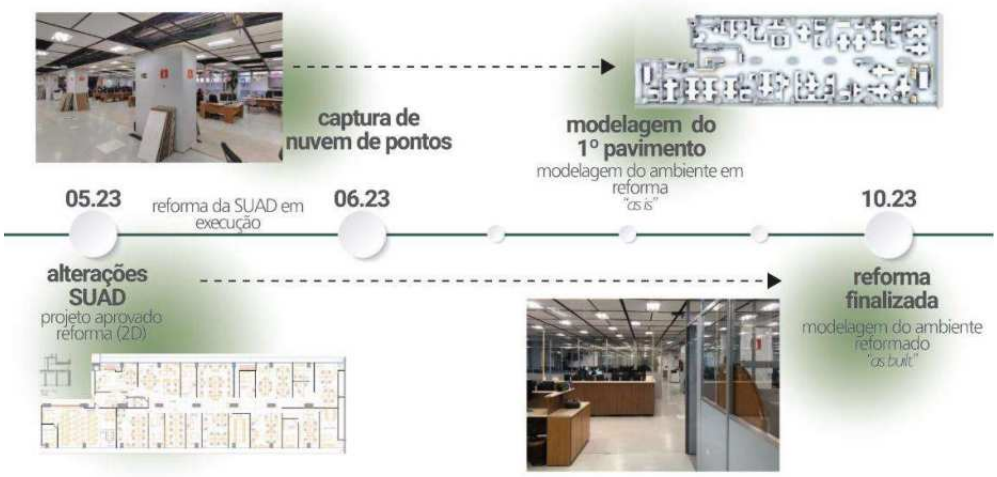
O fluxo de modelagem ocorreu em arquivos separados por disciplinas e modeladores, os quais são integrados pelo gerente de projeto e visualizados em arquivo federado completo. Durante a interação da pesquisa, não houve tempo para identificação dos recursos de interoperabilidade definidos para o modelo nem de que forma ele vai se relacionar com projetos complementares externos.

Para a interoperabilidade dos projetos, utilizou-se o ambiente comum de dados (CDE, do inglês *commom data environment*) Autodesk Construction Cloud (ACC). A plataforma viabilizou uma conexão fluida entre as disciplinas, com possibilidade de controle das documentações e versões, além de fluxos de aprovação customizáveis e controle de não conformidade no projeto.

Durante a modelagem do projeto-piloto CAFF, observou-se que a nuvem de pontos facilitou a captura rápida e segura das informações no local, mantendo um padrão nos dados e permitindo realizar conferências tridimensionais. No entanto, destacou-se o alto esforço manual para modelar o elemento virtual a partir do físico e a necessidade de atualizar manualmente as informações estáticas obtidas pelo escaneamento.

Um exemplo do impacto desse processo manual foi a alteração do leiaute da SUAD durante a execução da pesquisa. O processo de escaneamento a *laser* foi iniciado em maio de 2023 e, naquele mês, também foram aprovadas reformas de leiaute para a secretaria. Após o escaneamento a *laser*, a reforma do setor foi executada e houve alterações no projeto. Quando a modelagem BIM do 1º pavimento foi entregue, em outubro de 2023, ela estava desatualizada em relação à realidade do espaço. Por esse motivo, iniciou-se o ajuste da modelagem BIM como reformado (*As Built*) e foram utilizados os projetos planificados da edificação (projetos 2D) em Autocad. Esse fluxo é ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Fluxo de reforma e modelagem BIM da SUAD



Nota: Fluxo de ocorrências entre a captura da nuvem de pontos e a entrega da modelagem do 1º pavimento desatualizada, reforma finalizada e necessidade de atualização a partir dos projetos bidimensionais. Fonte: Adaptada de [11].

A modelagem do PPCI do projeto-piloto enfrentou dificuldades semelhantes, sendo desenvolvida diferentemente das imagens capturadas, gerando o processo de *As Built*. Mesmo assim, observou-se que a nuvem de pontos facilitou a modelagem ao acelerar a captura de dados no local, garantindo segurança no levantamento, na padronização das informações obtidas e na aferição das medidas tridimensionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo possibilitou apresentar como ocorreu o processo de captura do objeto físico e a criação de sua modelagem virtual, procedimento considerado inicial para implementação da tecnologia GD para a gestão de ativos públicos.

Alguns pontos são relevantes nesse processo. A modelagem virtual visava a levantar as condições atuais da edificação para modelagem BIM. Os sensores utilizados forneceram informações estáticas, adequadas para a modelagem, e foram complementados com registros de projetos antigos. A modelagem resultante, representando o componente virtual da geminação, poderá ser utilizada futuramente para integrar dados de sensores dinâmicos e sistemas IoT.

A equipe selecionada para o desenvolvimento do projeto-piloto não incluía servidores responsáveis pela integração dos dados. Para que o modelo virtual evolua e seja utilizado para simulação, prevenção e otimização, é necessário incluir especialistas em TI ou ciências da computação.

Observou-se que as alterações de leiaute são frequentes e que há uma grande variedade de mobiliário padrão nas reformas de interiores do CAFF. Modeladores específicos foram designados para utilizar informações de nuvens de pontos e registros da marcenaria. No futuro, sensortags poderiam ser usados em peças e mobiliários para facilitar o levantamento patrimonial e o controle de estoque. Além disso, seria possível simular o leiaute e a utilização dos espaços com base em dados de sensores de ocupação ou otimizar o ambiente interno com algoritmos.

Indica-se evoluir esta pesquisa com a perspectiva de diferentes áreas de conhecimento, investigando, por exemplo, de que forma seria possível capturar os dados por meio da nuvem de pontos e integrá-los com atualização automatizada de informações, ou, de que forma um sistema raio X poderia obter informações ocultas sobre instalações e infraestruturas. Indica-se um caminho para futuras pesquisas sobre o processo *scan-to-bim* automatizada com recursos de inteligência artificial, a fim de reduzir as possibilidades de erros e o tempo investido no processo associado à modelagem manual.

Por fim, é importante considerar o desastre climático que atingiu o estado do Rio Grande do Sul em maio de 2024, evidenciando a fragilidade do processo de manutenção de ativos públicos quando baseada em operações reativas. Esse evento demonstrou as consequências de esperar que o sistema falhe para, então, realizar a reparação necessária. No caso de ativos públicos, especialmente àqueles relacionados à segurança da população e à preservação de bens imateriais, é crucial não testar seus limites de degradação.

AGRADECIMENTOS

A pesquisa foi apoiada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes Brasil) com bolsa de mestrado concedida à autora e contou com o apoio do LaBIM/RS para o seu desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

[1] RASHEED, A.; SAN, O.; KVAMSDAL, T. Digital twin: Values, challenges and enablers from a modeling perspective. **IEEE Access**, [*s. l.*], v. 8, p. 21980-22012, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2970143

[2] GARCIA, A. *et al.* Aplicação de gêmeos digitais na indústria da construção: estado da arte. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE BUILDING INFORMATION MODELLING, 4., 2022, Braga. **PTBIM**. Braga: Universidade do Minho, 2022. p. 522-533. v. 1.

[3] OPOKU, D.-G. J. *et al.* Digital twin application in the construction industry: A literature review. **Journal of Building Engineering**, Amsterdam, v. 40, 102726, ago. 2021. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221005842. Acesso em: 28 maio 2024.

[4] BOJE, C. *et al.* Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 114, 103179, jun. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314785. Acesso em: 28 maio 2024.

[5] DELGADO, M. D.; OYEDELE, L. Digital twins for the built environment: Learning from conceptual and process models in manufacturing. **Advanced Engineering Informatics**, Amsterdam, v. 49, 101332, ago. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/352437867_Digital_Twins_for_the_built_environment_learning_from_conceptual_and_process_models_in_manufacturing. Acesso em: 28 maio 2024.

[6] SICCARDI, S.; VILLA, V. Trends in adopting BIM, IoT and DT for facility management: A scientometric analysis and keyword co-occurrence network review. **Buildings**, Basel, v. 13, n. 1, 15, 21 dez. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/13/1/15. Acesso em: 28 maio 2024.

[7] KHAJAVI, S. H. *et al.* Digital twin: Vision, benefits, boundaries, and creation for buildings. **IEEE Access**, [*s. l.*], v. 7, p. 147406-147419, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2946515

[8] SCHÖNFELDER, P. *et al.* Automating the retrospective generation of As-is BIM models using machine learning. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 152, 104937, ago. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580523001978. Acesso em: 28 maio 2024.

[9] EL-DIN, M. N. *et al.* Digital twins for construction assets using BIM standard specifications. **Buildings**, Basel, v. 12, n. 12, 2155, 7 dez. 2022. Disponível em: https://www.mdpi.com/2075-5309/12/12/2155. Acesso em: 28 maio 2024.

[10] DENG, M.; MENASSA, C. C.; KAMAT, V. R. From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. **Journal of Information Technology in Construction**, [*s. l.*], v. 26, p. 58-83, 3 fev. 2021. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.005

[11] DIEHL, N. C. **Processo de criação de gêmeos digitais: estudo de caso CAFF**. 2024. 211 f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

[12] YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. *E-book*.

[13] RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). **Edital de licitação nº 0071/2022**. Termo de referência para contratação dos serviços de levantamento por nuvem de pontos e modelagem BIM do Centro Administrativo Fernando Ferrari – CAFF. Porto Alegre, SPGG, jul. 2022. Disponível em: https://www.compras.rs.gov.br/editais/0071_2022/295403. Acesso em: 28 maio 2024.

[14] DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. *E-book*.

[15] SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. D. P B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013. *E-book*.

[16] CENTRO ADMINISTRATIVO FERNANDO FERRARI (CAFF). [Fotos]. Porto Alegre, [2023?]. Disponível em: https://caff.rs.gov.br/historia/. Acesso em: 28 maio 2024.

[17] GIBBS, G. **Análise de dados qualitativos**. (Métodos de pesquisa; coord. Uwe Flick). Porto Alegre: Artmed, 2009. *E-book.*

[18] RIO GRANDE DO SUL. Secretária de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). **Portaria SPGG nº 280/2023**. Porto Alegre: SPGG, 13 nov. 2023. Disponível em: https://www.diariooficial.rs.gov.br/materia?id=923110. Acesso em: 28 maio 2024.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15965-2**: sistema de classificação da informação da construção. Parte 2: Características dos objetos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

[20] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15965-4**: sistema de classificação da informação da construção. Parte 4: Recursos da construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.