XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SISTEMA DE MONITORAMENTO COM BIM E IOT PARA GESTÃO DO AMBIENTE DE TRABALHO NO CANTEIRO[1]

FERREIRA, E. A. M. (1); JESUS, B. S. V. B. (2); ARAÚJO, C. S. (3); RODRIGUES, Y. C. M. (4)

(1) UFBA, ferreira.eam@gmail.com
(2) UFBA, beatrizsouzavilas@gmail.com
(3) UFBA, araujocaroline92@gmail.com
(4) UFBA, yagocunhamartins@gmail.com

RESUMO

O canteiro de obras é um ambiente dinâmico que gera impactos ambientais e condições de risco aos trabalhadores. É um desafio por parte dos engenheiros supervisionar o canteiro a fim de torná-lo um local saudável, seguro e mais sustentável. Com os avanços na Indústria 4.0, novas tecnologias surgiram no setor da construção civil trazendo oportunidades de melhorias. Com base nesse contexto, o objetivo deste estudo é desenvolver um sistema integrado de baixo custo que usa a Internet das Coisas (IoT) para monitorar o canteiro de obras através de sensores, visando possibilitar melhorias nas condições do ambiente de trabalho e do entorno da obra, contribuindo para o melhor controle e tomada de decisões. Para isso foram utilizadas as seguintes tecnologias: Modelagem da Informação da Construção (BIM) e IoT. A metodologia adotada para o estudo foi a Design Science Research (DSR). O sistema desenvolvido teve sucesso no monitoramento de temperatura, emissão de material particulado, umidade e luminosidade, incluindo as operações de coleta de dados no ambiente físico, armazenamento e visualização das informações.

Palavras-chave: *BIM. IoT. Gestão do Ambiente de Trabalho.*

ABSTRACT

The construction site is a dynamic environment that generates environmental impacts and risk conditions for workers. It is a challenge for the engineers to supervise the construction site to make it a healthier, safer, and more sustainable place. Considering advances in Industry 4.0, new technologies have emerged in the civil construction sector creating opportunities for improvement. Based on this context, the objective of this study is to develop a low-cost integrated system that uses the Internet of Things (IoT) to monitor the construction site through sensors, aiming to improve the conditions of the work environment and around the construction site, contributing to better control and decision-making. For this, the following technologies were used: Building Information Modeling (BIM) and IoT. The methodology adopted for the study was Design Science Research (DSR). The developed system was successful in monitoring temperature, emission of particulate matter, humidity, and luminosity, including data collection operations in the physical environment, storage and visualization of information.

Keywords*: BIM. IoT. Working Environment Management.*

[1] FERREIRA, E. A. M.; JESUS, B. S. V. B.; ARAÚJO, C. S.; RODRIGUES, Y. C. M. Sistema de monitoramento com BIM e IoT para gestão do ambiente de trabalho no canteiro. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma indústria que causa grandes impactos ambientais, desde a extração de matéria-prima até a disposição final dos resíduos. Uma parcela significativa desses impactos está relacionada à fase de construção de um edifício (CARDOSO *et al*., 2006). Durante a construção os trabalhadores dos canteiros de obra são expostos a diversos riscos relacionados à saúde e segurança do trabalho. É um desafio por parte dos engenheiros fazer a gestão do ambiente de trabalho do canteiro, a fim de torná-lo um local saudável, seguro e mais sustentável.

De acordo com Cardoso *et al*. (2006), o canteiro provoca interferências significativas nos meios físico (solo, água e ar), biótico (fauna e flora) e antrópico (trabalhadores da obra, vizinhança e sociedade), causando problemas como incômodos (sonoros e visuais), poluição, impactos ao local da obra e consumo excessivo de recursos como água e energia. A fim de reduzir os impactos é necessário aumentar a capacidade da equipe de obra de controlar os "aspectos ambientais" (CARDOSO *et al.*, 2006). Entre estes aspectos, a poluição por material particulado no canteiro, tem grande relevância ambiental, social e econômica, em virtude dos riscos à saúde, fazendo-se necessário o monitoramento das suas fontes de emissão.

O uso de novas tecnologias digitais impulsionadas pela Indústria 4.0 representa uma oportunidade de melhoria em termos de monitoramento de condições ambientais e saúde nos canteiros. A IoT para ambientes inteligentes é entendida como a interconexão de dispositivos de detecção e atuação, onde sensores e atuadores interagem entre si e com o ambiente ao seu redor e onde informações podem ser compartilhadas entre plataformas por meio de uma estrutura unificada (GUBBI *et al*, 2013). Conforme Rêgo (2016), sensores são dispositivos que convertem dados em impulsos elétricos, permitindo que esses impulsos sejam canalizados, amplificados e modificados por meio de dispositivos eletrônicos. Os dados de status fornecidos pelos sensores da IoT podem ser integrados à infraestrutura do BIM, tornando as informações muito mais significativas, precisas e atualizadas (UNDERWOOD; ISIKDAG, 2011).

Segundo Machado (2018), na integração de BIM e IoT o modelo BIM pode ser utilizado como uma interface beneficiada por dados fornecidos por uma rede de equipamentos, sensores e dispositivos móveis. Natephra; Motamedi (2019) afirmam que ferramentas de visualizações estáticas como gráficos e mapas têm algumas limitações ao lidar com o compartilhamento de informações em tempo real, o que pode dificultar a tomada de decisões. A representação de um ambiente físico por meio de um modelo BIM melhora a visualização de informações, além de contextualizar melhor os elementos reais de maneira virtual.

O objetivo deste estudo é desenvolver um sistema integrado de baixo custo que usa a IoT para monitorar o canteiro de obras através de sensores, visando possibilitar melhorias nas condições do ambiente de trabalho e do entorno da obra, promovendo assim mais saúde, bem-estar e sustentabilidade. Embora possa ser ampliado no futuro, o sistema atualmente mede temperatura, emissão de material particulado, umidade e luminosidade, permitindo o armazenamento em tempo real de informações no banco de dados, a geração automática de gráficos e relatórios de monitoramento em uma aplicação web e integração ao modelo BIM. Dessa forma, o sistema pode notificar imediatamente os gestores sobre problemas encontrados, auxiliando na tomada de decisões.

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

O procedimento metodológico utilizado foi a Design Science Research (DSR)

seguindo as fases indicadas por Dresch; Lacerda; Antunes (2015):

2.1 Fase de conscientização

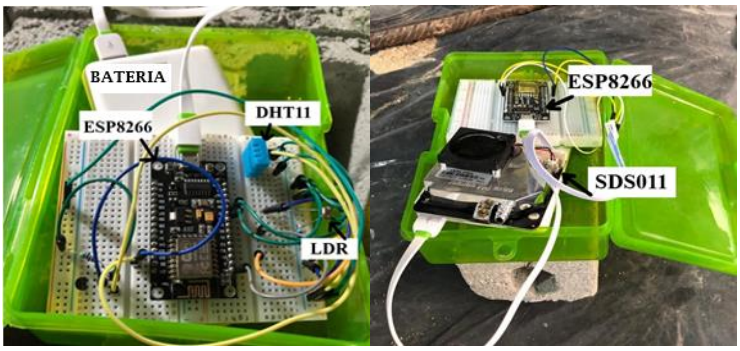
Esta fase incluiu as etapas de pesquisa exploratória, revisão da literatura e investigações iniciais sobre o canteiro de obras. Na revisão foram consultados artigos, dissertações, tutoriais, teses e livros nas bases de dados Scopus e Google Acadêmico. Paralelamente, foram realizadas visitas técnicas e entrevistas para compreender os processos internos envolvidos e o ambiente externo (vizinhança) da construção.

2.2 Fase de sugestão

Esta fase teve como propósito testar tecnologias, ferramentas e equipamentos necessários para definir requisitos do sistema. Testes foram considerados bem-sucedido e úteis para: (a) comprovar a estabilidade do microcontrolador em conexão com redes sem fio; (b) avaliar a eficiência e aplicabilidade dos sensores, (c) analisar o comportamento dos dispositivos em diferentes condições ambientais; (d) definir a forma de estruturar o banco de dados e (e) identificar as informações mais relevantes e as formas de visualização. Os requisitos definidos foram:

Dispositivos: Conforme a Figura 1, foram utilizados: (a) Sensor resistor dependente de luminosidade (LDR); (b) Sensor de temperatura e umidade DHT11; (c) Sensor de material particulado SDS011, (d) Microcontroladores ESP8266 e (e) Bateria externa.

Figura 1 – Identificação dos dispositivos envolvidos no sistema.



Fonte: Autores (2020).

Ferramentas computacionais: (a) Firebase - API baseada em computação em nuvem com banco de dados não relacional NoSQL que possibilita a sincronização dos dados com os usuários em tempo real; (b) Forge - plataforma da Autodesk baseada em nuvem, com interface de visualização para modelos BIM que suporta a incorporação de dados de vários contextos em aplicativos e na Web e (c) Visual Studio Code - editor de código-fonte que suporta JavaScript e Node.js em seu sistema interno, além de extensões para outras linguagens.

2.3 Fase de Desenvolvimento

A parte física do sistema desenvolvido funciona com microcontroladores ESP8266 e sensores que medem temperatura, emissão de material particulado, umidade e luminosidade. A rede sem fio usada foi de dados móveis (4G), que permite ao ESP8266 transmitir os dados em tempo real. Os dispositivos são manipulados a partir do aplicativo desenvolvido com base na web. Os dados coletados com os sensores são armazenados no banco de dados do Firebase e usados para gerar uma visualização no site através de um painel de controle (dashboard) com relatórios, mapas, gráficos

e do modelo BIM da obra, no qual o status fornecido pelos sensores em cada ambiente é representado. O Forge permitiu a criação de um modelo derivado do modelo BIM original para o site. O sistema integrado pode ser usado de duas maneiras, na primeira o conjunto de sensores permanece em um local fixo para monitorar as condições ambientais ao longo do tempo. Na segunda, o conjunto de sensores pode ser conduzido durante uma visita, como ocorre em inspeções, auditorias e avaliações pontuais do ambiente.

Os testes do sistema foram realizados em dois canteiros de obra de edifícios residenciais localizados na cidade de Salvador. Embora localizados em pontos opostos da cidade, ambos os edifícios têm algumas semelhanças pois são relativamente próximos ao mar e contam com boa dinâmica de circulação dos ventos no local. Os edifícios em questão também estavam em fases de construção semelhantes: conclusão do processo de concretagem e início da fase de acabamento. Outro aspecto importante está relacionado ao entorno dos empreendimentos, constituído por edifícios residenciais e comerciais.

2.4 Fase de Avaliação

Foram utilizados para avaliação os critérios: Transparência, Utilidade e Facilidade de Aplicação. A principal fonte de evidência foi a percepção dos pesquisadores nos testes, em conjunto com entrevistas realizadas com as partes interessadas das empresas. O Quadro 1 indica os constructos e variáveis da fase de avaliação.

Quadro 1 – Constructos e variáveis da fase de avaliação

Constructos	**Variáveis**
Transparência	Consistência das informações fornecidas pelos sensores.
	Envio de informações em tempo real.
	Facilidade de compreensão e análise de dados.
Utilidade	Aplicabilidade diante as atividades propostas.
	Eficiência do sistema para monitorar as condições ambientais.
	Potencial de melhoria na análise do gestor e tomada de decisão.
Facilidade da Aplicação	Aplicabilidade do equipamento em diferentes locais.
	Facilidade de entendimento do sistema pela equipe.
	Facilidade de uso do sistema no canteiro de obras.

Fonte: Autores (2020)

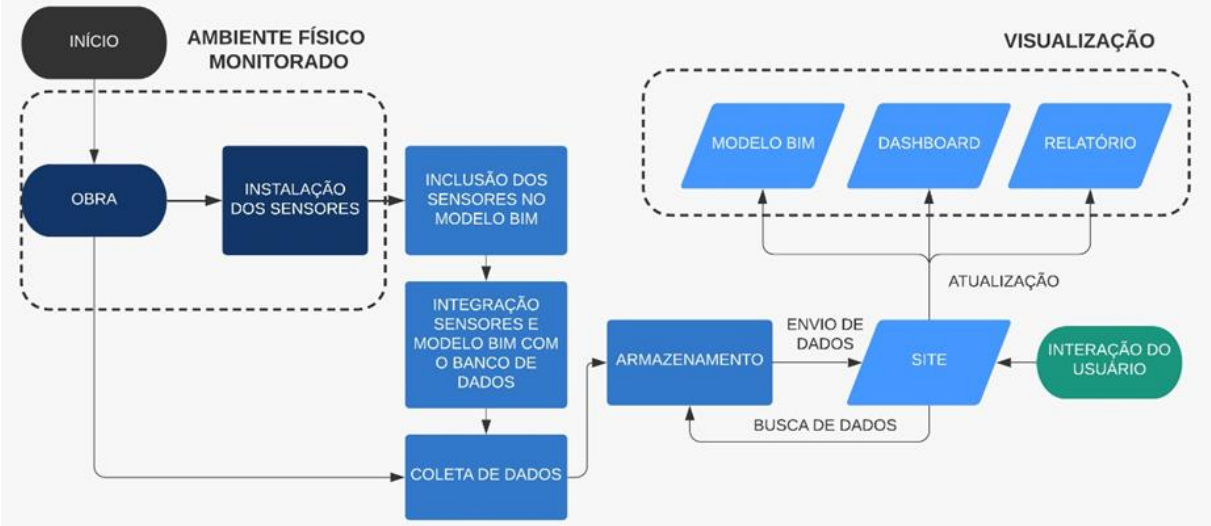
2.5 Fase de Conclusão

Esta fase inclui as considerações finais sobre o estudo, a apresentação dos resultados da pesquisa e a determinação da percepção sobre desafios e benefícios para apoiar o aprimoramento e ampliação do sistema visando a estudos futuros.

3 Resultados

Para um melhor entendimento das conexões entre as tecnologias e troca de dados, foi elaborado um fluxo para representar do sistema, conforme exposto na Figura 2.

Figura 2 – Representação do sistema.



Fonte: Autores (2020)

Nos dias 09 e 20 de janeiro de 2020 foram realizadas visitas às obras A e B para testar o funcionamento do sistema final em campo. A coleta de dados foi simulada para uma situação de inspeção, conforme descrito na seção 2.3. Em uma única visita, os pesquisadores percorreram ambientes da obra onde ocorriam as seguintes atividades: preparação de argamassa para reboco interno, projeção de reboco, lixamento da estrutura para chapisco e revestimento interno. O tempo de duração média em cada ambiente foi de 5 minutos. Ao longo das visitas foram realizadas entrevistas com os gestores.

Na obra A um dos engenheiros entrevistados afirmou que o canteiro possuía problemas quanto a emissão de material particulado por reclamação dos prédios vizinhos e que a adoção do sistema facilitaria o mapeamento dos pontos mais críticos, permitindo aplicar soluções mais efetivas em tempo hábil. Além disso, a geração de relatórios com os dados foi considerada um aspecto positivo do sistema. Na obra B chamou a atenção dos gestores a possibilidade de receber informações em tempo real e a conexão em rede sem fio, em virtude da capacidade de gerenciamento das condições do canteiro mesmo estando fora dele. Em campo, o sistema realizou a coleta dos índices físicos (material particulado, temperatura, umidade e luminosidade) em tempo real e exibiu as informações com êxito, conforme exemplo da exposição gráfica dos dados de luminosidade na Figura 3.

Figura 3 – Gráfico de luminosidade, obra B.

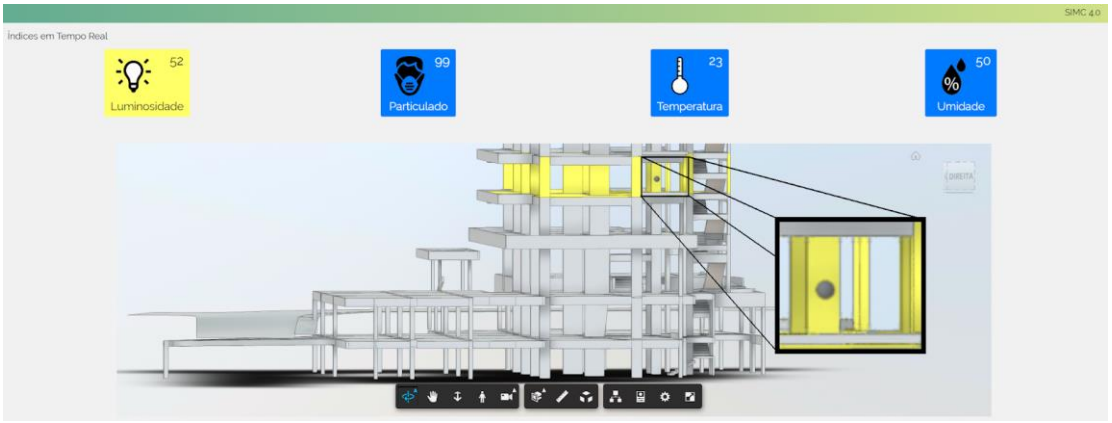


Fonte: Autores (2020).

A utilização do Firebase como banco de dados foi um ponto positivo no estudo, pois durante os testes em campo, ele cumpriu com a sua função de "Real-time Database", recebendo, armazenando e enviado os dados para a interface do sistema de forma quase instantânea. Além disso, a estrutura de dados NoSQL permitiu a organização das informações de maneira mais personalizada, possibilitando a extração dos dados por obra e por dia.

No estudo, o Forge trouxe a possibilidade de visualizar no BIM a localização genérica dos sensores no ambiente, além de mostrar valores numéricos dos dados coletados. A Figura 4 indica o modelo virtual da obra A, onde destaca-se o posicionamento do sensor no momento de uma leitura específica em um ambiente monitorado de interesse (em amarelo).

Figura 4 – Representação do modelo e indicação do sensor de luminosidade



Fonte: Autores (2020).

4 DISCUSSÃO

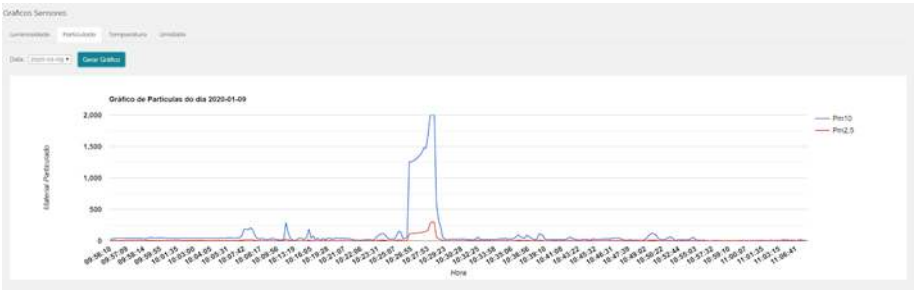
Os resultados positivos dos testes realizados serviram como prova de conceito do sistema desenvolvido. O aumento na capacidade de controle dos gestores sobre os aspectos ambientais pode apoiar decisões para promover melhorias significativas no ambiente de trabalho. Os tipos de sensores e de dados coletados podem ser adaptados às necessidades das empresas sem modificações no fluxo do sistema, fazendo apenas algumas adaptações técnicas. Ao longo dos testes no canteiro de obras foram avaliados os constructos e variáveis definidos anteriormente.

Transparência: os dados coletados estavam em conformidade com as condições ambientais, como pode ser visto na relação entre o valor mais alto expresso graficamente na Figura 5 e a atividade com o mais alto grau de movimento de material particulado: preparação de argamassa. Também foi constatado que os dados estavam sendo enviados de forma constante, como pode ser verificado observando o intervalo de tempo entre um ponto e outro no gráfico. Nas entrevistas com os gerentes, os relatórios e a interface de análise gráfica foram considerados fáceis de entender e suficientemente simples para apoiar a tomada de decisão.

Utilidade: o sistema funcionou adequadamente em todas as atividades propostas, coletando, enviando e exibindo dados. O desempenho do sistema foi considerado satisfatório, pois não houve perda de dados ou falhas de monitoramento que comprometesse a coleta e a apresentação dos dados. Os gerentes entrevistados indicaram o potencial de melhoria na análise das condições ambientais e na tomada de decisões, com base nos resultados dos testes do sistema. Um exemplo relatado

está relacionado à facilidade de monitoramento das partículas geradas pelo canteiro de obras dissipadas no ambiente.

Figura 5 – Gráfico de material particulado, obra A.



Fonte: Autores (2020)

Facilidade de Aplicação: observou-se a boa aplicabilidade do equipamento em diferentes locais e atividades de monitoramento das condições ambientais, como preparação de argamassa, lixamento, equipamentos de transporte e outros serviços envolvidos. Os membros da equipe da obra envolvidos no estudo não relataram dificuldades no uso e no entendimento, embora ainda sejam necessárias algumas melhorias em termos de layout e funcionalidade de alguns menus, bem como na organização da parte física para melhorar a portabilidade. Em geral, o sistema funcionou como esperado no canteiro de obras.

O protótipo apresentou bons resultados nas aplicações, utilizando componentes de baixo custo. O número, a forma e o período de monitoramento das atividades definirão a quantidade necessária de conjuntos de sensores por obra. Em relação à durabilidade do aparelho no ambiente hostil da construção, sugere-se soldar os componentes na placa a fim de evitar que os elementos se soltem durante o manuseio, uma caixa de proteção também se faz necessária para isolar o sistema do ambiente externo. O Quadro 2 apresenta os preços dos componentes do sistema.

Quadro 2 – Preços dos componentes por conjunto de sensores

Componentes	**Preço**
Sensor resistor dependente de luminosidade LDR	R$ 3,60
Sensor de temperatura e umidade DHT11	R$ 12,90
Sensor de material particulado SDS011	R$ 121,00
Microcontroladores ESP8266	R$ 95,25
Bateria externa	R$ 54,90
Protoboard e Jumpers	R$ 26,00

Fonte: Autores (2020)

5 CONCLUSÕES

A pesquisa alcançou seu objetivo de desenvolver um sistema de monitoramento das condições ambientais no canteiro de obras. Embora tenha sido utilizado um sistema simplificado e de baixo custo, as ferramentas propostas de forma integrada, BIM, Forge, Firebase e sensores foram responsáveis por relacionar as condições físicas à visualização de dados no ambiente virtual. A principal contribuição deste trabalho está ligada à possibilidade de implementação do sistema com o intuito de melhorar as condições de trabalho, proporcionando um ambiente mais saudável a todos os

envolvidos à medida que aumenta a capacidade de controle dos gestores. Outros aspectos ambientais podem ser medidos no futuro, a partir da ampliação do sistema.

Em estudos futuros, outros modelos de sensores, atuadores e microcontroladores disponíveis para a IoT podem ser avaliados para comparações em termos de precisão da leitura. Também é possível adicionar outras tecnologias ao sistema, como Realidade Aumentada (AR) / Realidade Virtual, (VR) / Realidade Mista (RM) para torna-lo mais interativo. Em relação aos dados coletados e aos gráficos gerados, recomenda-se, em estudos futuros, a incorporação de indicadores baseados na literatura para estabelecer limites de exposição dos trabalhadores às condições de risco ambiental, possibilitando a geração automática de alertas mais precisos aos gestores. O sistema também pode ser implementado em outros setores industriais além da construção civil.

Os benefícios potenciais desse sistema baseiam-se na possibilidade de aumentar o controle dos gestores e melhorar as condições do ambiente de trabalho, concentrando-se principalmente na saúde, segurança e bem-estar dos trabalhadores e pessoas que habitem a vizinhança, além de contribuir para a redução de impactos ambientais. O bom desempenho do sistema em termos de transparência, utilidade e facilidade de aplicação endossa esses possíveis benefícios. Em relação aos desafios, em alguns canteiros pode haver dificuldade no acesso às redes de internet sem fio, o que pode comprometer a comunicação entre os sensores e a infraestrutura virtual em tempo real. Sugere-se testes futuros com a rede LoraWan.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e às empresas CONIE Empreendimentos e Concreta pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, F. F.; ARAÚJO, V. M.; DEGANI, C. M. Impactos ambientais dos canteiros de obras: uma preocupação que vai além dos resíduos. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído: A Construção do Futuro (ENTAC 2006). Florianópolis. **Anais**… Florianópolis: UFSC/ANTAC, 2006. p. 23-25.

DRESCH, A.; LACERDA, D.P.; ANTUNES JR., J.A.V. **Design Science Research**: A Method for Science and Technology Advancement. 1. ed. Springer, 2015.

GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. **Future Generation Computer Systems**, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.

MACHADO, F. A.; RUSCHEL, R. C. Soluções integrando BIM e Internet das Coisas no ciclo de vida da edificação: uma revisão crítica. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 240-258, 2018. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650216>. Acesso em: 8 out. 2018. doi: https://doi.org/10.20396/parc.v9i3.8650216

NATEPHRA, W., MOTAMEDI, A. BIM-based Live Sensor Data Visualization Using Virtual Reality for Monitoring Indoor Conditions. In: Proceedings of the 24th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, 2019. **Anais…** Hong Kong: CAADRIA, 2019. p. 191–200.

RÊGO, M. S. **Desenvolvimento e validação de sistemas de monitoramento de baixo custo de temperatura e umidade relativa do ar.** 2016. 99 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. Emerging technologies for BIM 2.0. **Construction Innovation**, v. 11, n. 3, p. 252-258, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/14714171111148990>.