2020 ENTAC
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

REALIDADE AUMENTADA ASSOCIADA AO PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO DE OBRAS[1]

FIGUEIREDO, Marcos Sarge (1); OLIVIERI, Hylton (2); BARBOSA, Ivan Carlos Alves (3); MITIDIERI FILHO, Claudio (4); GRANJA, Ariovaldo Denis (5)

(1) Tallento Engenharia, marcos.sarge@tallento.eng.br
(2) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, hylton.olivieri@gmail.com
(3) Universidade Estadual de Campinas, ivan.barbosa@kroton.com.br
(4) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, claumit@ipt.br
(5) Universidade Estadual de Campinas, adgranja@fec.unicamp.br

RESUMO

Recentemente diversas tecnologias digitais vêm sendo empregadas como ferramentas de suporte ao planejamento e controle da produção de obras (PCP). A utilização da Realidade Aumentada (RA), por meio da mesclagem de dados virtuais e reais, permite aos planejadores validar, propor ou pré-visualizar soluções de modo rápido e intuitivo. Para a fase de execução das obras, é grande o trabalho de coleta de dados manuais em campo e a apresentação destes dados pode resultar em baixa qualidade de informações e de conclusões, pois dependem de capacitação humana o que envolve qualificação, conhecimento técnico e disposição para trabalhos manuais. A tecnologia de RA consiste na superposição de dados sintéticos – como o baseline de planejamento das obras sobre os dados reais (coletados on-line), e permite de modo imediato e intuitivo a observação se as atividades estão em dia, em atraso ou adiantadas. Neste artigo, com base no mapeamento sistemático de literatura, identificou-se vinte trabalhos que abordam diretamente a aplicação de RA no processo de PCP, os quais foram agrupados em cinco tópicos principais a fim de se demonstrar as oportunidades de aplicação.

Palavras-chave: *Realidade Aumentada. Planejamento e controle da produção. Planejamento e controle de obras.*

ABSTRACT

In recent years, several technologies and tools have been used to support the production planning and control system. The use of Augmented Reality (AR), by mixing virtual and real data, allows planners to validate, propose or preview solutions quickly and intuitively. For the execution phase of the building construction, the work of collecting manual data in the field is great and the presentation of these data can result in low quality of information and conclusions, as they depend on human training, which involves qualification, technical knowledge and willingness to handwork. AR technology consists of superimposing synthetic data as the planning baseline of works on real data (collected online), and allows immediate and intuitive observation of whether activities are up-to-date, in delay or in advance. In this article, based on a systematic literature mapping, we identified twenty articles that contains

[1] FIGUEIREDO, M. S. *et al*. Realidade Aumentada associada ao planejamento e controle da produção de obras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ENTAC, 2020.

the application of RA in association with the production planning and control system. These articles were grouped in five main topics, aiming to show opportunities of real application.

***Keywords**: Augmented Reality. Production planning and control. Construction sites planning and control.*

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, diversas tecnologias e ferramentas digitais têm sido utilizadas como meio de suporte ao planejamento e controle da produção de obras (PCP). Dentre as iniciativas mais recentes, pode-se destacar a utilização de *softwares* para o desenvolvimento e controle de cronograma físicos, como o VICO (VICO, 2020), a integração do BIM com cronogramas em formato de linhas de fluxo (VARGAS; FORMOSO, 2020), a utilização de dispositivos para o controle dos empreendimentos em tempo real, tais como câmeras e sistemas RFID (OLIVIERI; SEPPÄNEN; PELTOKORPI, 2017) e a ampla utilização de dispositivos móveis, tais como câmeras, *smartphones* e *tablets*. Entretanto, em boa parte dos casos a coleta de dados em campo ainda ocorre de forma manual e com grande dependência de interface humana (PRADHANAGA; TEIZER, 2013), estando, portanto, sujeita a erros (GOLPARVAR-FARD; PEÑA-MORA; SAVARESE, 2009). Além disso, usualmente apenas os profissionais melhor qualificados e com larga experiência são capazes de produzir e controlar processos de PCP com eficácia (WANG, 2007) e, na maioria dos canteiros de obras, a informação ainda é gerenciada por meio de documentos em papel, incluindo desenhos e planilhas (RATAJCZAK; RIEDL; MATT, 2019). Considerando que existe uma lacuna em que as partes envolvidas neste processo de tomada de decisão não costumam ter muito conhecimento de situações construtivas complexas (FIGUEIREDO; MITIDIERI FILHO, 2019), existe a necessidade de ferramentas que as façam entender clara e rapidamente, sem a necessidade de desenvolver conhecimento especializado (LEE; PEÑA-MORA, 2006; FIGUEIREDO; MITIDIERI FILHO, 2019).

Neste contexto, a utilização da tecnologia de realidade aumentada (RA), que adiciona imagens geradas por computador às imagens do mundo real e visa aumentar a percepção humana com a inserção de informação digital relevante (WANG, 2007; FREITAS; RUSCHEL, 2010), vem ganhando escala nos últimos anos. Os recentes avanços nesses métodos são motivados principalmente pela automatização na coleta de dados e pela oportunidade da visualização das atividades e a sua evolução no canteiro, podendo-se comparar o desempenho esperado *versus* o desempenho real da construção, identificando-se eventuais desvios. Além disso, a RA permite a simulação do que deveria ter sido executado (informação virtual) sobre o que foi executado (informação real capturada por meios digitais), em determinada data, possibilitando, por exemplo, a detecção de um atraso atual ou potencial no cronograma de construção, o que permite iniciativas rápidas de remediação (HAN; GOLPARVAR-FARD, 2014). Oportunidades de utilização da RA podem incluir a elaboração de desenhos (projetos) durante o processo de planejamento com vantagens por operar em 3D e unificar em uma única base de dados, evitando o conflito de informações, e permitir o incremento de colaboração entre as equipes (NASSEREDDINE *et al*., 2019). De forma complementar, a RA pode facilitar a recuperação de informações na obra de modo *on-line* (YEH *et al.*, 2012).

O advento dos *smartphones*, aliado à tecnologia de computação móvel como a RA, permite aos usuários oportunidades de atuar no ambiente real enquanto recebem informação visual adicional gerada ou modelada de modo computacional (WANG et al., 2013). A utilização destas informações permite uma grande variedade de

recursos, tais como visualização, interação e colaboração de conteúdo em tempo real com outros usuários (SEABRA; SANTOS, 2005), inclusive, de modo remoto (NASSEREDDINE *et al.*, 2019). Adicionalmente, a RA pode interligar os dados de *Building Information Modelling* (BIM) relacionados ao PCP com o canteiro de obras, o que pode permitir um monitoramento sistêmico e abrangente no processo de controle dos cronogramas (LIN *et al.*, 2019), de modo a prover, aos responsáveis e interessados, dados significativos sobre o desempenho e o progresso (RATAJCZAK *et al.*, 2019). Neste contexto, o objetivo deste trabalho é identificar e classificar as oportunidades de aplicação de RA no PCP de obras.

2 MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado foi o mapeamento sistemático da literatura, o qual permite a identificação, a classificação e a categorização de estudos para futuras revisões (KEELE, 2007). A primeira etapa da pesquisa consistiu na seleção das bases de pesquisas como a Scopus, a Web of Science (WS) e a Engineering Village (EV), as quais foram selecionadas dada a sua relevância em temas associados à construção civil, realizando-se a busca apenas de trabalhos em periódicos científicos. Com o objetivo de ampliar o máximo possível o horizonte de resultados, os termos de busca utilizados nas pesquisas foram *augmented reality* adicionado aos termos *construction* ou *scheduling* aplicados nos campos de título, resumo e palavras-chave, em composição com operadores booleanos, não se limitando a termos mais específicos. Foram escolhidas publicações na língua inglesa dos últimos dez anos, visto que os maiores avanços tecnológicos em *smart devices* e em RA foram observadas nesse período.

A partir da identificação dos trabalhos aderentes, adotou-se os seguintes passos: (i) exclusão de trabalhos em duplicidade; (ii) leitura dos títulos, resumo e palavras-chave, excluindo-se os trabalhos não aderentes e trabalhos fora do contexto do uso de RA para PCP de obras; e (iii) classificação e agrupamento, sendo que os trabalhos identificados como aderentes ao tema "planejamento e controle da produção de obras" foram explorados com o propósito de se identificar e classificar as sinergias da RA com a matéria. Na sequência, os trabalhos foram sintetizados em cinco temas principais, o quais foram agrupados por afinidade de tópicos, assim descritos: (A) técnicas de PCP combinadas com a RA; (B) soluções de baixo custo para o gerenciamento do PCP por meio da RA; (C) abordagem de integração dos dados de BIM e RA para PCP; (D) tecnologia ou dispositivos vestíveis para prover dados e/ou operar a RA; (E) metodologia para captura, conversão e processamento de imagens para utilização em RA.

3 RESULTADOS

A investigação nas bases de dados obteve um total de 1665 trabalhos, conforme demonstrado no Quadro 1, sendo 711 (43%) da base Scopus, 256 (15%) da WS e 698 (42%) da EV. A etapa de eliminação de trabalhos em duplicidade resultou em 775 (47%) artigos repetidos e em 890 **(**53%) trabalhos validados. Na sequência, a partir da leitura dos títulos e resumos, 37 trabalhos foram identificados como aderentes à pesquisa proposta. Após a leitura completa e fichamento dos 37 trabalhos selecionados, concluiu-se que 20 destes são diretamente relacionados ao objetivo de pesquisa inicial, ou seja, a utilização de RA como ferramenta de suporte ao PCP em obras de construção civil. Embora outros conceitos de RA tenham sido encontrados nos demais artigos associados a temas correlatos à construção civil, tais

como nas áreas de gerenciamento de projetos, apoio à definição de *layout* de canteiros de obras, para a identificação de patologias nas construções, de instruções para montagens e instalações diversas e no gerenciamento de ativos, estes não foram considerados por não estarem diretamente associados ao objetivo buscado. Em decorrência, 853 trabalhos foram identificados como sendo de temas diversos, ou seja, ligados de alguma forma à construção civil ou à RA, porém sem aderência ao tema.

Quadro 1 – Etapas de triagem

Artigos encontrados	Não duplicados e validados	Após a análise do Título, Resumo e Palavras-chave	Após a leitura completa dos artigos
1665	890	37 aderentes; 853 temas diversos	20 aderentes

Fonte: Os autores

Para a distribuição geográfica dos 890 trabalhos validados e dos 20 classificados como aderentes ao tema da pesquisa, utilizou-se como base a localização geográfica (país) da instituição do primeiro autor de cada trabalho. Em relação aos 890 trabalhos, pode-se constatar que 51% deles foram produzidos na Europa, 27% na América do Norte, 18% na Ásia, 4% na América do Sul e 1% na Oceania. Considerando-se apenas os 20 trabalhos aderentes ao tema da pesquisa, pode-se constatar que 35% deles foram produzidos na América do Norte, 30% na Europa, 30% na Ásia e 5% na Oceania.

Em relação aos anos de publicação dos 890 trabalhos validados, a maior parte (187) foram produzidos em 2019 e, além disso, a somatória dos últimos 3 anos completos de 2019, 2018 e 2017, uma vez que o ano de 2020 segue ainda incompleto, perfazem o total de 423 trabalhos, ou seja, 48% do total, o que indica que a maioria das pesquisas relacionadas ao tema estudado são recentes. Em relação aos 20 trabalhos aderentes, 14 foram publicados entre os anos de 2010 e 2014 e os demais entre os anos de 2018 e 2019, ocorrendo um hiato de publicações entre os anos de 2015 e 2017.

4 OPORTUNIDADES DE APLICAÇÃO DA RA

O resultado do agrupamento dos 20 trabalhos aderentes ao tema RA relacionada ao PCP é apresentado no Quadro 2, onde pode-se concluir que 14 dos 20 trabalhos tratam do PCP associado à utilização da RA e do BIM (Temas A e C), 5 trabalhos abordam soluções de baixo custo (Tema B), 3 trabalhos abordam a utilização de tecnologias ou dispositivos vestíveis (Tema D) e 5 tratam de metodologias de captura de imagens (Tema E).

As técnicas de planejamento e controle presentes nos artigos agrupados no Tema A apresentam a possibilidade de observação e monitoramento, em tempo real, do avanço físico planejado comparado com o real executado *in loco*, além de permitir a visualização do caminho crítico do projeto, a identificação de tarefas em atraso e tarefas adiantadas e a situação dos recursos do projeto, tais como materiais, mão de obra e equipamentos. Já nos trabalhos do Tema B, são identificadas oportunidades do aproveitamento da infraestrutura existente no canteiro de obras como ferramenta de apoio para a utilização da RA associada à evolução da logística de obra, como por exemplo, a instalação de dispositivos nas gruas para monitorar a movimentação dos recursos no canteiro de obras, indicando sua posição em tempo real.

O modelo de retroalimentação *online* do BIM com os dados de RA pode ser observado no agrupamento dos trabalhos do Tema C, possibilitando a atualização em tempo real de quantidades de materiais, por exemplo, permitindo-se um comparativo em relação às quantidades teóricas levantadas. No Tema D, a utilização de dispositivos vestíveis pela equipe de obras pode permitir maior agilidade na busca, apresentação e discussão de dados *on-line* referentes ao PCP. Os dados obtidos nos trabalhos do Tema E demonstram a viabilidade de soluções alternativas em relação ao uso tradicional de equipamentos de coleta de imagens como os *lasers scanners,* por exemplo.

Quadro 2 – Ocorrências de artigos aderentes conforme agrupamento proposto

Artigos selecionados		Temas				
		A	B	C	D	E
1	*Abernethy et al. (2018)*	✓		✓		
2	Babu e Babu (2018)	✓				
3	Fu e Liu (2018)	✓		✓	✓	
4	*Gimeno et al. (2010)*	✓		✓		
5	*Golpavar-Fard et al. (2011)*	✓				
6	Han e Golparvar-Fard (2014)	✓		✓		
7	*Kamat et al. (2011)*	✓		✓		
8	*Karsch et al. (2014)*	✓				
9	*Kim et al. (2013)*	✓				✓
10	*Kim et al. (2018)*		✓	✓		✓
11	*Kim et al. b. (2013)*		✓	✓		✓
12	Kirchbach (2013)			✓		
13	*Kuo et al. (2011)*	✓		✓		
14	*Lin et al. (2019)*	✓				
15	*Nassereddine et al. (2019)*			✓		✓
16	*Ratajczak et al. (2019)*	✓	✓	✓		✓
17	*Rohani et al. (2014)*	✓		✓		
18	*Wang et al. (2013)*		✓	✓	✓	
19	*Yeh et al. (2012)*		✓	✓	✓	
20	*Zollmann et al. (2014)*	✓				
TOTAIS		**14**	**5**	**14**	**3**	**5**

Legenda: A) Técnicas de PCP combinadas com RA; B) Soluções de baixo custo para o gerenciamento de PCP por meio de RA; C) Abordagem de integração dos dados de BIM e RA para o PCP; D) Tecnologias ou dispositivos vestíveis para prover dados e/ou operar a RA; E) Metodologia para captura, conversão e processamento de imagens para utilização em RA

Fonte: Os autores

Exemplos de aplicações encontradas em cada um dos 5 temas são apresentados na Figura 1, na qual pode-se observar a citação de referência dos trabalhos que indicam tais aplicações.

Figura 1 – Oportunidades de emprego da RA associado ao PCP em cada tema

A. Técnicas de planejamento e controle de cronogramas combinadas com a RA



Fonte: RATAJCZAK *et al.* 2019

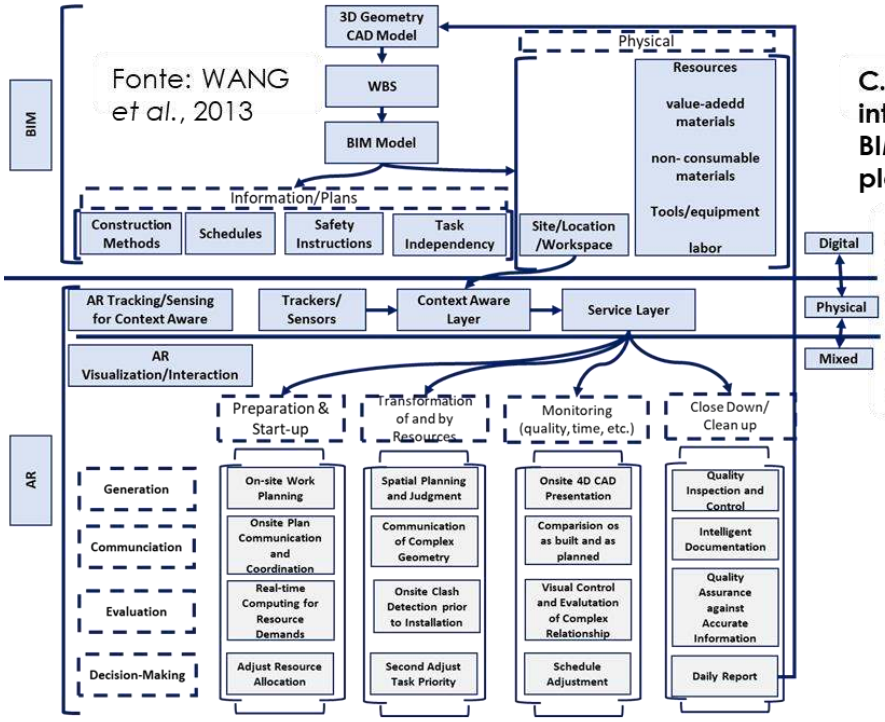
Integração da RA com LBMS: dados sobrepostos às imagens reais

B. Solução de baixo custo para o gerenciamento de obras



Fonte: GIMENO *et al.* 2010

Dispositivo é composto por aplicativo, câmera digital, roteador 3G-WiFi e estabilizador de tensão, fixada na grua.



Fonte: WANG *et al.*, 2013

C. Abordagem de integração dos dados de BIM e RA para planejamento de obras

A RA apresenta-se como avanço da utilização do BIM com a Realidade Virtual. Quando combinada com o BIM, a RA pode ser utilizada para o controle físico da obra (NASSEREDDINE et al. 2019; WANG et al., 2013; LIN *et al.*, 2019)

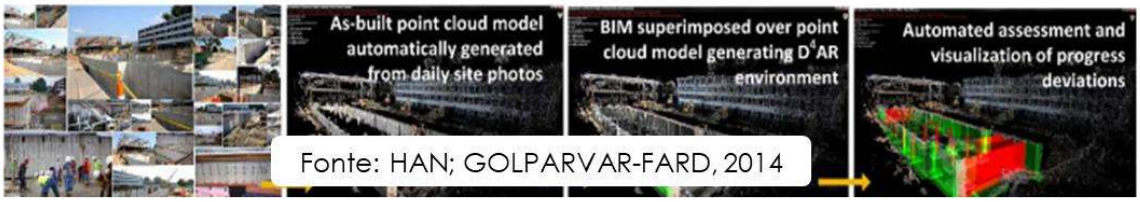


Fonte: YEH *et al.* 2012

D. Tecnologias ou dispositivos vestíveis

Dispositivo para projetar os dados de construção, evitando-se o transporte de documentos e redução do esforço na procura das informações.

E. Captura, conversão e processamento de imagens para utilização em RA



Fonte: HAN; GOLPARVAR-FARD, 2014

Modelagem baseada em fotografias reais para análise previsto x realizado

Fonte: Os autores

5 CONCLUSÕES

A identificação e a classificação dos trabalhos que apresentam oportunidades de aplicação da RA associada ao PCP permitiu o agrupamento destes em 5 temas principais, sendo: técnicas de PCP combinadas com a RA; soluções de baixo custo para o gerenciamento de PCP por meio de RA; abordagem de integração dos dados de BIM e RA para PCP; tecnologias ou dispositivos vestíveis para prover dados e/ou operar a RA; metodologia para captura, conversão e processamento de imagens para utilização em RA, os quais podem ser combinados entre si, conforme identificado nos artigos presentes no Quadro 2. Além disso, oportunidades práticas de emprego da RA associada ao PCP foram apresentadas na Figura 1.

De forma complementar, identificou-se que a maioria dos trabalhos foi publicado na América do Norte, Europa e Ásia, sendo que cerca de 1/3 deles (6) foram publicados nos últimos dois anos. Como limitação do trabalho, o objetivo inicial foi ter o máximo possível de resultados apesar da quantidade de artigos, entretanto, tal efeito foi contornado na sequência com a aplicação da metodologia empregada neste trabalho. Pesquisas futuras serão realizadas com o objetivo de se evidenciar novas aplicações práticas e estudos de caso da tecnologia RA associada ao PCP de obras.

REFERÊNCIAS

ABERNETHY, M. *et al.* ParallelAR: An augmented reality app and instructional approach for learning parallel programming scheduling concepts. **IEEE**, 2018.

BABU, P.R. S.; BABU, N. H. Using Technology to Achieve Lean Objectives. **26Th Annual Conference Of The International Group For Lean Construction**, p. 1069-1078, 18 jul. 2018. International Group for Lean Construction. http://dx.doi.org/10.24928/2018/0543.

ENGINEERING VILLAGE. 2020. Disponível em: <https://www.engineeringvillage.com>. Consulta em 12 jun. 2020

FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. **Arquitetura Revista**, v. 6, n. 2, p. 127-135, 21 dez. 2010.

FIGUEIREDO, M. S.; MITIDIERI FILHO, C. V. Aplicação de realidade aumentada para a vistoria de entrega de obras de edificações residenciais. In: **Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**, 2., 2019, São Paulo. Anais... 5 p.

FU, M.; LIU, R. The application of virtual reality and augmented reality in dealing with project schedule risks. **Construction Research Congress**. 2018.

GIMENO, J. *et al.* A New Approach to the Management of the Setting out in Construction based on Augmented Reality Techniques. **Proceedings of the Seventh International Conference on Engineering Computational Technology**, Stirlingshire, p. 1-10, set. 2010.

GOLPARVAR-FARD, M. *et al*. D4AR: A 4-Dimensional Augmented Reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 14, p. 129-153. 2009.

GOLPARVAR-FARD, M. *et al*. Integrated sequential as-built and as-planned representation with D 4AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 12, 2011.

HAN, K.; GOLPARVAR-FARD, M. Automated Monitoring of Operation-level Construction Progress Using 4D BIM and Daily Site Photologs. **Construction Research Congress**. 2014.

KAMAT, V. R. *et al*. Research in visualization techniques for field construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 10, 2011.

KARSCH, K. *et al.* ConstructAide: Analyzing and visualizing construction sites through photographs and building models. **ACM Transactions on Graphics**, v. 33, N. 6, 2014.

KEELE, S. Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In: **Technical report**, 2007, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE.

KIM, H.S. *et al.* a. Application of information technology for visualizing and optimizing construction project schedule. **Proceedings of the 15th Conference on Enterprise Information Systems**, p. 329-332, 2013.

KIM, C. *et al.* b. On-site construction management using mobile computing technology. **Automation in Construction,** v. 35, 2013.

KIM, H. S. *et al.* Improvement of Realism of 4D Objects Using Augmented Reality Objects and Actual Images of a Construction Site. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, 2018.

KIRCHBACK, K. Augmented reality on construction sites using a smartphone-application. **Proceedings of the 17th International Conference on Information Visualization**, 2013.

KUO, C.H. *et al.* A framework of information visualization for multi-system construction. **Automation in Construction**, v. 20, N. 3, p. 247-262, 2011.

LEE, S.; PEÑA-MORA, F. Visualization of construction progress monitoring. **Proceedings of the Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil & Building Engineering**, Montreal, p. 2527-2533. 2006.

LIN *et al*. A Real-Time 4D Augmented Reality System for Modular Construction Progress Monitoring. **Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)**, p. 2527-2533, 2019.

NASSEREDDINE *et al.* Augmented Reality-Enabled Production Strategy Process. **Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (isarc)**, 2019.

OLIVIERI, H. *et al.* Real-time Tracking of Production Control: requirements and solutions. **25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**, v. 1, p. 671-678, 9 2017.

PRADHANANGA, N.; TEIZER, J. Automatic spatio-temporal analysis of construction site equipment operations using GPS data. **Automation in Construction**, v. 29, p. 107-122, 2013.

RATAJCZAK, *et al*. BIM-based and AR Application Combined with LBMS for the Improvement of the Construction Performance. **Buildings**, v. 9, n. 5, p. 118, 2019.

ROHANI, M. *et al.* Advanced visualization and simulation techniques for modern construction management. **Indoor and Built Environment**, v. 23, N. 5, 2014.

SEABRA, R. D.; SANTOS, E. T. Utilização de técnicas de realidade virtual no projeto de uma ferramenta 3D para desenvolvimento da habilidade de visualização espacial. **Revista Educação Gráfica**, Bauru, n.9, p.111-122, 2005.

SCOPUS. 2020. Disponível em: <https://www.scopus.com>. Consulta 12 jun. 2020.

VARGAS, F.; FORMOSO, C. Método para planejamento e controle da produção baseado em zonas de trabalho com o apoio de BIM. **Ambiente Construído**, v. 20, n. 1, p. 129-151, 2020.

VICO. 2020. Disponível em: <https://www.vico-ndbim.com/>. Consultado em: 06 jun. 2020.

WANG, X. Using Augmented Reality to Plan Virtual Construction Worksite. **International Journal of Advanced Robotic Systems**, v. 4, n. 4, p. 42, 2007.

WANG, X. et al. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. **Automation In Construction**, v. 34, p. 37-44, set. 2013.

WEB OF SCIENCE. 2020. Disponível em: <www.webofknowledge.com>. Consulta 12 jun. 2020

YEH, K. C. *et al.* On-Site Building Information Retrieval by Using Projection-Based Augmented Reality. **Journal Of Construction Engineering And Management**, v. 26, n. 3, p. 342-355, 2012.

ZOLLMANN, S. *et al.* n Augmented Reality for Construction Site Monitoring and Documentation. **IEEE**, v. 102, n. 2, p. 137-154, 2014.