GESTÃO DE FORMAS METÁLICAS PARA PAREDES DE CONCRETO UTILIZANDO A PLATAFORMA SMART TWINS 5.0

Management of metallic formwork for concrete walls using the Smart Twins 5.0 platform

Caroline Silva Araújo
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | araujo.caroline92@gmail.com

Matheus Breno Aragão Rafael Santos
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | matheusrafael@ufba.br

Gustavo Henrique Farias Barretto
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | eng.gusfb@gmail.com

Dayana Bastos Costa
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | dayanabcosta@ufba.br

RESUMO

A construção com paredes de concreto moldadas in loco utilizando formas metálicas vem ganhando espaço na construção civil devido à sua eficiência e rapidez de execução. Contudo, o rastreamento e eliminação de defeitos nessas formas e respectivas paredes ainda representam desafios. Este artigo apresenta os resultados da aplicação da plataforma Smart Twins 5.0, baseada nos conceitos de Gêmeos Digitais, BIM e Internet das Coisas (IoT), que tem como objetivo rastrear e gerenciar formas metálicas utilizadas nesse sistema construtivo. O objetivo deste estudo foi utilizar a plataforma para identificar e monitorar defeitos, além de fornecer uma interface de visualização para acompanhamento remoto. O trabalho faz parte de um estudo mais amplo, no qual a metodologia adotada foi a Design Science Research (DSR). Através da aplicação de tags de Identificação por Radiofrequência (RFID), o estudo integrou IoT às formas metálicas para captar dados em tempo hábil, transmitidos para a plataforma Smart Twins 5.0. Os resultados mostraram uma contribuição significativa no rastreamento de defeitos e no processo de inspeção. A plataforma baseada em Gêmeos Digitais permitiu visualizar dados relevantes por meio de um ambiente digital conectado ao ambiente físico, viabilizando o acompanhamento em tempo hábil e contribuindo para tomadas de decisão na obra.

Palavras-chave: Paredes de Concreto; Gêmeos Digitais; BIM; IoT; Controle do Canteiro de Obras.

ABSTRACT

Construction using cast-in-place concrete walls with metallic formworks has been gaining ground in the civil construction sector due to its efficiency and speed of execution. However, tracking and eliminating defects in these formworks and respective walls remains a significant challenge. This paper presents the results of applying the Smart Twins 5.0 platform, based on the concepts of Digital Twins, BIM, and the Internet of Things (IoT), which aims to track and manage metallic formworks used in this construction system. The main objective of this study was to use the platform to identify and monitor defects and provide a visualization interface for remote monitoring. The research is part of a broader study employing the Design Science Research (DSR) methodology. By applying Radio Frequency Identification (RFID) tags, the study integrated IoT into the metallic formworks to capture timely data and transmit it to the Smart Twins 5.0 platform. The results highlight a significant contribution to defect tracking and the inspection process. The Digital Twins-based platform allowed the visualization of relevant data within a digital environment connected to the physical environment, enabling timely monitoring supporting decision-making on the construction site.

Keywords: Concrete Walls; Digital Twins; BIM; IoT; Construction Site Management and Control.

1 INTRODUÇÃO

Os avanços da construção civil têm promovido a adoção de novos sistemas construtivos que visam maior eficiência, produtividade e qualidade nas obras. A utilização de paredes de concreto moldadas *in loco* com formas metálicas (ABNT NBR 16055, 2022) tem se destacado, principalmente por sua rapidez de execução e potencial redução de desperdícios. No entanto, apesar das vantagens, esse sistema ainda enfrenta desafios relacionados ao controle de qualidade, que é um dos aspectos mais vitais de um projeto de construção (Chen e Luo 2014; Ma *et al.*, 2018; Tang *et al*., 2019).

Os principais problemas práticos atuais estão relacionados à dificuldade em controlar a integridade, o ciclo de vida e a logística de cada forma, bem como à ocorrência de variabilidade e não conformidade superficial nas paredes, que geram retrabalho e atrasos (Silveira, 2018; Araújo, Ferreira; Costa, 2024). O rastreamento e a eliminação de defeitos nas formas e respectivas paredes ainda representam um significativo desafio.

No rastreamento tradicionalmente adotado pelas empresas, os dados são coletados por meio de métodos manuais, baseados em papel ou com baixo nível de integração, o que geralmente resulta em baixa confiabilidade e elevado consumo de tempo e esforço humano (Akanmu; Anunma; Messner, 2012; Demiralp; Guven; Ergen, 2012; Oliveira; Serra, 2017), facilitando a propagação dos erros. Tecnologias desenvolvidas nos últimos anos apoiam a substituição dos métodos convencionais (Oliveira; Serra, 2017), como os Gêmeos Digitais e a Internet das Coisas (IoT), que juntamente com a Modelagem da Informação da Construção (BIM) têm potencial para aprimorar o monitoramento e a gestão dos elementos construtivos (Sacks et al. 2020). Os Gêmeos Digitais replicam digitalmente o comportamento de ativos físicos com base em dados adquiridos (Lu *et al*., 2020), por meio da integração entre os mundos físico e digital (Grieves, 2014). No entanto, existem lacunas na implementação prática dessas soluções (Akanmu et al., 2015; Tang *et al*., 2019).

Neste cenário, a plataforma Smart Twins 5.0 foi desenvolvida por Araújo, Ferreira e Costa (2024) como uma solução prática para rastrear e gerenciar formas metálicas utilizadas na construção com paredes de concreto moldadas *in loco*. Ao incorporar dispositivos de Identificação por Radiofrequência (RFID) às tecnologias anteriormente mencionadas, a plataforma permite coletar dados em tempo hábil para a tomada de decisão, viabilizando o acompanhamento remoto via aplicação Web, inclusive acompanhando o progresso da obra.

O objetivo desse estudo foi utilizar a plataforma Smart Twins 5.0 para identificar e monitorar defeitos, além de fornecer uma interface de visualização para acompanhamento das informações remoto pelos gestores. Esse estudo apresenta e discute os resultados de um estudo piloto com a aplicação da plataforma em um canteiro de obras real.

2 METODOLOGIA

A *Design Science Research (DSR)* é uma metodologia de pesquisa que orienta a criação e avaliação de artefatos artificiais com o objetivo de resolver problemas práticos e melhorar sistemas existentes (Dresch; Lacerda; Antunes, 2015).

Uma das maneiras de operacionalizar a DSR é adotar um processo cíclico composto por cinco fases: (a) Conscientização, onde o problema é identificado; (b) Sugestão, em que soluções potenciais são propostas; (c) Desenvolvimento, com a construção do artefato; (d) Avaliação, que testa a eficácia da solução; e (e) Conclusão, com reflexões e lições aprendidas (Takeda et al., 1990; Lacerda et al., 2013). Este ciclo permite a evolução da pesquisa, promovendo ajustes contínuos até a obtenção de uma solução satisfatória ao problema estudado (Hevner *et al.*, 2004).

Este estudo corresponde à fase de Conscientização de uma pesquisa mais ampla que adotou a DSR. Esta fase contemplou as etapas de revisão da literatura acerca dos temas e conceitos relacionados, como Digital Twins, IoT, BIM e Indústria 4.0, e visitas iniciais às obras para compreensão do contexto e dos problemas a serem abordados, resultando na proposta inicial de estudo nas formas utilizando a plataforma Smart Twins 5.0. Durante as visitas programadas, foi inicialmente feito um levantamento sem a plataforma para determinar a qualidade das paredes geradas em ciclos imediatamente anteriores de produção, para fins de comparação. O Quadro 1 especifica os itens utilizados durante a etapa de inspeção das formas com a plataforma.

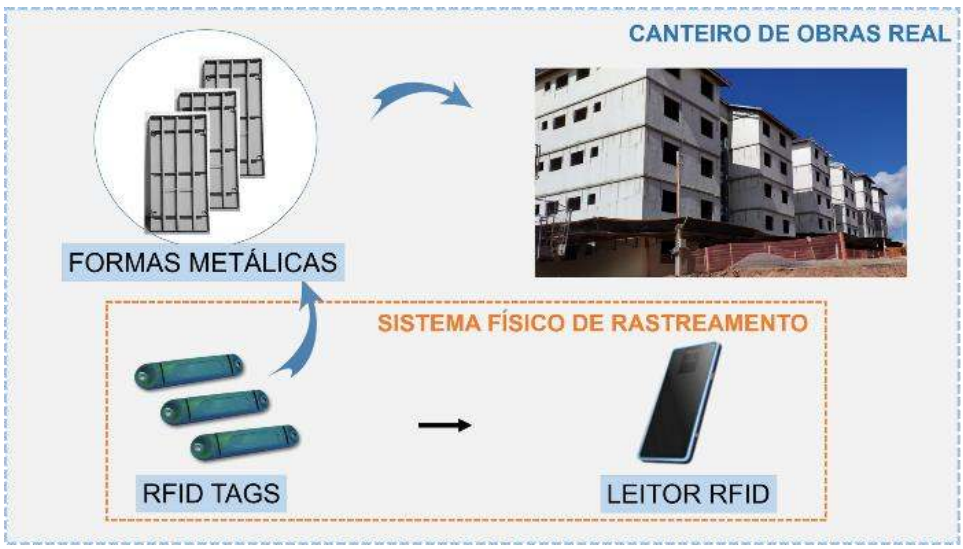
Quadro 1: Materiais Utilizados.

ITEM	ESPECIFICAÇÃO
Aplicativo	Smart Twins 5.0
Dispositivo Móvel	Celular Android
Banco de Dados em Nuvem	Firebase Google
Tags UHF RFID	Ironside Slim manufactured by Confidex
Leitor UHF RFID	TSL 1128 by Technology Solutions

Fonte: Autores.

Para a coleta dos dados de status das formas e rastreamento dos problemas foi utilizado um sistema UHF RFID, de acordo com as recomendações de Xue *et al.* (2018). Este sistema consiste em um leitor UHF e etiquetas UHF passivas que sejam apropriadas para superfícies metálicas das formas. As etiquetas UHF e leitor UHF utilizados foram escolhidos com base em critérios como (a) comunicação Bluetooth; (b) fornecimento de SDK; (c) suporte para o sistema operacional Android; e (d) memória para as tags. Outros fatores como custo-benefício e resistência também foram considerados. O Leitor escolhido foi o modelo I300 UHF vendido pela Inovacode. Para as etiquetas UHF foi escolhida a tag UHF Ironside Slim que também é comercializada pela mesma empresa. A tag foi desenvolvida para ter alto desempenho em superfície metálica, mas também pode ser utilizada em superfícies não metálicas. A fixação pode ser feita por meio de adesivo ou mecanicamente (Araújo, Ferreira; Costa, 2024). O sistema é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Esquema de uso do Smart Twins 5.0.

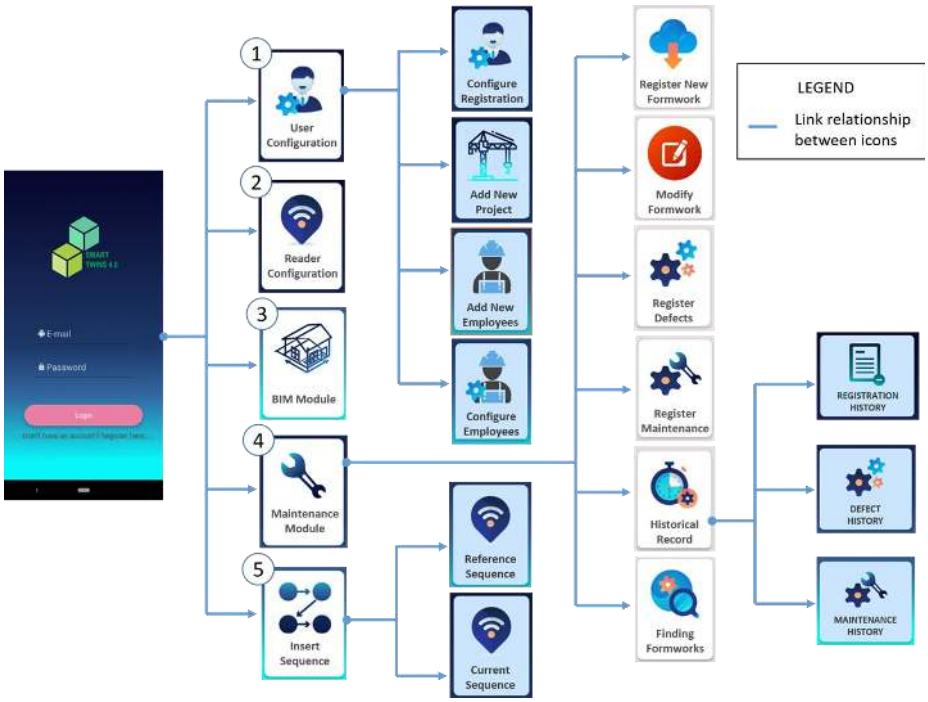


Fonte: Autores.

2.1 APLICATIVO SMART TWINS 5.0

A Figura 2 apresenta a estrutura do aplicativo Smart Twins 5.0. No escopo deste artigo, foi utilizado o módulo de manutenção do aplicativo, expresso na Figura 2 pelo número 4. Este módulo compreende as seguintes funções: registro de formas, modificação de formas registradas, registro de defeitos, registro de manutenção, e busca de forma em campo e histórico. Essa última, por sua vez, compreende os submódulos: histórico de registros, histórico de defeitos e histórico de manutenção. Posteriormente, esses dados ficam disponíveis ao gestor, tanto de maneira visual - com o Gêmeo Digital, via aplicação de IoT e BIM - quanto de maneira quantitativa, em formato de gráficos disponíveis no próprio aplicativo.

Figura 2: Aplicativo Smart Twins 5.0.



Fonte: Adaptado de Araújo, Ferreira; Costa (2024).

Para a correta utilização do aplicativo, primeiro o operador deverá registrar a forma metálica por meio do leitor UHF, que se comunica via RFID com a tag. O leitor se conecta ao dispositivo móvel via Bluetooth. Após isso, é necessário tirar uma foto da forma e fazer o registro de informações características como dimensões e peso. Após registrado, o operador pode usar o aplicativo para registrar quaisquer defeitos nas formas que possam afetar a qualidade da obra, ficando todos os defeitos disponíveis no histórico do aplicativo. A identificação dos defeitos é feita durante ou logo após a instalação das formas, antes da concretagem.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS

A coleta de dados foi realizada em um empreendimento residencial do programa governamental Minha Casa, Minha Vida, ilustrado na Figura 3. A obra localiza-se na região metropolitana de Salvador (BA) e abrange uma área total de 21.856,63 m², sendo 19.618,78 m² de área construída. O projeto envolve a construção de 20 edifícios, cada um com cinco pavimentos e quatro apartamentos por andar, totalizando 400 unidades habitacionais. O sistema construtivo utiliza conjuntos de formas metálicas para a execução de paredes de concreto moldadas in loco. Apenas um conjunto foi utilizado nesse canteiro de obras. Cada conjunto corresponde a meio pavimento e é composto por dois subconjuntos internos. O conjunto disponível no canteiro de obras contém cerca de 500 painéis, sendo que cerca de 260 deles são destinados exclusivamente às paredes, incluindo partes internas e externas - os demais painéis são utilizados para lajes e escadas, por exemplo. Este estudo é focado nas paredes internas. Cada painel é formado por componentes denominados de espelho (parte interna), costelas e abas laterais. Dos 260 painéis destinados às paredes, 214 internos receberam tags. Devido à dinâmica da obra, 151 puderam ser inspecionados neste estudo.

Figura 3: Canteiro de Obras.



Fonte: Autores.

3 RESULTADOS

Após a etapa de tratamento interno das paredes na obra, que visa corrigir imperfeições após a desforma, decorrentes de problemas nas formas, foi conduzido um estudo de campo no qual os pesquisadores identificaram e marcaram com giz os defeitos classificados como “barrigas”, ondulações pontuais e amassados superficiais, localizados nas paredes de um cômodo do Edifício 18. Observou-se que alguns defeitos apresentavam maior relevância, enquanto outros eram mais discretos. As marcações realizadas estão ilustradas na Figura 4.

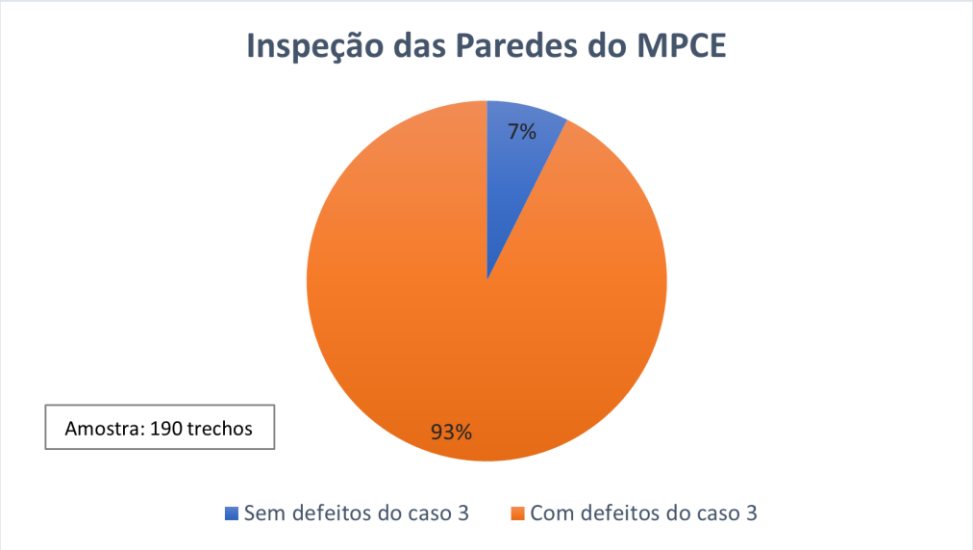
Figura 4: Estudo com marcação em giz de barrigas, ondulações pontuais/amassados superficiais em uma parede.



Fonte: Autores.

No total, foi possível inspecionar 373 trechos de parede, sendo que 190 são correspondentes ao Meio Pavimento com Escada (MPCE) e 183 ao Meio Pavimento sem Escada (MPSE). Cada trecho equivale à região onde estava cada um dos respectivos painéis do conjunto de formas, conforme apresentado na Figura 4. O estudo possibilitou a obtenção de dados quantitativos, que foram resumidos em gráficos. Conforme indicado na Figura 5, 93% dos trechos no MPCE apresentavam “barrigas”, ondulações pontuais e amassados superficiais, mesmo após o tratamento interno.

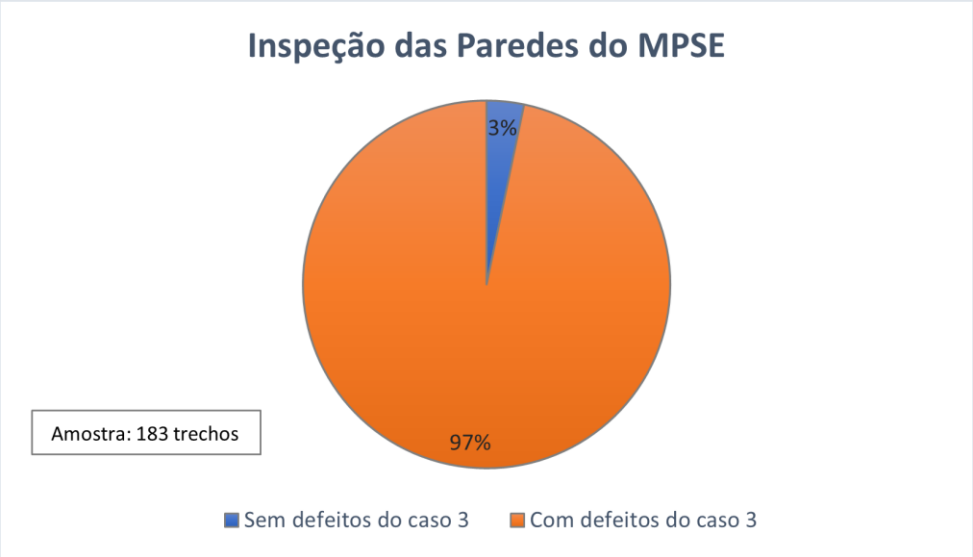
Figura 5: Percentual de paredes com ou sem defeitos na inspeção realizada no MPCE.



Fonte: Autores.

Conforme indicado na Figura 6, 97% dos trechos no MPSE apresentavam barrigas, ondulações pontuais e amassados superficiais, mesmo após o tratamento interno. Ressalta-se que é utilizado o mesmo jogo de formas do MPCE. Após a comparação dos dados, os resultados sugerem que, conforme o que foi percebido em campo, defeitos identificados nas paredes estão relacionados aos defeitos nas respectivas formas.

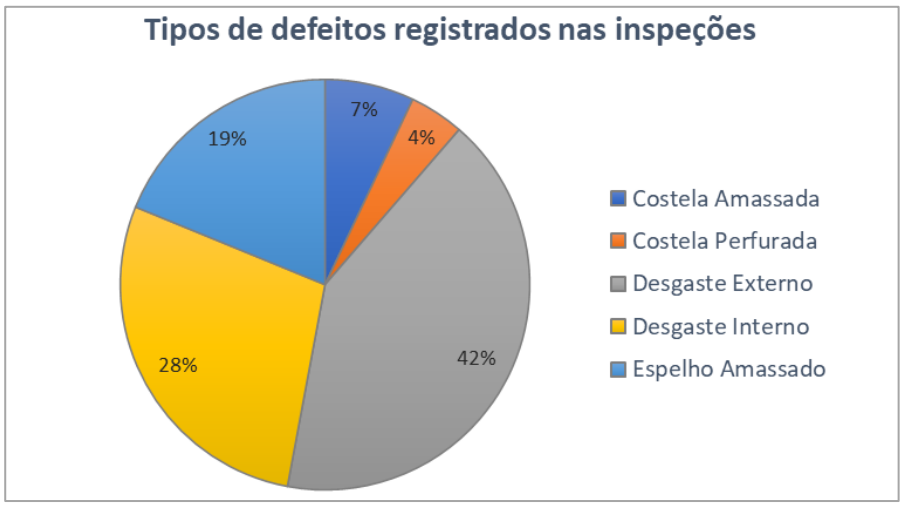
Figura 6: Percentual de paredes com ou sem defeitos na inspeção realizada no MPSE.



Fonte: Autores.

No período referente a este estudo foi possível inspecionar 151 painéis de forma metálica com a plataforma Smart Twins 5.0, dentre as 214 que receberam tags. Especificamente, defeitos externos foram inspecionados em 106 painéis e defeitos internos foram inspecionados em 73 painéis. Cabe ressaltar que um mesmo painel pode apresentar mais de um tipo de defeito, seja interno ou externo. A limitação da amostra inspecionada ocorreu devido à dinâmica do canteiro de obras no momento da coleta de dados, uma vez que algumas formas estavam sendo transportadas ou instaladas pelos trabalhadores, o que impossibilitou a leitura sem interromper a operação. Posteriormente, foram sugeridas diretrizes práticas para aprimorar essa coleta. O tipo de defeito mais recorrente foi o desgaste externo (42%), seguido do desgaste interno (28%). O espelho amassado também foi um tipo de defeito relevante (19%). A Figura 7 apresenta um gráfico com os defeitos registrados no aplicativo.

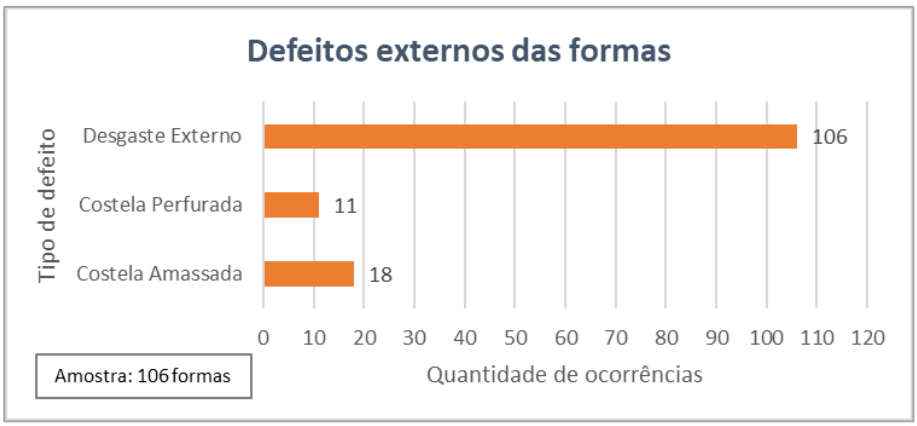
Figura 7: Percentuais da ocorrência de cada tipo de defeito nos painéis inspecionados.



Fonte: Autores.

Durante as inspeções, foram investigados defeitos externos em 106 painéis. Ao todo, registraram-se 135 defeitos, considerando que um mesmo painel pode apresentar mais de um tipo. Todos os painéis inspecionados apresentaram, no mínimo, sinais de desgaste externo, conforme resultados na Figura 8.

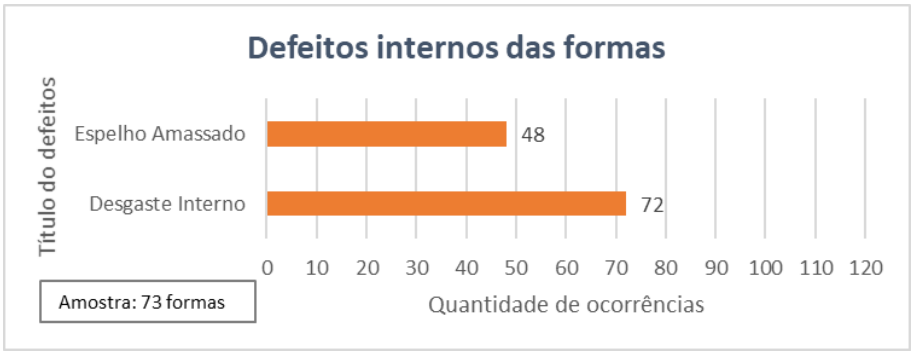
Figura 8: Quantidade de ocorrências de cada tipo de defeito externo nos painéis inspecionados.



Fonte: Autores.

Nas mesmas inspeções, foram investigados defeitos internos em 73 painéis. No total, foram registrados 120 defeitos, considerando que um mesmo painel poderia apresentar mais de um tipo de problema. Os defeitos internos são considerados mais críticos, pois têm maior potencial de causar danos às paredes. Apenas um painel não apresentou desgaste interno visível. Os resultados estão apresentados na Figura 9.

Figura 9: Quantidade de ocorrências de cada tipo de defeito interno nos painéis.



Fonte: Autores.

Os dados coletados com a plataforma são registrados no banco de dados e ficam disponíveis no aplicativo, conforme o exemplo indicado na Figura 10, facilitando sua visualização e posteriores análises. Além disso, os resultados também são exibidos dentro do contexto de um modelo BIM na Web equivalente ao edifício. A tela (a) indica a lista com os possíveis defeitos a serem inspecionados, definidos com base em entrevistas e análises de documentos na obra. A tela (b) indica um exemplo de defeito registrado, com sua respectiva imagem. A tela (c) apresenta gráficos gerados no aplicativo a partir dos dados coletados. A tela (d) exibe o modelo BIM na Web, que permite identificar qual painel foi utilizado em cada trecho de parede com base nos dados obtidos em campo. Isso é possível devido à integração automática no banco de dados entre o ID da tag do elemento físico e o ID do elemento virtual no BIM. A integração auxilia na correlação entre os defeitos nas formas e os defeitos nas paredes geradas. Além disso, o modelo utiliza um código de cores, destacando automaticamente em vermelho os trechos nos quais foram registrados defeitos nas formas.

Figura 10: Telas do aplicativo: (a) defeitos listados para inspeção, (b) exemplo de registro de um defeito e (c) exemplo de gráfico gerado pelo aplicativo, (d) visualização dos resultados no ambiente BIM na Web.



Fonte: Autores.

4 DISCUSSÃO

Durante os estudos comprovou-se a eficiência do método de rastreamento utilizando as tags e os leitores UHF RFID para gestão dos defeitos durante a obra. Com o método, rastreamentos de defeitos que antes eram realizados manualmente passam a ser automatizados, ainda que parcialmente, contribuindo para a melhoria do processo de gerenciamento das formas. As informações tornam-se acessíveis de maneira simples e eficiente por meio de um aplicativo de celular, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para reduzir danos às formas e, consequentemente, às paredes - o que exigiria retrabalho, aumentando os custos da empresa e o tempo de execução nas atividades operacionais. Também foi possível concluir, a partir da análise dos resultados, que os defeitos nas formas metálicas têm uma ligação direta com os problemas encontrados nas paredes. Os resultados mostraram uma contribuição significativa no rastreamento de defeitos e no processo de inspeção.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi utilizada a plataforma Smart Twins 5.0 para identificar e monitorar defeitos nas formas metálicas, além de fornecer uma interface de visualização para acompanhamento remoto das informações geradas. O estudo integrou IoT às formas metálicas para captar dados em tempo hábil, que são transmitidos para a plataforma. Os resultados mostraram uma contribuição significativa no rastreamento de defeitos e no processo de inspeção. A plataforma baseada em Gêmeos Digitais permitiu visualizar dados relevantes por meio de um ambiente digital conectado ao ambiente físico, contribuindo para tomadas de decisão na obra. Para aumentar a efetividade da redução de defeitos, é importante que as empresas implementem uma rotina de inspeção das formas com o aplicativo e de manutenção preventiva, como por exemplo, a limpeza diária do concreto nos espelhos.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro que possibilitou esse estudo: Processo 402380/2021-5 (Edital CNPq Universal 2021) e Processo 403510/2020-1 (Edital CNPq MAI e DAI 2020).

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16055**: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AKANMU, A. A.; ANUMBA, C. J.; MESSNER, J. I. An RTLS-based approach to cyber-physical systems integration in design and construction. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 8, n. 12, 2012. doi: https://doi.org/10.1155/2012/596845

AKANMU, A. et al. Auto-generated site layout: an integrated approach to real-time sensing of temporary facilities in infrastructure projects**. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance**, v. 12, n. 10, p. 1243-1255, 2015. doi: https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1110601

ARAÚJO, C. S.; FERREIRA, E. A. M.; COSTA, D. B. System for tracking and managing metallic formworks adopted in cast-in-place concrete wall systems by integrating IoT and BIM. **Construction Innovation**, 2024.

CHEN, L.; LUO, H. A BIM-based construction quality management model and its applications. **Automation in Constructio**n, v. 46, p. 64-73, 2014. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.009

DEMIRALP, G.; GUVEN, G.; ERGEN, E. Analyzing the Benefits of RFID Technology for Cost Sharing in Construction Supply Chains: a case study on prefabricated precast components. **Automation in Construction**, v. 7, n. 24, p. 120-129, 2012. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.005

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; ANTUNES JR., J.A.V. **Design Science Research**: A Method for Science and Technology Advancement. Switzerland: Springer, 2015.

GRIEVES, M. **Digital twin**: manufacturing excellence through virtual factory replication. White paper, v. 1, p. 1-7, 2014.

HEVNER, A. R. et al. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, p. 75-105, 2004.

LACERDA, D.P.; DRESCH, A.; PROENÇA, A; ANTUNES JR, J. A. V. Design Science Re-search: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 4, 2013, São Carlos. doi: http://dx.doi.org/10.1590/s0104-530x2013005000014

LU, Q. et al. Moving from Building Information Models to Digital Twins for Operation and Maintenance**. Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction**: v.2, p. 1–11, 2020. doi: https://doi.org/10.1680/jsmic.19.00011

MA, Z. et al. Construction quality management based on a collaborative system using BIM and indoor positioning. **Automation in Construction**: v. 92, p. 35–45, 2018.

OLIVEIRA, V. H. M.; SERRA, S. M. B. Controle de obras por RFID: sistema de monitoramento e controle para equipamentos de segurança no canteiro de obras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 61-77, 2017. doi: http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000400185

SACKS, R. et al. Construction with digital twin information systems. **Data-Centric Engineering**, v. 1, n. 14, 2020. doi: https://doi.org/10.1017/dce.2020.16

SILVEIRA, B. F. **Identificação das causas da variabilidade na execução dos processos do sistema de paredes de concreto**. 72 p. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

TANG, S. et al. A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. **Automation in Construction**, v. 101, p. 127–139, 2019. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020

TAKEDA, H. et al. Modeling Design Processes. **AI Magazine**, v. 11, n. 4, p. 37-48, 1990. doi: https://doi.org/10.1609/aimag.v11i4.855

XUE, F. et al. Linking radio-frequency identification to Building Information Modeling: Status quo, development trajectory and guidelines for practitioners. **Automation in Construction**, v. 93, p. 241–251, 1 set. 2018. doi: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.023