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

Uso de BIM e fotogrametria para o monitoramento visual do progresso de obras de infraestrutura

BIM and photogrammetry for visual progress monitoring in infrastructure projects

Gustavo Henrique Farias Barretto
UFBA | Salvador | Brasil |gustavo.farias@ufba.br
Vanessa Cruz Pacheco
UFBA | Salvador | Brasil | vanessa_cruz_pacheco@hotmail.com
Carolina Andrade de Oliveira
UFBA| Salvador | Brasil | carolina.bam27@gmail.com
Roseneia Rodrigues Santos de Melo
UFBA | Salvador | Brasil | roseneia.engcivil@gmail.com
Vitor Marcelo Senra Nunes Guimarães
EGTC | São Paulo | Brasil | senugui@outlook.com
Dayana Bastos Costa
UFBA | Salvador | Brasil | dayanabcosta@ufba.br

Resumo

O controle e monitoramento do avanço físico das obras são fundamentais para garantir o cumprimento do planejamento da produção e a gestão eficiente dos recursos. Entretanto, as práticas usuais são manuais, com observações individuais e uso de documentação textual, reduzindo a confiabilidade de informações fundamentais para a tomada de decisão dos gestores. Para melhorar esses aspectos, esse estudo explora o uso da modelagem da informação da construção (BIM) e da fotogrametria como sugestão de tecnologias digitais para garantir um monitoramento mais ágil, confiável e transparente do avanço físico de obras de infraestrutura. Para isso, este artigo apresenta um estudo de caso exploratório em uma obra de rodovia e discute as dificuldades e avanços quanto a integração de nuvem de pontos e de um modelo digital 4D para medição do avanço físico. Como resultado, têm-se uma ferramenta de comunicação visual do progresso, que possibilita a identificação precoce de possíveis desvios em relação ao cronograma e traz maior precisão na estimativa de custos por meio de quantitativos extraídos do modelo.

Palavras-chave: Controle de obra. Modelo 4D. Drone. Nuvem de pontos. Obras de infraestrutura.

Como citar:

BARRETTO, G. H.F.; PACHECO, V.C.; OLIVEIRA, C.A.; MELO, R. R.S.; COSTA, D.B.; GUIMARÃES, V. M. S.N. Uso de BIM e fotogrametria para o monitoramento visual do progresso de obras de infraestrutura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

The control and monitoring of the physical progress of construction works are essential to ensure compliance with production planning and efficient resource management. However, conventional practices involve manual methods, individual observations, and textual documentation, reducing the reliability of crucial information for managerial decision-making. To improve these aspects, this study explores the use of building information modeling (BIM) and photogrammetry as suggested digital technologies to ensure more agile, reliable, and transparent monitoring of the physical progress of infrastructure projects. This article presents an exploratory case study of a highway project, discussing the difficulties and advances regarding the integration of point clouds and a 4D digital model for measuring project progress. As a result, a visual communication tool for progress is established, enabling the early identification of potential deviations from the schedule and providing greater accuracy in cost estimation through quantifiable data extracted from the model.

Keywords: Construction control. 4D model. Drone. Point cloud. Infrastructure projects.

INTRODUÇÃO

O monitoramento do progresso da construção é crucial para fornecer uma visão atualizada do estado de avanço do projeto, comparando o progresso realizado com o planejado ao longo do projeto, a fim de controlar seu andamento [1][2], e auxiliar o processo de tomada de decisão dos gestores [3][4]. Entretanto, as práticas usuais de monitoramento de progresso recebem críticas por serem manuais, sujeita a erros e demoradas [5][6].

Assim, visando melhorar tais aspectos, estudos propõem a utilização de tecnologias de dados visuais, de modo a garantir um monitoramento mais ágil, confiável e transparente do avanço físico das obras de habitação residencial [7][8][9][10]. Porém, pesquisas com foco em construções horizontais, no cenário brasileiro, ainda se encontram em estado emergente. Esse cenário requer atenção, visto que o setor rodoviário se trata do modal de maior relevância no país e apresenta um grande impacto na economia Brasileira, com orçamento planejado para 2024 de cerca de 13,71 bilhões de reais [11].

Estudos com o uso de fotogrametria gerada por Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), nuvens de pontos e reconstrução 3D para detecção automatizada de camadas, têm se mostrado um caminho para análise de progresso de obras de infraestrutura [6][12]. Esta abordagem oferece vantagens sobre as técnicas manuais e tradicionais para o controle do avanço físico, pois apresentam precisão centimétrica [13][14][15], permite a geração de informações geométricas precisas em 3D dos canteiros de obras, dinamiza o acompanhamento do avanço da obra pelos gestores e proporciona a produção de imagens para a compreensão do progresso [6].

No cenário internacional, a pesquisa sobre monitoramento de obras de infraestrutura é emergente, com poucos estudos específicos. O estudo realizado por [6] utilizou a fotogrametria para analisar o progresso de obras rodoviárias, gerando um modelo de nuvem de pontos em 3D do canteiro de obras. No entanto, a pesquisa focou apenas na camada de base, sem considerar a camada asfáltica. Os referidos autores enfrentaram dificuldades em comparar os resultados do progresso com os relatórios da empresa, evidenciando a falta de integração da tecnologia com o planejamento e a

imaturidade da empresa na preparação para essa integração. Dentre as lacunas discutidas, destacam a necessidade de reduzir o trabalho manual na coleta e análise de dados em futuros estudos [6].

Dessa forma, observa-se poucos estudos de monitoramento de progresso no âmbito nacional e internacional, e de pesquisas que realizem uma análise do avanço físico através da integração entre nuvem de pontos e de um modelo digital 4D. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar as lições aprendidas quanto a integração de nuvem de pontos e de um modelo digital 4D para monitoramento do progresso em obra rodoviária.

REVISÃO DA LITERATURA

Estudos aplicados evidenciam que o uso de tecnologias fornece informações confiáveis para monitoramento do avanço físico de obras, sendo capaz de dar suporte ao processo de planejamento e controle de construções [7][10]16].

Em vista disso, [7] desenvolve, implementa e avalia um método para monitoramento visual sistemático do progresso de áreas externas, utilizando BIM 4D, mapeamento fotogramétrico 3D com imagens de RPA e indicadores de desempenho. [10] avança no uso de tecnologias para monitorar o progresso de ambientes internos e externos de obras, integrando BIM, dados visuais de RPA e câmera 360º. O estudo [16], por sua vez, avalia os procedimentos de desenvolvimento e a qualidade de um modelo 3D gerado por fotogrametria a partir de imagens capturadas por RPA.

A implementação do método de [7] em dois estudos de caso foi essencial para identificar dificuldades operacionais, como: (a) desenvolvimento de um modelo BIM detalhado para monitoramento visual do progresso; (b) ajuste da estrutura analítica de projeto (EAP) e do planejamento de longo prazo para compatibilidade com BIM 4D; (c) definição de parâmetros de voo para coleta de imagens com RPA e geração de mapeamentos 3D; e (d) testes de sobreposição de nuvens de pontos ao BIM no Navisworks e codificação de cores para comunicação visual do progresso.

Na pesquisa [10], as dificuldades operacionais incluíram: (a) definição das configurações ideais para captura de imagens com câmera 360º; (b) testes com ferramentas para comparar o estado atual da obra com o modelo BIM 4D planejado; (c) ajustes nos modelos 3D e 4D para corrigir níveis de implantação dos edifícios; (d) definição de parâmetros para processamento de fotografias 360º no Metashape. O estudo [16], por outro lado, encontrou dificuldades no desenvolvimento do modelo BIM 3D a partir de nuvem de pontos, como: (a) dependência das condições climáticas; e (b) inconsistências na qualidade do modelo, como oclusões e deformações.

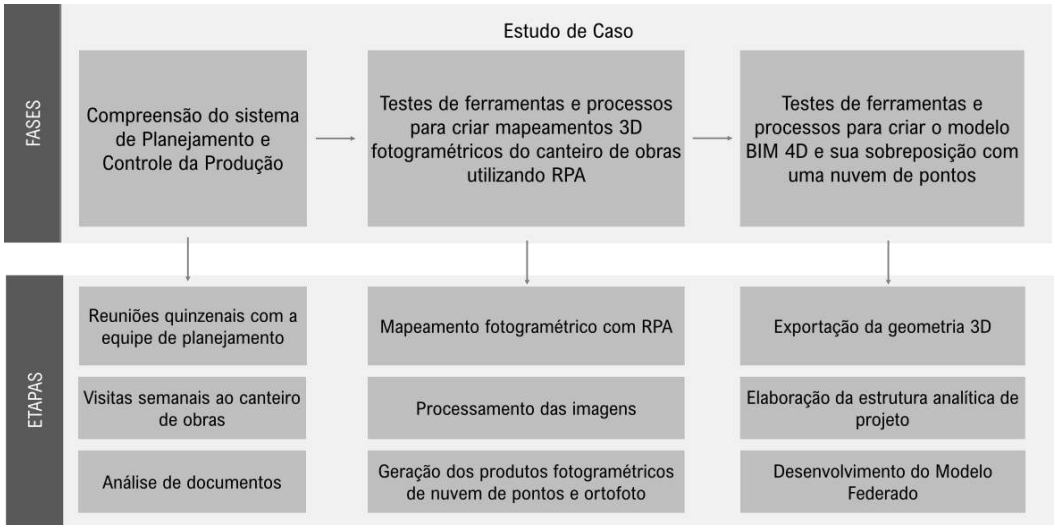
No contexto da infraestrutura, o estudo [6] combina dados de desenhos do AutoCAD e dados de nuvem de pontos para gerar relatórios sobre o progresso de um projeto de estrada, avaliando quantidade, elevação e localização do trabalho concluído. No entanto, o estudo não aborda as dificuldades e avanços no processo de integração dessas tecnologias. Dado o número limitado de estudos sobre monitoramento de progresso em obras de infraestrutura, há uma necessidade de avanços nas discussões

sobre a integração entre nuvem de pontos e modelos digitais 4D. Portanto, identifica-se o potencial do desenvolvimento de pesquisas para obras de infraestrutura visando apresentar as lições aprendidas, como dificuldades e sugestões para estudos futuros.

METODOLOGIA

Esta pesquisa adotou o estudo de caso exploratório como estratégia de pesquisa, visando identificar oportunidades e limitações no monitoramento de obras de infraestrutura com uso de RPA, fotogrametria e BIM 4D. O estudo foi dividido em três fases com base na experiência dos autores e a partir de estudos anteriores [7][10]. A Figura 1 apresenta o delineamento da pesquisa e detalhamento a seguir.

Figura 1: Delineamento da Pesquisa



Fonte: os autores.

CARACTERIZAÇÃO DA OBRA E DO TRECHO ESTUDADO

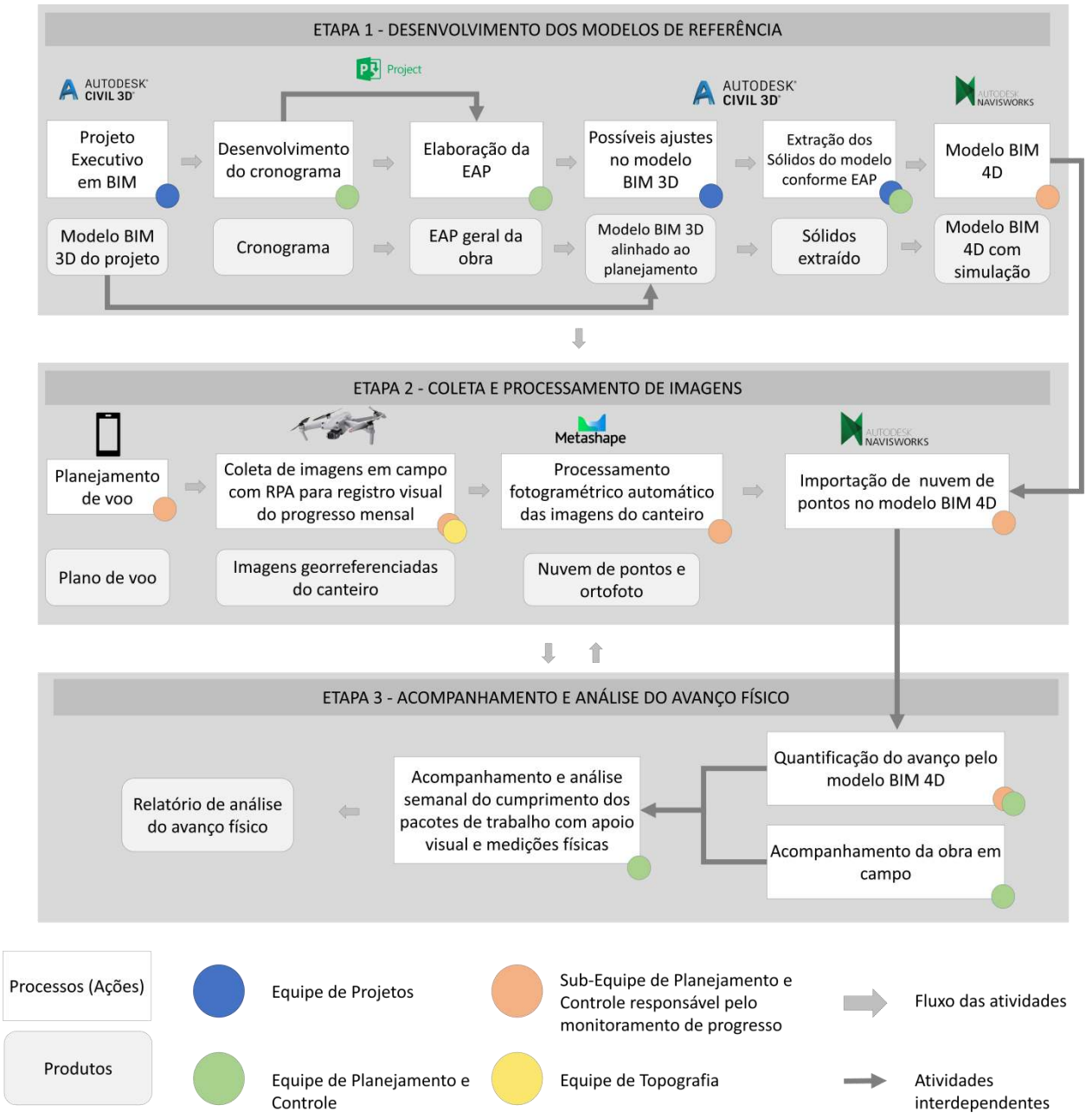
O estudo de caso foi realizado na Construtora A, que opera no mercado brasileiro de construção pesada e montagem eletromecânica desde 2000 e está presente em todo território nacional. O Projeto 1 desenvolvido pela Construtora A trata-se de uma de implantação do sistema viário do novo complexo metrô rodoviário da cidade de Salvador, com 6.646,20 m de extensão.

O estudo ocorreu de agosto a novembro de 2023 e foi realizado no trecho 1 de 180 m de extensão, referente ao viário de acesso à nova rodoviária, composto por uma curva e uma superelevação. A estrutura da pavimentação do trecho 1 era composta por uma camada asfáltica de concreto betuminoso usinado quente (CBUQ) com espessura de 7,5 cm, uma camada de base, composta por brita graduada tratada com concreto (BGTC) do tipo Y, com espessura de 15 cm. Abaixo da base, existe a camada de sub base, composta de brita graduada simples (BGS) com espessura de 20 cm. A camada final era composta por uma camada de regularização, com espessura de cerca de 60 cm.

PROTOCOLO PARA DESENVOLVIMENTO DO MODELO FEDERADO

A Figura 2 apresenta o protocolo utilizado para o desenvolvimento do modelo federado, integrando drone, nuvem de pontos, modelo BIM 3D e cronograma.

Figura 2: Protocolo para desenvolvimento do modelo federado



Fonte: Adaptado de Álvares e Costa [7].

DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS E PROCESSOS UTILIZADOS

A aeronave utilizada para captura das imagens foi um RPA do modelo DJI *Air 2S*. Para operar e controlar a aeronave, foram empregados os aplicativos móveis *DJI Go*, para controle manual, e drone *Harmony Ag*, para voos automatizados. O processamento fotogramétrico dessas imagens foi realizado no *Agisoft Metashape*.

O modelo BIM do projeto executivo foi disponibilizado pela Construtora A, na plataforma *Autodesk Civil 3D 2024*, contendo a modelagem e parametrização dos corredores. A mesma ferramenta foi utilizada para a extração dos sólidos 3D das vias. Para a geração e operação do modelo BIM 4D, foi utilizada a plataforma *Autodesk Naviworks Manage 2024*, no qual houve a integração do cronograma da obra aos modelos 3D extraídos. O cronograma disponibilizado pela Construtora A foi utilizado para a determinação da EAP no *Microsoft Project*, contendo informações acerca do ciclo construtivo da obra em questão.

COMPREENSÃO DO SISTEMA DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DE OBRAS

A primeira fase teve como objetivo permitir que os pesquisadores adquirissem entendimento sobre os principais processos e protocolos utilizados pela construtora do Projeto 1 para o Planejamento e Controle da Produção (PCP). Para isso, foram realizadas quatro reuniões quinzenais com a equipe de planejamento, duas visitas semanais ao canteiro de obras e análise de documentos disponibilizados, totalizando seis horas de coleta de dados.

TESTES DE FERRAMENTAS PARA MAPEAMENTO FOTOGRAMÉTRICO COM DRONE

A segunda fase consistiu na captura do trecho de estudo por meio do uso de RPA, e subsequente processamento fotogramétrico para geração de nuvem de pontos e ortofoto, visando testar as ferramentas e estabelecer os processos envolvidos.

Para o mapeamento, foram realizadas missões com voo automatizado cobrindo uma área de 76.700 m² com 75% de sobreposição lateral, 85% de sobreposição frontal, câmera com 90º de angulação, GSD (*Ground Sample Distance*) médio de 1,92 cm/pixel e 60 m altitude. Para garantir a precisão geográfica das imagens, a equipe de topografia do Projeto 1 marcou de 4 a 7 pontos de apoio, de 50x50cm, ao longo do trecho. Esses pontos auxiliaram no posicionamento e alinhamento das imagens, assegurando a qualidade dos dados coletados. No total, foram realizadas 4 visitas, com coleta média de 382 imagens, com duração média de 36 minutos por voo, sendo utilizado duas baterias.

Após as coletas em campo com drone, as imagens eram processadas com o software *Agisoft Metashape*, e o erro médio após o processamento da nuvem de pontos variou de 0,09 cm a 23,5cm. Para cada visita foram geradas nuvens de pontos e ortofotos.

MODELAGEM 3D E SOBREPOSIÇÃO DE NUVEM DE PONTOS

A terceira fase envolveu os testes para análise do progresso da obra, ao sobrepor um modelo BIM 4D, com os modelos de nuvem de pontos coletados em campo. Para extração dos sólidos foram realizados testes no Dynamo com o intuito de otimizar a extração de sólidos do projeto existente. Para tal, foram utilizadas duas rotinas para a divisão do sólido 3D e exportação para arquivos distintos, respectivamente.

A análise dos dados foi conduzida através de uma abordagem visual, utilizando a sobreposição das nuvens de pontos com o modelo 3D como método principal. O avanço físico até o momento do levantamento fotogramétrico foi examinado com

base na identificação das estacas através do seccionamento dos sólidos 3D, complementado pela apresentação do progresso executivo na nuvem de pontos. Esta abordagem, em conjunto com a simulação da execução do trecho no intervalo de tempo analisado, fornecerá informações sobre a conformidade dos prazos de execução em relação ao cronograma da obra.

RESULTADOS

Esta seção apresenta as rotinas desenvolvidas para monitoramento do progresso com uso de fotogrametria e BIM 4D.

ELABORAÇÃO DA ESTRUTURA ANALÍTICA DE PROJETO

A EAP foi desenvolvida para garantir a fidelidade ao planejamento e cronograma da obra, e utilizada para representar o ciclo executivo do campo, refletindo a estrutura definida no projeto executivo da via. O ciclo construtivo considerou trechos de 20 metros delimitados pelas estacas utilizadas em campo para controle da produção.

EXPORTAÇÃO DOS SÓLIDOS DO MODELO BIM 3D

Para a elaboração do modelo 4D foi necessário realizar a extração dos sólidos 3D a partir do projeto geométrico executivo das vias (Figura 3). A extração dos sólidos visou obter um sólido que incorporasse todas as informações relacionadas à estrutura daquele trecho, incluindo detalhes sobre a tipologia das camadas, suas dimensões e volumetria.

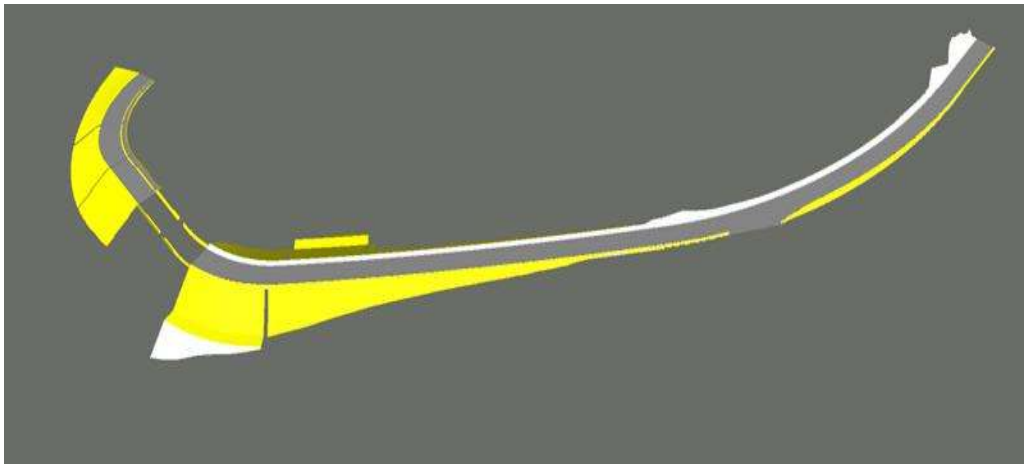
Com a aplicação do *Dynamo*, tornou-se possível otimizar o processo de extração dos sólidos utilizando duas rotinas distintas para (a) divisão e (b) exportação dos sólidos.

A primeira rotina é uma adaptação de uma das rotinas de modelo disponíveis no Civil3D, permitindo a divisão de um sólido extraído de um corredor. A partir da seleção do corredor e das coordenadas ao longo das linhas de delimitação, a divisão é realizada com base no espaçamento definido de acordo com as estacas demarcadas no projeto.

A segunda rotina utiliza um *script* desenvolvido na linguagem de programação *Python* para extrair um objeto existente no modelo para um novo arquivo distinto, preservando todas as características e propriedades do projeto original. Essa rotina requer a seleção manual dos objetos a serem extraídos, o que impede a completa automação da tarefa.

Apesar da necessidade de seleção manual dos sólidos, a aplicação de ambas as rotinas otimiza significativamente o tempo de extração em comparação com o método manual utilizado inicialmente no estudo.

Figura 3: Modelos 3D extraídos do projeto geométrico

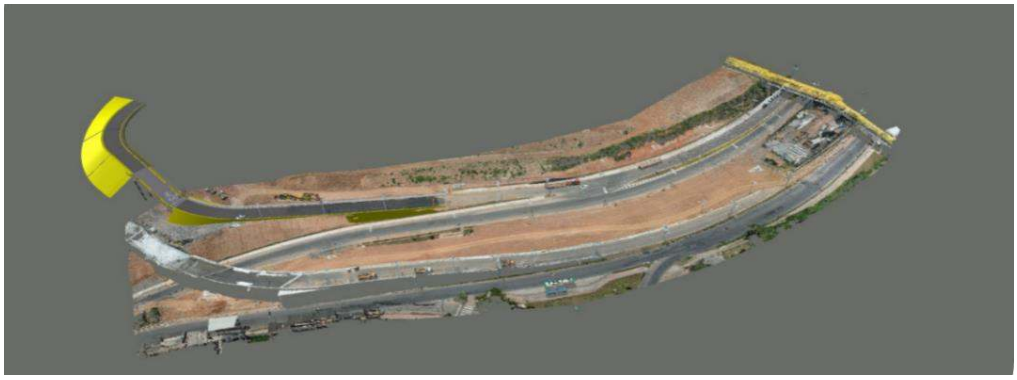


Fonte: os autores.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO FEDERADO

A plataforma *Autodesk Naviworks Manage 2024* foi utilizada para a criação e estruturação do modelo 4D, a partir da junção das nuvens de pontos, sólidos 3D e cronograma. O modelo de nuvem de pontos foi georreferenciado no sistema de coordenadas SIRGAS 2000, assim, os modelos foram sobrepostos com precisão. A Figura 4 apresenta a sobreposição da nuvem de pontos e o modelo BIM 3D.

Figura 4: Sobreposição entre a nuvem de pontos e o modelo 3D



Fonte: os autores.

Para a estruturação da simulação, foi vinculada a EAP executiva aos elementos que serão simulados no modelo, a fim de estabelecer a correspondência entre esses elementos, as tarefas pertinentes e prazo de execução (Figura 5).

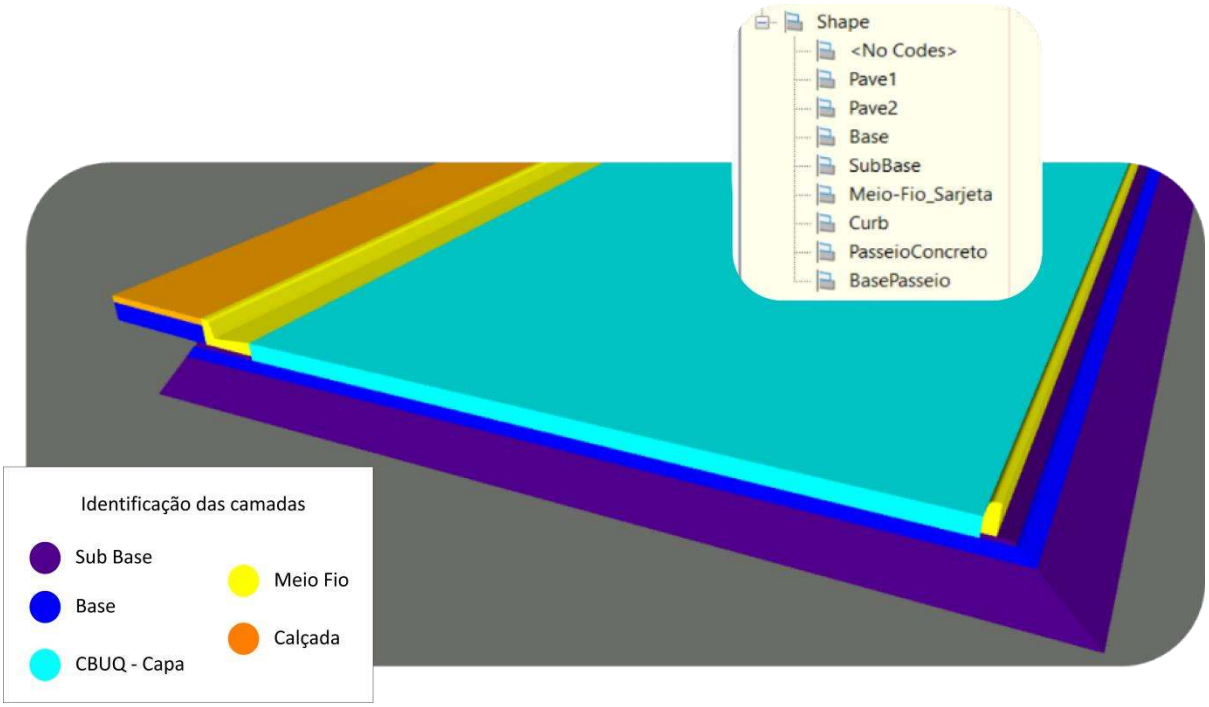
Figura 5: Tarefas do cronograma de simulação do modelo

☑	ESTACA 20		06/09/2023	25/09/2023		
☑	Sub Base		06/09/2023	06/09/2023	Sub Base	Explicit Selection
☑	Base		09/09/2023	09/09/2023	Base	Explicit Selection
☑	CBUQ - Capa		14/09/2023	14/09/2023	CBUQ - Capa	Explicit Selection
☑	Meio fio - LD		16/09/2023	16/09/2023	Meio Fio	Explicit Selection
☑	Meio fio - LE		16/09/2023	16/09/2023	Meio Fio	Explicit Selection
☑	Calçada - LD		25/09/2023	25/09/2023	Calçada	Explicit Selection
☑	Calçada - LE		18/09/2023	18/09/2023	Calçada	

Fonte: os autores.

Foram utilizadas cores distintas para representar cada elemento modelado, com um tipo de tarefa único para cada etapa do serviço (Figura 6).

Figura 6: Hierarquia de cores da simulação 4D



Fonte: os autores.

A quantificação do avanço foi realizada através das ferramentas de medição de distâncias e áreas do Navisworks. A partir da sobreposição da nuvem de pontos com o modelo 3D da rodovia, utilizando a ferramenta de medição de área, manualmente foram distribuídos pontos ao longo das linhas de delimitação dos elementos (Figura 7). Visto que as camadas se sobrepõem, o quantitativo da camada subjacente será definido por associação, possuindo a mesma área da camada mais superior visível.

Figura 7: Extração quantitativa da área da camada de asfalto (CBUQ) a partir da nuvem de pontos



Fonte: os autores.

MEDIÇÃO VISUAL DO PROGRESSO DA OBRA

A seguir são apresentados os resultados do monitoramento do progresso no mês de Setembro (Quadro 1).

Quadro 1: Monitoramento de Progresso (Estaca 20 a 31)

Atividade	Unid.	Avanço real	Avanço previsto	% real/ previsto
Pavimentação	M²	1921,36	1326,55	144,84%
Sub base / base	M²	1921,36	1326,55	144,84%
Meio fio	M	222,92	173,26	128,66%
Calçada	M²	464,26	359,39	129,18%

Fonte: Os autores.

No mês de setembro, como mostrado no Quadro 3, foi verificado que o avanço físico real estava adiantado em relação ao avanço esperado para todas as atividades, visto que era previsto para a pavimentação e a base/sub-base a execução até à estaca 29, porém foi executado até à estaca 31.

LIÇÕES APRENDIDAS

Apesar dos resultados satisfatórios apresentados no estudo de caso exploratório, a integração de nuvem de pontos e de um modelo digital 4D para medição do avanço físico apresenta dificuldades que devem ser cuidadosamente consideradas. Esses elementos são resumidos no Quadro 2.

Quadro 2: Dificuldades e aprendizados

Etapa	Dificuldades	Aprendizados
Modelo BIM	Retrabalho da modelagem Complicações nas extrações dos sólidos	Desenvolvimento de modelo BIM com estrutura de informações bem definida. Modelo BIM de estradas com camadas distintas e com divisão de estacas estabelecidas em campo.
Cronograma e estrutura analítica de projeto (EAP)	Cronograma de obra e EAP com estruturas diferentes entre si EAP com nível de detalhamento incompatível com o necessário	Definição do detalhamento mínimo necessário para a elaboração das EAPs, com inclusão das diferentes camadas a serem executadas nos seus intervalos específicos (por estaca).
Extração dos Sólidos	A extração manual é trabalhosa e demorada	Uso do Dynamo para otimização da extração e exportação de sólidos do corredor.

Etapa	Dificuldades	Aprendizados
Coleta de imagens com drone	Dependência das condições climáticas Autonomia limitada da bateria Grande extensão dos trechos Definição dos parâmetros de voo adequados para a coleta	Acompanhamento meteorológico antes da coleta. Realização de capturas em um ciclo quinzenal. Definição prévia de roteiro de voo com delimitação dos trechos conforme tempo de duração da bateria. Determinação da velocidade e os níveis de sobreposição do drone para garantir a qualidade das imagens.
Processamento fotogramétrico	Erros elevados no processamento Dificuldade de marcação dos pontos de controle devido a problemas de visibilidade	Uso de pontos de controle e verificação. Uso de parâmetros bem definidos para garantir eficácia do planejamento de voo e verificações regulares da qualidade das marcações dos pontos de controle.
Modelo Federado	Criação de interface de representação dos modelos de forma sequencial Identificação das camadas durante a simulação	Emprego de cores para facilitar a identificação das camadas, aumentando a transparência do processo.
Planejamento e acompanhamento da construção	Desvios de cronograma Atualização recorrente da EAP	Comunicação constante com a equipe da obra para obter feedbacks e realizar a retroalimentação do modelo 4D.

Fonte: os autores.

DISCUSSÃO

Em relação aos estudos realizados por [7][10][16], o presente estudo avança ao trazer resultados em uma obra de infraestrutura, expondo as principais dificuldades e aprendizados obtidos durante a execução do estudo de caso exploratório.

Enquanto o estudo de [7] proporcionou uma análise mais abrangente e detalhada do sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP), este estudo focou apenas no acompanhamento mensal do progresso e uso das tecnologias digitais.

Em relação às dificuldades encontradas, este estudo corrobora com [7][10], sobre a necessidade de alinhar a EAP para garantir a compatibilidade com o BIM 4D. A falta de compatibilidade entre o cronograma da obra e a EAP influencia diretamente na integração da tecnologia nas diferentes etapas do processo de acompanhamento do progresso. Enquanto na pesquisa [10], os ajustes nos modelos foram essenciais para corrigir os níveis de implementação dos edifícios, neste estudo específico foi preciso seccionar os sólidos 3D conforme as estacas e fazer a extração dos sólidos gerados para o desenvolvimento do modelo federado. Este foi um processo manual, demorado e trabalhoso. Dessa forma, essa pesquisa avança ao considerar o uso do *Dynamo* para

facilitar a extração dos sólidos, apesar de ainda não ter alcançado a automação completa desta etapa.

Diferentemente do modelo desenvolvido por [16], que apresentou inconsistências como oclusões e deformações, os erros encontrados após o processamento fotogramétrico neste estudo foram relacionados à localização espacial dos pontos. No entanto, esses erros foram resolvidos após a inclusão dos pontos de controle e verificação, garantindo a precisão e a confiabilidade da nuvem de pontos gerada. Assim como pontuado por [16], a utilização de RPA para a captura de imagens apresentou desafios para o estudo, exigindo a realização de dois voos para cobrir a extensão do trecho analisado, devido às limitações da autonomia da bateria.

Ao comparar o presente estudo com o [6], o trabalho mais completo na área de infraestrutura, observa-se que a pesquisa [6] avança ao propor um método que inclui a validação dos dados fotogramétricos por meio da comparação entre os dados do projeto e os dados coletados em campo. No entanto, enquanto a pesquisa [6] utilizou projetos 2D em AutoCAD, este estudo avança ao realizar a sobreposição da nuvem de pontos com um modelo BIM 3D. De modo geral, ambos os estudos comprovam que o uso de fotogrametria gerada por RPA, nuvens de pontos e reconstrução 3D oferece vantagens sobre as técnicas manuais e tradicionais, dinamizando o acompanhamento do avanço da obra pelos gestores.

CONCLUSÃO

Este artigo descreve a implementação de um estudo de caso exploratório em uma obra rodoviária para o monitoramento visual do progresso de obra, através da associação de nuvem de pontos e de um modelo digital BIM 4D. A principal contribuição desta pesquisa é o levantamento das dificuldades e oportunidades na integração de tecnologias digitais para a medição de avanço físico. Além da proposição de recomendações para o desenvolvimento das etapas de modelagem do projeto geométrico, geração da nuvem de pontos de rodovias para progresso de obra e desenvolvimento do modelo BIM 4D. As conclusões sugerem que a associação de tecnologias possibilita um fluxo de informações eficaz e transparente, melhorando o monitoramento da produção e facilitando a identificação de falhas de planejamento e desvios de andamento. No entanto, foram identificadas limitações no estudo, como a necessidade de automatizar o fluxo de extração dos sólidos e da quantificação do avanço por meio de técnicas de Inteligência Artificial.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas e à EGTC Infra pelo suporte financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

[1] NAVON, R.; SHPATNITSKY, Y. A model for automated monitoring of road construction. **Construction Management and Economics**, v. 23, n. 9, p. 941-951, 2005.

[2] PATEL, T.; BAPAT, H.; PATEL, D.; VAN DER WALT, J. D. Identification of critical success factors (CSFs) of BIM software selection: A combined approach of FCM and fuzzy DEMATEL. **Buildings**, v. 11, n. 7, p. 311, 2021.

[3] TEIZER, J. Status quo and open challenges in vision-based sensing and tracking of temporary resources on infrastructure construction sites. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 2, p. 225-238, 2015.

[4] SALEHI, S. A.; YITMEN, I. Modeling and analysis of the impact of BIM-based field data capturing technologies on automated construction progress monitoring. **International Journal of Civil Engineering**, v. 16, n. 22, p. 1669-1685, 2018.

[5] GOLPARVAR-FARD, M.; BOHN, J.; TEIZER, J.; SAVARESE, S., PEÑA-MORA, F. Evaluation of image-based modeling and laser scanning accuracy for emerging automated performance monitoring techniques. **Automation in Construction**, v. 20, n. 8, p. 1143-1155, 2011.

[6] LO, Y., ZHANG, C., YE, Z.; CUI, C. Monitoring Road base course construction progress by photogrammetry-based 3D reconstruction. **International Journal of Construction Management**, v. 23, n. 12, p. 2087-2101, 2023.

[7] ÁLVARES, J. S. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamento 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4D**. 2019. 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) —Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

[8] KIELHAUSER, C.; RENTERIA MANZANO, R.; HOFFMAN, J.; ADEY, B. Automated construction progress and quality monitoring for commercial buildings with unmanned aerial systems: An application study from Switzerland. **Infrastructures**, v. 5, n. 11, p. 98, 2020.

[9] JACOB-LOYOLA, N.; MUÑOZ-LA RIVERA, F.; HERRERA, R. F.; ATENCIO, E. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for physical progress monitoring of construction. **Sensors**, v. 21, n. 12, p. 4227, 2021.

[10] BARBOSA, A. **Método para monitoramento do progresso e terminalidade de atividades internas e externas de obras utilizando BIM, RPA e câmera 360º**. 2022. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) —Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

[11] CNT- Confederação Nacional do Transporte. **Série Especial de Economia – Investimentos em Transporte -2024.** Disponível em: http://cnt.org.br/documento/5a2dcd55-efd3-4179-a362-c85f4d4672d3/. Acesso em: 20 abril 2024.

[12] VICK, S.; BRILAKIS, I. Road design layer detection in point cloud data for construction progress monitoring. **Journal of computing in civil engineering**, v. 32, n. 5, p. 04018029, 2018.

[13] SIEBERT, S.; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in construction**, v. 41, p. 1-14, 2014.

[14] JULGE, K.; ELLMANN, A.; KÖÖK, R. Unmanned aerial vehicle surveying for monitoring road construction earthworks. **The baltic journal of road and bridge engineering**, v. 14, n. 1, p. 1-17, 2019.

[15] BIÇICI, S.; ZEYBEK, M. An approach for the automated extraction of road surface distress from a UAV-derived point cloud. **Automation in Construction**, v. 122, p. 103475, 2021.

[16] COSTA, R. P.; FERNANDES, L. L. de A.; MUTA, L. F.; ISATTO, L. E.; COSTA, D. B. Modelagem 3D de edificação gerada por fotogrametria com uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT). **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e131377, jan./dez. 2024.