



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

USO DE TÉCNICAS COMPUTACIONAIS NO APRIMORAMENTO DA TOMADA DE DECISÕES NO SETOR DE CONSTRUÇÃO: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA ¹

BEZERRA, Pedro (1); SCHEER, Sergio (2)

(1) Universidade Federal do Paraná, bezerra.pedro92@gmail.com

(2) Universidade Federal do Paraná, scheer@ufpr.br

RESUMO

No mercado de construção, o uso de técnicas computacionais, oriundas da área de Pesquisa Operacional, como forma de subsidiar a tomada de decisões tanto em fases de pré-construção, como durante a execução, se torna cada vez mais relevante. Assim, o presente estudo busca avaliar quais ferramentas tem chamado mais atenção de pesquisadores, e em quais processos elas têm sido utilizadas. Para isso, optou-se pelo método de Revisão Sistemática da Literatura. Foi realizado, assim, um extenso processo de busca em três bases de dados de publicações, tendo sido possível selecionar 41 trabalhos recentes que se relacionam com o tema em questão. Os trabalhos foram analisados de acordo com o tipo de técnica utilizada, destacando-se o uso algoritmos meta-heurísticos e de simulação. Por sua vez, foi possível observar a aplicação dessas técnicas em diversos tipos de processo, como planejamento de atividades, dos custos, utilização de recursos, layout de canteiro e desempenho da segurança.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Algoritmos, Simulação, Planejamento, Tomada de Decisões.

ABSTRACT

In the construction market, the use of computational techniques, derived from the field of Operations Research, as a way to support decision making both in the pre-construction phases and during execution, becomes increasingly relevant each day. Thus, the present study aims to assess which tools have been attracting the most attention from researchers, and in which processes they are currently being used. To this end, the Systematic Review of Literature method was chosen. An extensive search process was carried out in three publication databases, and it was possible to select 41 recent studies that relate to the topic in question. The articles were analyzed according to the type of technique used, being highlighted the use of meta-heuristic algorithms and simulation. Finally, it was also possible to observe the application of these techniques in several types of processes, such as activity and costs planning, use of resources, construction site layout and safety performance.

Keywords: Operations Research, Algorithms, Simulation, Planning, Decision-Making.

¹ BEZERRA, Pedro; SCHEER, Sergio. Uso de técnicas computacionais no aprimoramento da tomada de decisões no setor de construção: revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O uso de técnicas computacionais para o aprimoramento do planejamento de obras já é abordado em pesquisas há várias décadas, sendo, hoje em dia, cada vez mais empregado em conjunto com *software* de concepção de projetos e de simulação de processos, como forma de subsidiar a tomada da decisão tanto em fases pré-operacionais, como durante o processo construtivo.

Em Bezerra e Scheer (2018), observa-se uma predominância no uso de algoritmos meta-heurísticos e de simulação de eventos discretos em conjunto com modelos BIM, sendo possível identificar uma adoção cada vez maior de conceitos da área de pesquisa operacional no setor de construção. Estas técnicas, por sua vez, são capazes de tratar diversos objetivos, ligados principalmente ao planejamento de obras, seja a organização de atividades, o gerenciamento de recursos e até mesmo a configuração dos canteiros de obras.

Dessa forma, vista a grande capacidade dessas ferramentas em auxiliar no processo de tomada de decisão, o presente artigo procura avaliar quais as técnicas mais utilizadas atualmente no mercado de construção e o seu impacto no planejamento e na execução dos empreendimentos.

2 MÉTODO

Para a realização do estudo proposto, foi escolhido o método de Revisão Sistemática da Literatura (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). Por sua vez, o tema principal definido para a revisão é a utilização de técnicas computacionais como forma de buscar o aprimoramento do planejamento de obras. O trabalho procurará responder, então, o seguinte questionamento: "Quais técnicas computacionais estão sendo utilizadas de modo a auxiliar o processo de tomada de decisão na indústria de construção?".

Assim, foram definidos primeiramente os termos de busca a serem utilizados na revisão. Com base em algumas publicações de referência (HILLIER; LIEBERMAN, 2010; KÖNIG et al., 2012; FAGHIHI et al., 2015), foram escolhidos termos que se relacionassem com pesquisa operacional, meta-heurísticas, programação, aprimoramento de processos e tomada de decisão. A pesquisa foi realizada em três bases de dados eletrônicas. Restringiu-se a busca apenas a artigos científicos publicados entre 2016 e 2020 (Tabela 1).

Tabela 1 – Busca inicial

TERMOS DE BUSCA	SCIENCE DIRECT	SPRINGER	ASCE LIBRARY
OPERATIONS RESEARCH CONSTRUCTION INDUSTRY	114	907	1685
OPERATIONAL RESEARCH CONSTRUCTION INDUSTRY	41	311	794
METAHEURISTICS CONSTRUCTION INDUSTRY	5	454	30
PROGRAMMING CONSTRUCTION INDUSTRY	195	76	2019
ALGORITHM CONSTRUCTION INDUSTRY	166	885	880
OPTIMIZATION CONSTRUCTION INDUSTRY	354	543	1168
SIMULATION CONSTRUCTION INDUSTRY	198	598	1590
DECISION MAKING CONSTRUCTION INDUSTRY	156	729	1835
TOTAL		15733	

Fonte: O autor (2020).

Em seguida, realizaram-se quatro etapas de filtragem: eliminação de duplicados, análise dos títulos, dos *abstracts* e do conteúdo completo. A cada etapa, artigos inadequados à proposta foram descartados, resultando em 41 artigos (Tabela 2).

Tabela 2 – Filtragem das publicações

1ª FILTRAGEM - DUPLICADOS	6378
2ª FILTRAGEM - TÍTULO	239
3ª FILTRAGEM - ABSTRACT	97
FILTRAGEM FINAL - CONTEÚDO	41

Fonte: O autor (2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

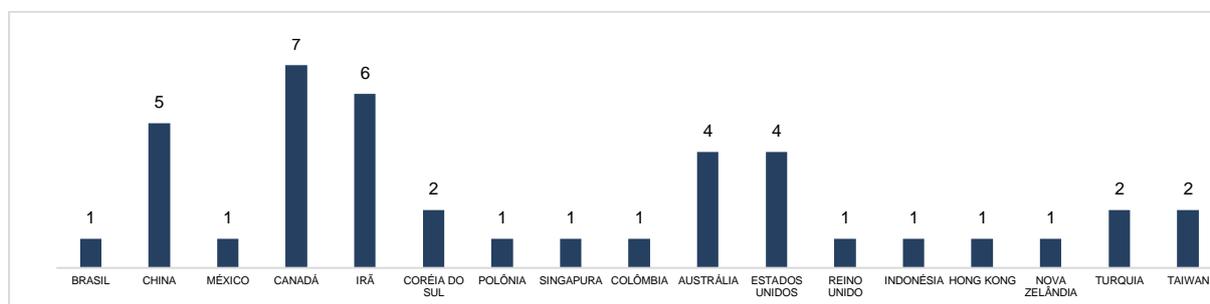
Nesta subseção, são apresentadas as análises feitas sobre as publicações selecionadas. Primeiramente, são evidenciados os dados da análise bibliométrica dos trabalhos, e em seguida as observações sobre os seus conteúdos.

3.1 Bibliometria

Com os resultados encontrados, foi realizada uma breve análise bibliométrica (ARAÚJO, 2006). Desse modo, foi observada a origem das publicações encontradas e seu ano de publicação, a fim de avaliar em quais países o tema em questão tem sido mais pesquisado e se este pode ser considerado um assunto atual.

Foi possível observar que as publicações encontradas são provenientes de diversos países. Destacam-se, no entanto, com maior número de publicações, Canadá e Irã. China, Austrália e Estados Unidos também apresentaram um número relevante de publicações. Ainda foram encontradas publicações oriundas da América do Sul e Europa (Gráfico 1).

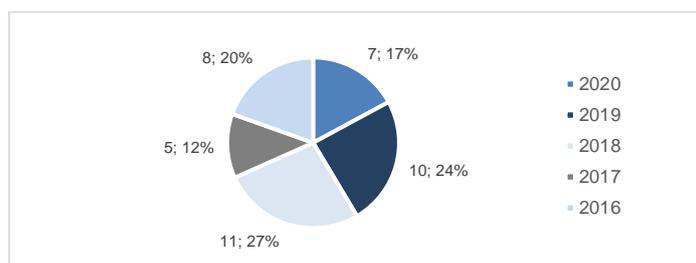
Gráfico 1 – Número de publicações encontradas por país



Fonte: O autor (2020)

No período em que a pesquisa foi restrita, foi possível observar um maior número de publicações nos anos de 2018 e 2019 (10 e 11, respectivamente). No entanto, chama-se atenção para a quantidade de pesquisas publicadas ainda em 2020 (7), sendo possível afirmar que o tema em questão ainda constitui uma área de pesquisa atual (Gráfico 2).

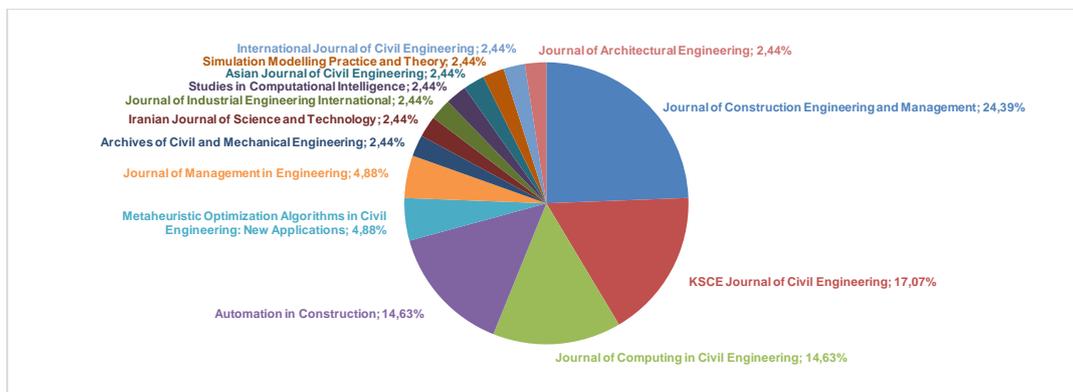
Gráfico 2 – Distribuição das publicações por ano



Fonte: O autor (2020)

Por fim, foi feito ainda um levantamento dos periódicos em que assuntos relacionados a aplicação das técnicas em questão são mais publicados, identificando-se como mais relevante o *Journal of Construction Engineering and Management*, seguido do *KSCE Journal of Civil Engineering* e do *Journal of Computing in Civil Engineering*, conforme o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Porcentagem de publicações por periódico



Fonte: O autor (2020)

3.2 Análise do conteúdo

A partir da análise das publicações selecionadas, foi possível identificar diversas abordagens para permitir uma melhor tomada de decisão em empreendimentos de construção. Um resumo do conteúdo de cada um dos estudos é apresentado Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo do conteúdo das publicações selecionadas (continua).

AUTOR	FOCO	PROCESSO	TÉCNICA UTILIZADA
Votto, Lee Ho e Berssaneti (2020)	Uso de simulação para determinar cronogramas de projeto que satisfaçam o planejamento financeiro, definições contratuais e expectativas dos clientes.	Planejamento de Atividades	Simulação de Monte-Carlo
Liu et al. (2020)	Planejamento de atividades e alocação de recursos por meio de procedimento meta-heurístico.	Planejamento de Atividades	Algoritmo meta-heurístico (Algoritmo Genético)
Moreno et al. (2020)	Uso de simulação para avaliar diversos cenários possíveis para a execução completa do projeto, utilizando datas de início fixas.	Planejamento de Atividades	Simulação de Eventos Discretos
Raoufi e Fayek (2020)	Uso de simulações para prever o desempenho das equipes, levando em consideração fatores como motivação e contato entre equipes.	Alocação de Recursos	Simulação de Monte-Carlo
Kaveh e Eslamlou (2020)	Uso de meta-heurísticas para a determinação das melhores posições para as gruas no canteiro de obras.	Layout do canteiro	Meta-heurísticas (Nuvem de partículas, <i>Colliding Bodies Optimization</i> , <i>Enhanced Colliding Bodies Optimization</i>)
Kaveh e Eslamlou (2020)	Planejamento do layout do canteiro de obras por meio de meta-heurísticas.	Layout do canteiro	Meta-heurísticas (<i>Colliding Bodies Optimization</i> e <i>Enhanced Colliding Bodies Optimization</i>)
Kwon et al. (2020)	Estimativa de possíveis custos com denúncias relativas ao barulho causado durante a execução da obra, ainda na fase de pré-construção.	Planejamento de Custos	Simulação de Monte-Carlo
Bozejko, Hejducki e Wodecki (2019)	Programação de atividades lavando em consideração durações incertas.	Planejamento de atividades	Meta-heurística (Busca de tabus)
Chen et al. (2019)	Planejamento do layout das intalações de produção de elementos construtivos pré-fabricados.	Layout do canteiro	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
García-Nieves et al. (2019)	Desenvolvimento de um modelo matemático para alocação de recursos e programação de atividades em projetos com atividades repetitivas.	Planejamento de Atividades/Alocação de Recursos	Programação linear
Heravi e Moridi (2019)	Otimização multi-objetivo (tempo e custo) em projetos com atividades repetitivas.	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (Nuvem de partículas)

Fonte: O autor (2020).

Quadro 1 – Resumo do conteúdo das publicações selecionadas (continuação).

AUTOR	FOCO	PROCESSO	TÉCNICA UTILIZADA
Kaveh e Vazirinia (2019)	Planejamento do layout do canteiro de obras por meio de meta-heurísticas.	Layout do canteiro	Meta-heurística (Charged System Search, Whale Optimization Algorithm, Vibrating Particles System e Enhanced Vibrating Particles System)
Lee e Hyun (2019)	Modelo de programação de atividades para construções modulares.	Planejamento de atividades	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
Shahbazi (2019)	Previsão das oportunidades de desenvolvimento de carreira, base na taxa de aquisição de competência.	Alocação de Recursos	Programação não-linear
Pinha e Ahluwalia (2019)	Determinação de alternativas para o planejamento de atividades e alocação de recursos.	Planejamento de atividades/Alocação de Recursos	Simulação de Eventos Discretos
Robertson, Srinivasan e McFarlane (2019)	Balanceamento, em caso de interrupções na execução da obra, das atividades de produção de componentes pré-fabricados e das atividades no canteiro de obras.	Planejamento de atividades	Simulação de Eventos Discretos e Algoritmo Genético
Rausch et al. (2019)	Análise de tolerâncias para variações nas dimensões de componentes pré-fabricados, para que não seja necessário realizar ajustes futuros	Planejamento de atividades	Simulação de Monte-Carlo
Fini et al. (2018)	Utilização de BIM, dados sobre o planejamento e detalhes do projeto e legislações para o planejamento de contratações e demissões.	Alocação de Recursos	Programação dinâmica
Prayogo et al. (2018)	Otimização da alocação de recursos para atividades de construção.	Planejamento de Atividades/Alocação de Recursos	Meta-heurística (Symbiotic Organism Search)
Zou, Zhang e Zhang (2018)	Planejamento de atividades e dimensionamento de equipes em projetos com atividades repetitivas.	Planejamento de Atividades/Alocação de Recursos	Programação linear
Amiri et al. (2018)	Otimização multi-objetivo, considerando incertezas nas durações.	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
Mangal e Cheng (2018)	Desenvolvimento de um procedimento do projeto armaduras de estruturas de concreto com o mínimo custo possível.	Planejamento de Custos	Algoritmo meta-heurístico (Algoritmo Genético)
Altaf et al. (2018)	Desenvolvimento de sistema de planejamento e controle de produção para a fabricação de painéis pré-fabricados.	Planejamento de Atividades	Simulação e algoritmos meta-heurísticos (Núvem de partículas e Simulated Annealing)
Pereira et al. (2018)	Identificar medidas de segurança, avaliar seu desempenho e prever possíveis desdobramentos durante a execução.	Medidas de Segurança	Algoritmo meta-heurístico (Algoritmo Genético)
Pereira, Han e AbouRizk (2018)	Uso de simulação para avaliar o impacto de diversas medidas de segurança nos custos, duração e qualidade do projeto.	Medidas de Segurança	Meta-heurística (Algoritmo Genético) e Simulação de Eventos Discretos
Schrestha e Behzadan (2018)	Método para refinar dados de atividades de uma obra coletados por meio de sensores.	Planejamento de Atividades	Meta-heurística (Algoritmo Genético) e Simulação de Eventos Discretos
Agdas et al. (2018)	Uso de meta-heurísticas para o tratamento do problema de relação conflitante tempo-custo em projetos de construção.	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
Tao et al. (2018)	Otimização multi-objetivo de projetos com atividades repetitivas, procurando minimizar o tempo de execução, custo total e congestionamento do canteiro de obras	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
Piryonesi e Tavakolan (2017)	Uso de um modelo matemático para determinar o tempo ideal para realizar a manutenção de estruturas em processo de degradação.	Medidas de Segurança	Programação não-linear
Golzarpoor et al. (2017)	Adaptação do processo de simulação de eventos discretos ao cenário da construção civil.	Planejamento de Atividades	Simulação de Eventos Discretos
Song et al. (2017)	Melhoria da tomada de decisão quanto às posições mais adequadas de instalações temporárias no canteiro de obras.	Layout do canteiro	Meta-heurística (Algoritmo Genético)
Giran, Temur e Bekdas (2017)	Sequenciamento de atividades de projeto sob restrições de recursos.	Planejamento de Atividades/Planejamento de custos	Meta-heurística (Harmony Search)
El-Abbasy, Elazouni e Zayed (2017)	Planejar a execução de projetos concomitantes, resolvendo problemas de conflitos de utilização de recursos e adaptando o ritmo de execução	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (algoritmo genético)
Huang, Zou e Zhang (2016)	Busca pelo menor custo de projeto, levando em consideração a transferências de recursos entre atividades de projetos repetitivos.	Planejamento de Atividades/Planejamento de Custos	Meta-heurística (algoritmo genético)
Hammad, Akbarnezhad e Rey (2016)	Planejamento do layout do canteiro de obras visando a diminuir poluição sonora.	Layout do canteiro	Programação não-linear
Du, Kim e Zhao (2016)	Previsão do custo total do projeto, considerando possíveis variações do custo durante as várias fases do projeto.	Planejamento de Custos	Cadeia de Markov
Siu, Lu e AbouRizk (2016)	Otimização da alocação de recursos de acordo com a demanda.	Alocação de Recursos	Programação linear
Cheng e Tran (2016)	Otimização da duração de projetos com restrições de recursos, considerando múltiplos modos de execução.	Planejamento de Atividades/Alocação de Recursos	Meta-heurística (Evolução Diferencial)

Fonte: O autor (2020)

Quadro 1 – Resumo do conteúdo das publicações selecionadas (continuação).

Damci, Arditi e Polat (2016)	Comparação de programações de execução geradas por meio do método de Linha de Balanceamento e aplicação de procedimento meta-heurístico, considerando diferentes funções-objetivo	Planejamento de Atividades	Meta-heurística (algoritmo genético)
Karatas e El-Rayes (2016)	Desenvolvimento de um modelo matemático para gerar projetos de unidades habitacionais mais sustentáveis e com custo reduzido	Planejamento de Custos	Meta-heurística (algoritmo genético)
Cheng, Prayogo e Tran (2016)	Otimização da duração de projetos com restrições de recursos	Planejamento de Atividades/Alocação de Recursos	Meta-heurística (Symbiotic Organism Search)

Fonte: O autor (2020)

Foi possível dividir as técnicas utilizadas pelos pesquisadores em seis grupos, agrupados por cores no Quadro 1: uso de meta-heurísticas e simulação em conjunto (*lilás*), meta-heurísticas (*verde*), simulação computacional (*azul*), programação linear (*rosa*), programação não-linear (*laranja*), e outras abordagens menos específicas (*cinza*).

Com a divisão, foi possível observar uma predominância pela utilização de algoritmos meta-heurísticos. Também foi identificado um grande número de publicações que abordavam a utilização de softwares de simulação para modelar os sistemas estudados. Alguns estudos implementaram também sistemas híbridos, onde tanto procedimentos meta-heurísticos quanto técnicas de simulação eram utilizados. Observou-se que, nessas abordagens híbridas, os pesquisadores utilizaram meta-heurísticas para melhorar o desempenho da simulação.

Por fim, foi ainda realizada mais uma análise das publicações, desta vez de acordo com o tipo de processo que se buscou aprimorar em cada um dos estudos. Foi possível então identificar, desta vez, cinco grupos principais: planejamento de atividades, planejamento de custos, alocação de recursos, configuração (layout) do canteiro de obras e medidas de segurança. Em alguns dos estudos, foram desenvolvidos sistemas com o objetivo de tratar mais de um processo.

Assim, observou-se que, especificamente na área de planejamento de obras, o uso destas técnicas computacionais pode ser aplicado principalmente no sequenciamento de atividades, procurando aperfeiçoar cronogramas de obra e a relação tempo-custo dos projetos. Os estudos analisados evidenciaram maior relevância e conhecimento sobre a aplicação da meta-heurística Algoritmo Genético, sendo possível constatar o grande potencial desta técnica em obter bons resultados para a programação de atividades no tempo e no processo de alocação de recursos.

4 CONCLUSÕES

O presente estudo utilizou o método de Revisão Sistemática da Literatura para avaliar a utilização de técnicas computacionais como forma de subsidiar a tomada de decisões da indústria de construção. Foram definidos alguns termos de busca relacionados a conceitos da área de Pesquisa Operacional, sendo possível selecionar 41 publicações que se adequavam à questão de pesquisa proposta.

A partir da análise dos trabalhos, foi possível dividi-los em seis grupos, de acordo com a ferramenta utilizada: algoritmos meta-heurísticos, simulação, programação linear, programação não-linear e outras abordagens menos específicas. Foi identificado que a maioria dos trabalhos abordou o uso de algoritmos meta-heurísticos e, em segundo lugar, modelagem de simulações. Observou-se também que alguns trabalhos desenvolveram estratégias híbridas, onde algoritmos meta-heurísticos

foram utilizados para melhorar o processo de simulação.

Em seguida, foram avaliados os tipos de processos que os trabalhos buscavam aprimorar, tendo sido possível realizar outra divisão, dessa vez em cinco grupos: planejamento de atividades, planejamento de custos, alocação de recursos, *layout* do canteiro e medidas de segurança. Foi identificada a maior utilização das técnicas no processo de sequenciamento de atividades, como também do balanceamento da relação tempo-custo dos projetos. Dentre as diversas ferramentas, a o procedimento meta-heurístico Algoritmo Genético foi o mais utilizado, tendo sido aplicado na melhoria de quase todos os tipos de processos abordados.

Dessa forma, foi possível avaliar diversas ferramentas capazes de auxiliar no processo de tomada de decisões de muitas etapas do processo de planejamento de obras, sendo possível afirmar sua relevância na promoção de processos construtivos com menor incidência de retrabalho, flutuações na duração e nos custos, além de serem capazes de auxiliar na organização do espaço e no aumento da segurança das obras.

REFERÊNCIAS

AGDAS, Duzgun et al. Utility of genetic algorithms for solving large-scale construction time-cost trade-off problems. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 32, n. 1, 2018.

AHMADIAN FARD FINI, Alireza et al. Dynamic programming approach toward optimization of workforce planning decisions. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 2, 2018.

ALTAF, Mohammed Sadiq et al. Integrated production planning and control system for a panelized home prefabrication facility using simulation and RFID. **Automation in construction**, v. 85, p. 369-383, 2018.

AMIRI, Mohammad Javad Taheri et al. Multi-project time-cost optimization in critical chain with resource constraints. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, n. 10, p. 3738-3752, 2018.

ARAÚJO, C. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **redalyc.org**, 2006.

BEZERRA, P. H. P., SCHEER, S. Uso de *Building Information Modeling* para o aprimoramento e automatização do planejamento de obras: revisão sistemática da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

BOZEJKO, Wojciech; HEJDUCKI, Zdzislaw; WODECKI, Mieczyslaw. Flowshop scheduling of construction processes with uncertain parameters. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 19, n. 1, p. 194-204, 2019.

CHEN et al. Optimal facility layout planning for AGV-based modular prefabricated manufacturing system. **Automation in Construction**, v. 98, p. 310-321, 2019.

CHENG, Min-Yuan; PRAYOGO, Doddy; TRAN, Duc-Hoc. Optimizing multiple-resources leveling in multiple projects using discrete symbiotic organisms search. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 30, n. 3, 2016.

CHENG, Min-Yuan; TRAN, Duc-Hoc. An efficient hybrid differential evolution based serial method for multimode resource-constrained project scheduling. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 20, n. 1, p. 90-100, 2016.

DAMCI, Atila; ARDITI, David; POLAT, Gul. Impacts of different objective functions on resource leveling in line-of-balance scheduling. **KSCE journal of civil engineering**, v. 20, n. 1, p. 58-67, 2016.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2020.

DU, Jing; KIM, Byung-Cheol; ZHAO, Dong. Cost performance as a stochastic process: EAC projection by Markov Chain simulation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 6, 2016.

EL-ABBASY, Mohammed S.; ELAZOUNI, Ashraf; ZAYED, Tarek. Generic scheduling optimization model for multiple construction projects. **Journal of computing in civil engineering**, v. 31, n. 4, 2017.

FAGHIHI, V. et al. Automation in construction scheduling: a review of the literature. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, n. 9–12, p. 1845–1856, 2015.

GARCÍA-NIEVES, Juan Diego et al. Multipurpose linear programming optimization model for repetitive activities scheduling in construction projects. **Automation in construction**, v. 105, 2019.

GIRAN, Omer; TEMUR, Rasim; BEKDAŞ, Gebrail. Resource constrained project scheduling by harmony search algorithm. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 2, p. 479-487, 2017.

GOLZARPOOR, Hamed et al. A non-queue-based paradigm in Discrete-Event-Simulation modelling for construction operations. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 77, p. 49-67, 2017.

HAMMAD, A. W. A.; AKBARNEZHAD, A.; REY, D. A multi-objective mixed integer nonlinear programming model for construction site layout planning to minimise noise pollution and transport costs. **Automation in construction**, v. 61, p. 73-85, 2016.

HERAVI, Gholamreza; MORIDI, Saeed. Resource-Constrained Time-Cost Tradeoff for Repetitive Construction Projects. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 23, n. 8, 2019.

HILLIER, F. S; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. Porto Alegre: AMGH, 2010.

HUANG, Yuansheng; ZOU, Xin; ZHANG, Lihui. Genetic algorithm-based method for the deadline problem in repetitive construction projects considering soft logic. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 4, 2016.

KARATAS, Aslihan; EL-RAYES, Khaled. Optimal trade-offs between housing cost and environmental performance. **Journal of Architectural Engineering**, v. 22, n. 2, 2016.

KAVEH, Ali; ESLAMLOU, Armin Dadras. Multi-objective Optimization of Construction Site Layout. In: **Metaheuristic Optimization Algorithms in Civil Engineering: New Applications**. Springer, Cham, 2020. p. 309-330.

KAVEH, Ali; ESLAMLOU, Armin Dadras. Optimization of Tower Crane Location and Material Quantity Between Supply and Demand Points. In: **Metaheuristic Optimization Algorithms in Civil Engineering: New Applications**. Springer, Cham, 2020. p. 259-288.

KAVEH, Ali; VAZIRINIA, Yasin. Construction site layout planning problem using metaheuristic algorithms: a comparative study. **Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering**, v. 43, n. 2, p. 105-115, 2019.

KÖNIG, M. et al. Intelligent BIM-based construction scheduling using discrete event simulation. **dl.acm.org**, 2012.

KWON, Nahyun et al. Compensation Cost Estimation Model for Construction Noise Claims Using Case-Based Reasoning. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 8, 2019.

LEE, Jeonghoon; HYUN, Hosang. Multiple Modular Building Construction Project Scheduling Using Genetic Algorithms. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 1, 2019.

LIU, Jia et al. Solving Resource-Constrained Project Scheduling Problem via Genetic Algorithm. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 34, n. 2, 2020.

MANGAL, Mohit; CHENG, Jack CP. Automated optimization of steel reinforcement in RC building frames using building information modeling and hybrid genetic algorithm. **Automation in Construction**, v. 90, p. 39-57, 2018.

MORENO, Francisco et al. A Fixed Start Scheduling Approach for Repetitive Construction Projects. **KSCE Journal of Civil Engineering**, 2020.

PEREIRA, Estacio et al. Case-based reasoning approach for assessing safety performance using safety-related measures. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 9, 2018.

PEREIRA, Estacio; HAN, SangUk; ABOURIZK, Simaan. Integrating case-based reasoning and simulation modeling for testing strategies to control safety performance. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 32, n. 6, 2018.

PINHA, Denis C.; AHLUWALIA, Rashpal S. Flexible resource management and its effect on project cost and duration. **Journal of Industrial Engineering International**, v. 15, n. 1, p. 119-133, 2019.

PIRYONESI, Sayed Madeh; TAVAKOLAN, Mehdi. A mathematical programming model for solving cost-safety optimization (CSO) problems in the maintenance of structures. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 6, p. 2226-2234, 2017.

PRAYOGO, Doddy et al. Optimization model for construction project resource leveling using a novel modified symbiotic organisms search. **Asian Journal of Civil Engineering**, v. 19, n. 5, p. 625-638, 2018.

RAOUFI, Mohammad; FAYEK, Aminah Robinson. Fuzzy Monte Carlo Agent-Based Simulation of Construction Crew Performance. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 5, 2020.

RAUSCH, Christopher et al. Monte Carlo simulation for tolerance analysis in prefabrication and offsite construction. **Automation in Construction**, v. 103, p. 300-314, 2019.

ROBERTSON, Brian; SRINIVASAN, Raj; MCFARLANE, Duncan. Dynamic Postponement in Off-Site/On-Site Construction Operations in the Face of On-Site Disruptions. In: **International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing**. Springer, Cham, 2018. p. 261-272.

SHAHBAZI, Babak et al. Optimization of Job Allocation in Construction Organizations to Maximize Workers' Career Development Opportunities. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 6, 2019.

SHRESTHA, Prabhat; BEHZADAN, Amir H. Chaos theory-inspired evolutionary method to refine imperfect sensor data for data-driven construction simulation. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 144, n. 3, 2018.

SIU, Ming-Fung Francis; LU, Ming; ABOURIZK, Simaan. Resource supply-demand matching scheduling approach for construction workforce planning. **Journal of construction engineering and management**, v. 142, n. 1, 2016.

SONG, Xiaoling et al. A decision making system for construction temporary facilities layout planning in large-scale construction projects. **International Journal of Civil Engineering**, v. 15, n. 2, p. 333-353, 2017.

TAO, Sha et al. Space-time repetitive project scheduling considering location and congestion. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 32, n. 3, 2018.

VOTTO, Rodrigo; LEE HO, Linda; BERSSANETI, Fernando. Applying and Assessing Performance of Earned Duration Management Control Charts for EPC Project Duration Monitoring. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 146, n. 3, 2020.

ZOU, Xin; ZHANG, Qian; ZHANG, Lihui. Modeling and solving the deadline satisfaction problem in line-of-balance scheduling. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 1, 2018.