

# CONSTRUTIBILIDADE EM PROJETOS ESTRUTURAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Rafaela de Araújo Oliveira<sup>1</sup>  
Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter<sup>2</sup>

## RESUMO

Algumas características de projeto podem ser determinantes na variação de produtividade. Então, conhecer os fatores influenciadores da produtividade pode balizar inúmeras decisões de projeto, favorecendo a construtibilidade. Uma das barreiras para a implantação do conceito de construtibilidade é a dificuldade de mensurar seus benefícios, onde a indústria da construção ainda necessita de métodos para análise e medição de construtibilidade. Diante disso, o objetivo deste trabalho é apresentar, com a realização de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), o estado da arte do conhecimento sobre construtibilidade voltados a projetos estruturais, de forma consubstanciar o tema. A pesquisa foi realizada em três bases: *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*. Após a etapa de seleção, que foi realizada mediante critérios previamente estabelecidos, foram obtidos 22 artigos aderentes aos critérios de inclusão. Foi possível constatar, com a análise de redes de coocorrência dos dados bibliográficos, a formação de três *clusters*. A RSL realizada no presente artigo permitiu obter um entendimento geral, bem como obter mapeamento abrangente dos principais estudos relacionados a construtibilidade de projetos estruturais existentes da literatura. A RSL também possibilitou a classificação dos principais objetos de estudo relacionados a construtibilidade em estrutura: estrutura em geral, formas, estrutura metálica, armação e estrutura de madeira. Além disso, foi possível concluir que as principais metodologias de pesquisa adotadas entre os pesquisadores para análise de construtibilidade foi a entrevista estruturada e *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

**Palavras-chave:** Construtibilidade, Produtividade, Projeto Estrutural, Revisão Sistemática da Literatura.

## CONSTRUCTIBILITY IN STRUCTURAL PROJECTS: A SYSTEMATIC REVIEW

### ABSTRACT

Some project characteristics can be decisive in productivity variation. Therefore, knowing the factors that influence productivity can guide numerous design decisions, favoring constructability. One of the difficulties in implementing the concept of constructability is the difficulty of measuring its benefits, where the construction industry still needs methods for analyzing and measuring constructability. The objective of this work is to present, by carrying out a Systematic Literature Review (RSL), the state of the art of knowledge on constructability focused on structural projects, in order to substantiate the theme. The systematic literature review carried out in this article allowed us to obtain a general understanding, as well as obtain a comprehensive mapping of the main studies related to the constructability of existing structural projects in the literature. The research was carried out in three databases: *Scopus*, *Web of Science* and *Science Direct*. After the selection stage, which was carried out using previously established criteria, 22 articles were obtained that met the inclusion criteria. It was possible to verify, with the analysis of co-occurrence networks of bibliographic data, the formation of three clusters. The RSL also made it possible to classify the main objects of study related to constructability in structure: structure in general, shapes, metallic structure, frame and wooden structure. It was also possible to conclude that the main research methodologies adopted among researchers for constructability analysis were the structured interview and *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

**Keywords:** Constructibility, Productivity, Structural Project, Systematic Literature Review

Recebido em 12 de novembro de 2024. Aprovado em 30 de novembro de 2024

<sup>1</sup> Mestre em Construção Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Goiás. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho e em Projeto de Estrutura de Aço para Edificações. E-mail: engrafaelaaraujo@gmail.com.

<sup>2</sup> Mestre e Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina. Docente na Universidade Federal de Goiás. E-mail: maria\_carolina\_brandstetter@ufg.br.

## INTRODUÇÃO

A produtividade da mão de obra é considerada um dos melhores indicadores para mensurar a eficiência dos processos de produção, e é definida como a eficiência da transformação do esforço humano em serviços (SOUZA, 2006). A produtividade pode ser afetada por dois grandes fatores: conteúdo e o contexto do trabalho a ser executado.

Algumas características de projeto podem ser determinantes na variação de produtividade. Então, conhecer os fatores influenciadores da produtividade pode balizar inúmeras decisões de projeto, de forma que os mesmos podem ser desenvolvidos à luz dos fatores que favoreçam a produtividade e também a construtibilidade (ARAÚJO, 2005).

A construtibilidade é uma característica inerente às construções, que indica o grau de facilidade de execução e a capacidade que as condições de projeto têm em garantir a utilização ótima dos recursos de construção (O'CONNOR; TRUCKER, 1986). Lam *et al.* (2006) destacam que os esforços para melhorar a eficiência da construção devem ser focados na fase de projeto. Portanto, é oportuno que seja dada atenção correspondente aos conceitos de construtibilidade, incluindo a medição desses conceitos (WONG *et al.*, 2006), onde a melhor capacidade de construção pode trazer grandes benefícios de tempo, pontualidade, qualidade e segurança (TRIGUNARSYAH, 2004).

Segundo Silva (2018), as pesquisas científicas em construtibilidade ainda precisam de aperfeiçoamentos em aspectos pontuais de projeto, de forma a implementar de forma sistêmica o conhecimento adquirido em execução, sendo necessário um processo contínuo de retroalimentação de informações que promovam a melhoria de projetos.

Para Poh e Chen (1998) há uma relação positiva entre índices mais altos de construtibilidade e maior produtividade. Então, uma forma objetiva de análise de construtibilidade está na elaboração e aplicação de indicadores de desempenho de construtibilidade. Sistemas de indicadores como forma de medição de desempenho permitem estabelecer critérios objetivos como fatores de sucesso, e a indústria da construção ainda necessita de modelos de medição que ofereçam diretrizes operacionais mais contundentes (CÂNDIDO, 2015).

Vale ressaltar que a maioria das pesquisas anteriores não forneceu orientação específica sobre como medir a capacidade de construção de um projeto, além de não vincular questões de construtibilidade a decisões específicas de projeto (JARKAS, 2012). Assim sendo, uma das dificuldades para a implantação do conceito de construtibilidade é a dificuldade de mensurar seus benefícios, onde a indústria da construção precisa de métodos para representar as condições para análise e medição de construtibilidade (Song e Chua, 2006). Segundo Jarkas (2012), a maioria das recomendações e sugestões existentes para melhoria da construtibilidade, carecem de evidências quantitativas de suporte, o que dá pouca confiabilidade.

Muitos aspectos justificam a importância de se avaliar a construtibilidade de projetos de estrutura e seus impactos na produtividade. Segundo estudo apresentado por Lam *et al.* (2013), o sistema estrutural, dentre os diferentes componentes de um projeto, é o se deve dar mais importância às ponderações de construtibilidade.

Especialmente em projetos de construção de concreto armado, onde o processo de construção de tais estruturas é composto por várias atividades, a investigação e determinação dos efeitos e influência dos fatores de construtibilidade nos níveis de atividade e a quantificação desses fatores em termos mensuráveis, pode fazer com que os benefícios tangíveis do conceito de construtibilidade possam ser percebidos e, assim, formalizados (JARKAS, 2012). Projetistas estruturais têm grandes responsabilidades ao projetar uma estrutura, uma vez que precisam projetar componentes e armaduras de forma que a estrutura possa ser construída tal como foi projetada (WYLLIE JR; LAPLANTE, 2003).

Segundo Navon *et al.* (2000), os problemas de construtibilidade de armaduras são comuns nos projetos estruturais, sendo que na maior parte das vezes, os problemas são descobertos durante ou pouco tempo antes da montagem, causando atrasos no clico da estrutura, aumentando custos e a qualidade do produto final também pode ser afetada. Portanto, a implementação de indicadores práticos pode melhorar o nível de construtibilidade da atividade e, conseqüentemente, traduzir-se em maior eficiência de mão de obra e menores custos de mão de obra. Os padrões de resultados descritos, além disso, podem fornecer orientação para gerentes de construção para planejamento de atividade eficaz e utilização eficiente de mão de obra (JARKAS, 2012).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é apresentar, por meio de Revisão Sistemática da Literatura (RSL), o estado da arte do conhecimento sobre construtibilidade voltados a projetos estruturais, de forma consubstanciar o tema. O presente artigo visa apresentar contribuições a estudos futuros, uma vez que utiliza uma RSL com métodos e critérios bem definidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa, foi adotado o procedimento definido por Tranfield, Denyer e Smart (2003). Nesse estudo, os autores afirmam que a revisão sistemática da literatura (RSL) é um processo sistemático, transparente e possível de se replicar, de forma a reduzir vieses relacionados ao tema em estudo. A RSL é caracteriza por “mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

Tranfield, Denyer e Smart (2003) também dividem a revisão em etapas, que se inicia pelo planejamento, momento este onde as questões de pesquisa são definidas. Posteriormente, há o desenvolvimento do protocolo (condução), onde é feita a seleção dos estudos, extração de dados e síntese de dados. O processo finaliza com a documentação e divulgação das informações obtidas e apresentação de evidencias.

Na etapa de planejamento, buscou-se, através da RSL, responder as seguintes questões norteadoras da pesquisa:

- Como é realizada a determinação dos efeitos e influência dos fatores de construtibilidade de projetos estruturais na literatura?
- É abordada alguma analogia entre a construtibilidade e produtividade da mão de obra nos artigos publicados?
- Quais fatores relacionados ao projeto estrutural são apontados como influenciadores da produtividade da mão de obra e da construtibilidade?

Após a definição das questões de pesquisa, foram definidas as bases de dados em que a busca foi realizada e a seleção foi feita por artigos de periódicos revisados por pares indexados nas bases do *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. A escolha de artigos indexados nessas bases justifica-se por passarem por revisão por pares.

Para definir uma *string* de busca por artigos aderentes ao tema proposto, que usam palavras chaves relacionadas o tema, foi utilizado o método PICOC (*Population, Intervention, Control, Outcome, Context*), conforme Quadro 1 abaixo.

Quadro 1: PICOC

PICOC	DESCRIÇÃO
-------	-----------

<i>Population</i>	Artigos científicos indexados nas bases de dados <i>Scopus</i> , <i>Web of Science</i> , <i>Science Direct</i> , em inglês ou português, que abordem o assunto
<i>Intervention</i>	Artigos que abordem sobre a relação entre projeto estrutural, construtibilidade ou produtividade da mão de obra
<i>Control</i>	Zhu, M., Yang, Y., Gaynor, A. T., Guest, J. K. <i>Considering constructability in structural topology optimization</i>
<i>Outcome</i>	Análise bibliométrica e revisão sistemática das pesquisas sobre construtibilidade relacionada à produtividade da mão de obra e ao projeto estrutural
<i>Context</i>	Construção civil, Projetistas Estruturais

Fonte: O autor

Após a elaboração do PICOC e após leitura de artigos relacionados ao tema em uma pesquisa inicial de caráter exploratório, se definiu a *string* de pesquisa, usando as palavras chaves. Também foi feito um levantamento de palavras sinônimas às palavras chaves. Além disso, foi utilizado os operadores booleanos AND para limitar a pesquisa aos estudos que apresentam as palavras e o OR para retornar estudos que contém pelo menos um dos termos pesquisados. Também foi utilizado o \* para palavra truncada, que retorna estudos com as variantes do termo pesquisado e parênteses para separar logicamente as palavras-chave e sinônimos. Também foi utilizado “” para retorno da expressão completa.

Visto essas definições a *string* definida foi: (design AND struct\* AND building) AND (construction AND (productivity OR constructability OR buildability)).

Considerando alguns critérios de pesquisa de cada base, a busca em cada base se deu da seguinte forma:

- *Scopus*: (design AND struct\* AND building) AND (construction AND (productivity OR constructability OR buildability)) – a busca foi realizada em título, resumo e palavras-chave – filtrada por artigo
- *Web of Science*: (design AND struct\* AND building) AND (construction AND (productivity OR constructability OR buildability)) – a busca foi realizada em tópicos, que corresponde a pesquisa em título, resumo, palavras-chave do autor – filtrada por artigo
- *Science direct*: (design AND (structure OR structural) AND building) AND (construction AND (productivity OR constructability OR buildability)) – o asterisco da *string* foi removido porque o banco de dados não reconhece esse símbolo e a busca foi realizada em título, resumo e palavra-chave no campo principal.

Os resultados das buscas em cada base, bem como suas principais informações foram exportadas em formato CSV e com o auxílio da ferramenta Parsifal foi verificada a existência de duplicidade de artigos. Posteriormente, a seleção de artigos se deu através da aplicação de critérios de inclusão e os artigos que não atenderam um dos critérios de inclusão descritos no Quadro 2, foram excluídos.

Quadro 2: Critérios de inclusão

Critério de Inclusão
Tratar de obras de construção civil
Tratar sobre projeto estrutural de edificações
Tratar sobre a influência das decisões do projeto estrutural na produtividade da mão de obra ou na construtibilidade

Fonte: O autor

É importante salientar que não foi estabelecido período de tempo para recorte das publicações, a fim de se verificar a evolução história do tema. Nas bases de dados foram selecionados somente artigos de periódicos e foram excluídos artigos com idioma que não português e inglês. O processo de seleção das publicações foi realizado em etapas de leitura, conforme discriminado no Quadro 3.

Quadro 3: Etapas de seleção das publicações

Etapas
Verificação da existência de duplicidade
Exclusão de artigos através da leitura do título e resumo
Verificação da disponibilidade de <i>download</i> para leitura completa do artigo
Exclusão de artigos pela leitura completa do artigo

Fonte: O autor

Na primeira etapa, o artigo foi avaliado pela leitura do título, onde verificou-se previamente a aderência do tema estudado; na segunda, foi avaliado pela leitura do resumo. Após essas duas etapas, buscou-se a disponibilidade dos artigos para leitura completa, sendo que os estudos indisponíveis foram eliminados. Com isso, procedeu-se para a leitura completa dos artigos restantes, onde os artigos não aderentes foram eliminados. Toda seleção descrita acima foi feita através do Parsifal.

Finalizada a seleção de artigos, os mesmos foram submetidos a uma avaliação de qualidade. A avaliação da qualidade refere-se à avaliação da validade interna de um estudo e o grau em que seu desenho, condução e análise minimizaram vieses ou erros (TRANFIELD, DENYER; SMART;2003). A avaliação também foi feita pelo Parsifal. Para avaliar os artigos, foram definidos 05 (cinco) critérios, sendo que para o artigo que atendesse totalmente um critério seria atribuído nota 2,5; parcialmente nota 1,25 e não atendesse nota 0, de forma que, caso o artigo atendesse totalmente a todos os critérios pontuaria 10,00 (nota máxima) e com nota mínima de 5 pontos. Os critérios de qualidade estão discriminados no quadro 4.

Quadro 4: Critérios de qualidade

Tipo de avaliação	Pergunta
Avaliação da metodologia	A metodologia é detalhada de forma adequada?
Avaliação dos resultados	Os resultados são expostos de forma objetiva?
Avaliação da conclusão	A conclusão demonstra contribuição ao tema?
	A conclusão responde adequadamente ao objetivo?

Fonte: O autor

Após a avaliação da qualidade, foram extraídos dados bibliométricos tais como: quantidade de publicações no decorrer dos anos, autores, países das instituições e palavras-chave recorrentes. Os dados bibliométricos obtidos com a revisão sistemática foram extraídos com auxílio das ferramentas *VosViewer* e *Biblioshiny*.

Os artigos aderidos finais também passaram por uma análise crítica, a fim de se extrair o conteúdo dos artigos aderentes da pesquisa. A análise objetivou de responder as perguntas norteadoras desta RSL, buscando compreender as principais formas de avaliação de construtibilidade de projetos estruturais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A busca de dados foi realizada no dia 14 de outubro de 2022 e resultou em um total de 1032 publicações. A Tabela 1 apresenta o número de artigos encontrados em cada base pesquisada.

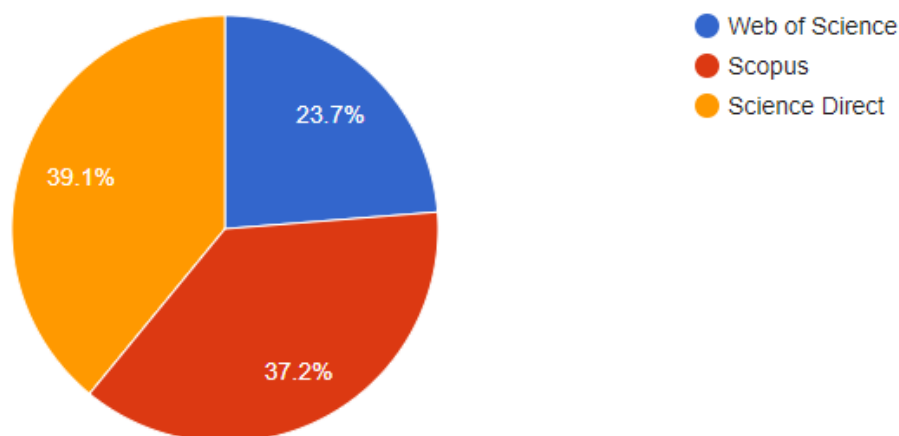
Tabela 1 - Artigos por bases

Base de pesquisa	Artigos devolvidos
<i>Scopus</i>	384 artigos
<i>Science Direct</i>	403 artigos
<i>Web of Science</i>	245 artigos

Fonte: O autor

Em relação ao total de artigos, 39,1% foram encontrados na *Science Direct*, 23,7% na *Web of Science* e 37,2% no *Scopus*, conforme Figura 1.

Figura 1 – Representação gráfica dos artigos por base de pesquisa



Fonte: O autor

Após a busca, a seleção iniciou-se com aplicação dos critérios de inclusão. A Tabela 2 apresenta a quantidade de artigos excluídos em cada etapa, sendo: etapa de análise de artigos duplicados, análise de artigos através da leitura do título, análise artigos através da leitura do resumo, verificação da disponibilidade de leitura do artigo e análise de artigos através de leitura completa, respectivamente.

Tabela 2 - Quantidade de artigos excluídos por etapa

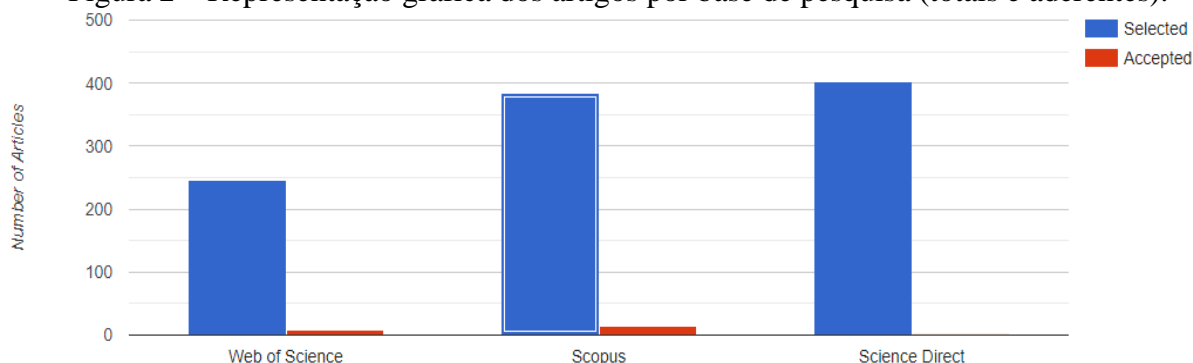
Etapa	Artigos excluídos	Artigos restantes
Artigos duplicados	185 artigos	847 artigos
Artigos excluídos pela leitura do título e do resumo	768 artigos	79 artigos
Artigos indisponíveis para leitura completo	31 artigos	48 artigos
Artigos excluídos pela leitura parcial ou completa	26 artigos	22 artigos
Total de artigos aderentes	22 artigos	

Fonte: O autor

Após a leitura completa dos artigos, os mesmos passaram pela análise de qualidade, ressalta-se que nenhum artigo obteve nota inferior a 5,0.

Definidos os dados na matriz de síntese, calcularam-se variáveis bibliométricas como ano de publicação, local de publicação e principais pesquisadores do assunto. Na Figura 2 são apresentadas as quantidades obtidas em cada base de dados (azul), bem como a quantidade de artigos aderentes (vermelho). Pode-se observar que não houve artigos aderentes da *Science Direct* e a base de dados *Scopus* foi a base com mais artigos aderentes (14 artigos), seguido da *Web of Science* com 8 artigos.

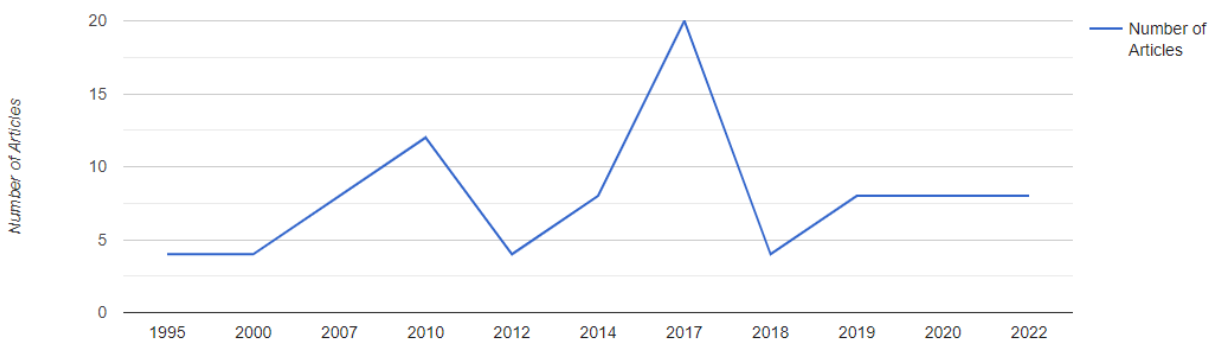
Figura 2 – Representação gráfica dos artigos por base de pesquisa (totais e aderentes).



Fonte: O autor

Em relação ao ano de publicação, tem-se a primeira publicação em 1995, do trabalho *Constructability information classification scheme* (HANLON; SANVIDO, 1995) e desde então, o tema aparece sugerindo crescente interesse dos pesquisadores, apresentando o pico de publicações no ano de 2017. A publicação mais recente é do ano de 2022, *Formwork System Selection Criteria for Building Construction Projects: A Structural Equation Modelling Approach* (TERZIOGLU; POLAT; TURKOGU, 2022), conforme Figura 3.

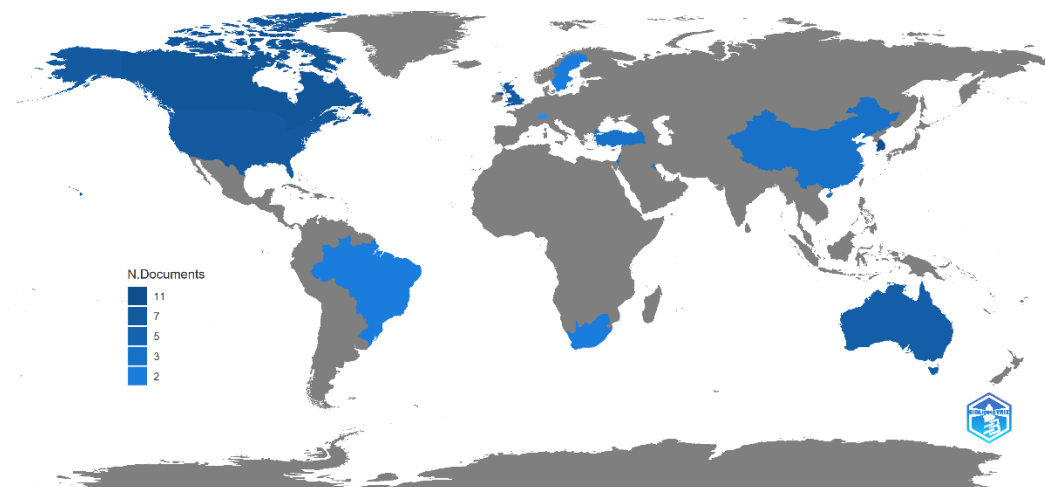
Figura 3 – Representação gráfica dos artigos por ano de publicação



Fonte: O autor

Quanto aos países, realizou-se levantamento dos países das instituições dos autores, apresentado na Figura 4. A Coreia lidera com participação em 11 (onze) pesquisas, seguido pelo Canadá com 8 (oito) pesquisas, Reino Unido e Estados Unidos com 7 (sete) pesquisas, Austrália com 6 (seis) pesquisas, Singapura com 5 (cinco) pesquisas e China, Israel, Turquia e Kuwait com 3 (três) pesquisas.

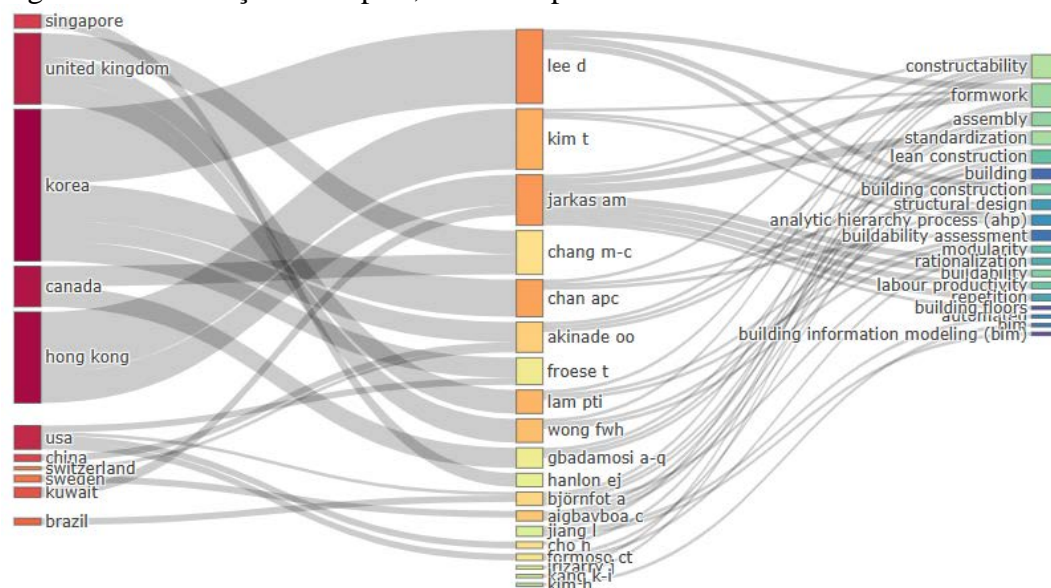
Figura 4 – Mapa de produção científica por país



Fonte: O autor

Os dois autores com a maior relevância são: Lee D., da *School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University*, com 4 publicações e Jarkas A.M, da *Mazaya Holding Co., KSCC, Kuwait City, Kuwait*, 3 publicações. A Figura 5 apresenta a associação entre os autores mais relevantes, seus países e suas palavras-chave.

Figura 5 – Correlação entre país, autores e palavras-chave.

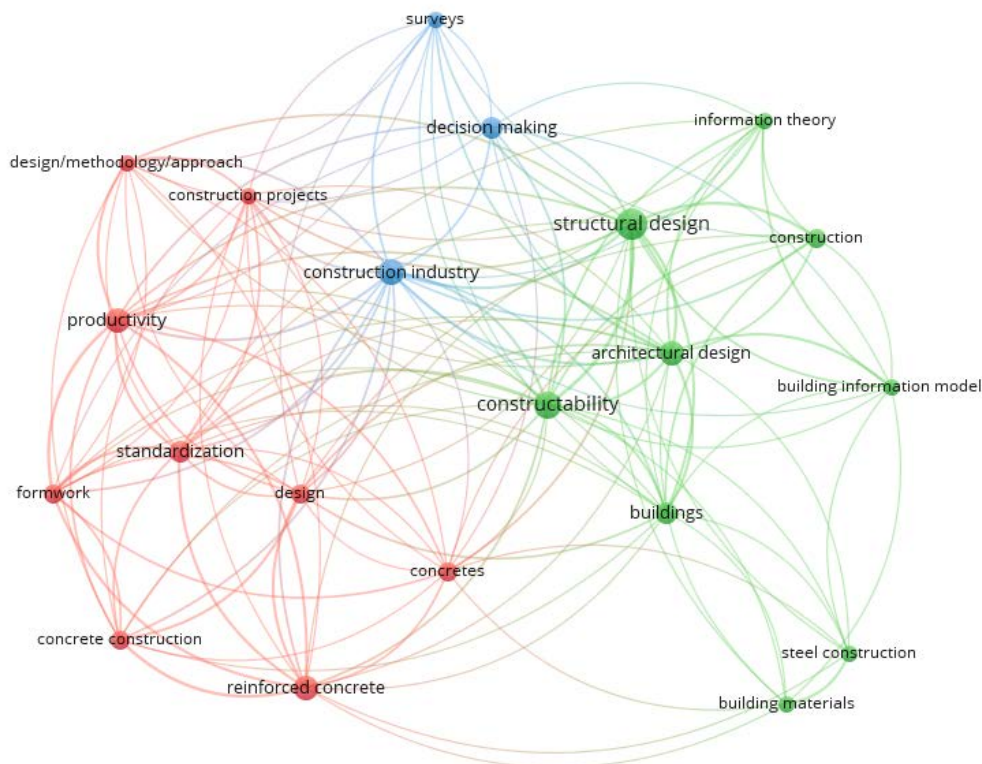


Fonte: O autor

Outra análise foi realizada nas palavras-chave utilizadas pelos autores em suas pesquisas. Foram consideradas palavras-chave que apareceram em pelo menos três artigos e esse critério foi estabelecido para que fossem analisadas as correlações mais recorrentes, onde três *clusters* foram formadas após a aplicação desse parâmetro, conforme mapa de coocorrência de palavras-chave, conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6 – Mapa de coocorrência de palavras-chave



Fonte: O autor

A palavra-chave mais citada é “*structural design*”, com 10 (dez) ocorrências e peso de 41, seguida de “*constructability*” com 8 (oito) ocorrências, e de “*construction industry*” com 7 (sete) ocorrências

Pelas análises gráficas, foram identificados três *clusters*, sendo:

(a) em vermelho, um *cluster* relativo à produtividade, com foco maior em execução de estruturas de concreto;

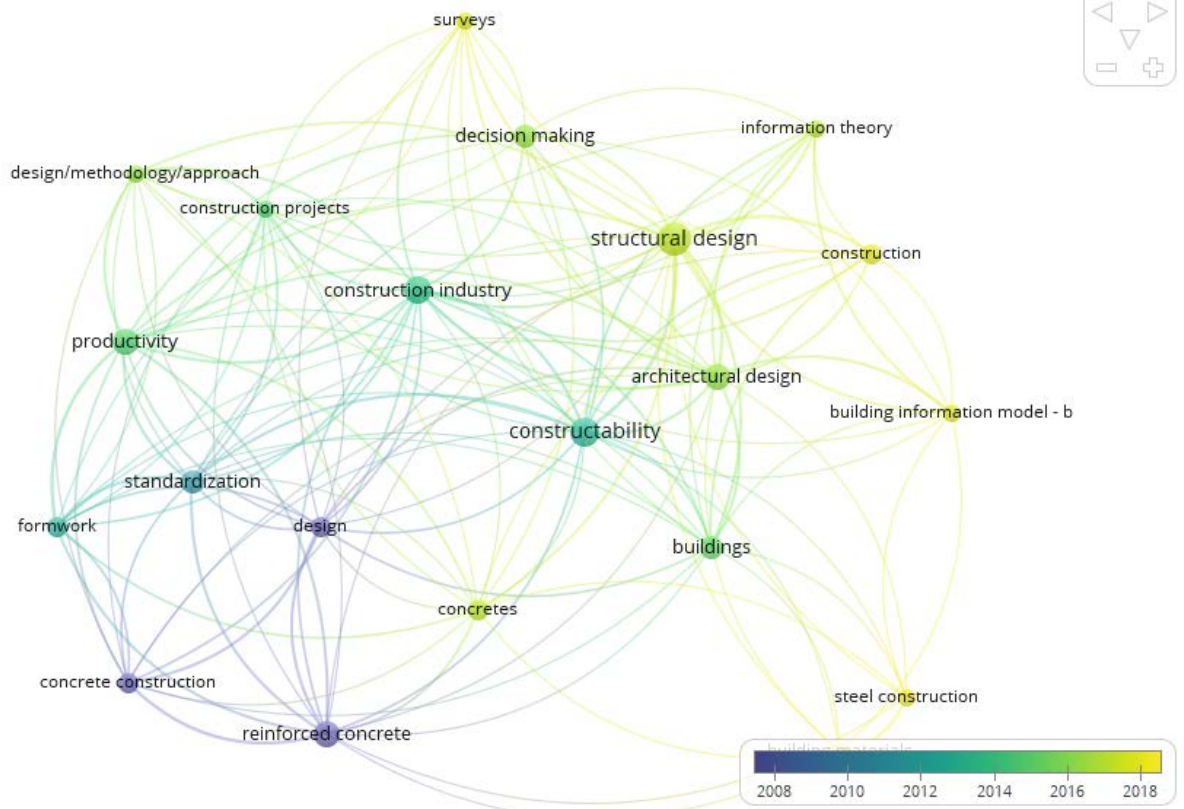
(b) em azul, um *cluster* relativo à análise da indústria da construção, como foco maior em tomada de decisão;

(c) em verde, um *cluster* relativo a construtibilidade, com foco maior em projeto estrutural, projeto arquitetônico e edificações.

Os dois *clusters* em maior evidência, (a) e (c), relacionam com as palavras-chave da pesquisa, porém ambas não pertencem ao mesmo *cluster*, o que confirma uma lacuna no conhecimento da relação entre construtibilidade e produtividade da mão de obra nos artigos aderentes.

Outra análise foi realizada nas palavras-chave utilizadas pelos autores em suas pesquisas (em pelo menos três artigos) em relação ao tempo. Nota-se um foco maior nos últimos anos em palavras-chave relacionadas ao projeto, mostrando que está sendo dada uma maior importância nas pesquisas atuais para análise dos fatores de projeto relacionados a construtibilidade. A análise está demonstrada no mapa de coocorrência de palavras-chave por ano, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Mapa de coocorrência de palavras-chave por ano

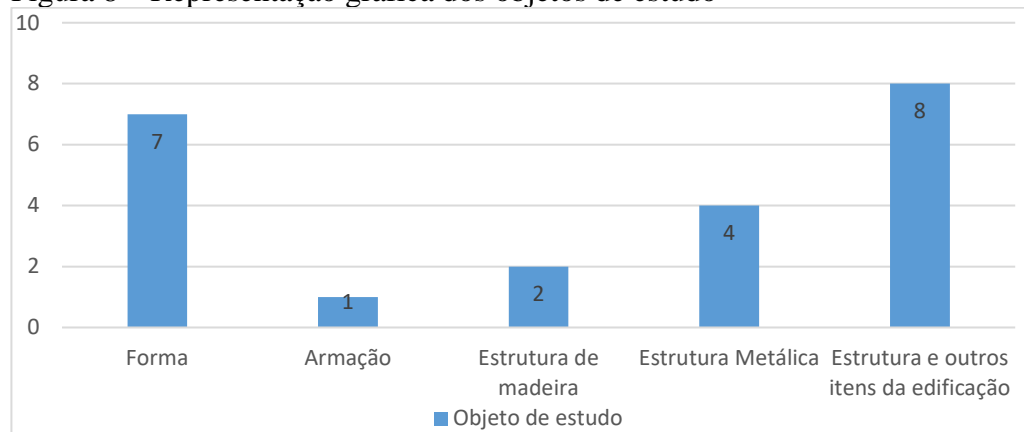


Fonte: O autor

Outro fator considerado foi a relação do conteúdo com as publicações, bem como a descrição dos dados e as informações contidas em cada artigo. Os trabalhos foram então classificados, considerando cinco categorias, sendo que a que agrupou a maior parte das pesquisas foram os trabalhos que tratavam de estrutura e outros itens da edificação, correspondendo a 36,36% dos estudos aderentes.

O segundo maior número de estudos foi relacionado a formas, com 31,82% dos trabalhos, seguido de estrutura metálica, com 13,64% dos trabalhos; armação, com 9,09% dos trabalhos e estrutura de madeira, com 9,09% dos trabalhos, conforme Figura 8.

Figura 8 – Representação gráfica dos objetos de estudo



Fonte: O autor

É importante avaliar o tipo de metodologia aplicada nos trabalhos. Por se tratar de um construto, ideia ou teoria construída a partir de elementos conceituais ou subjetivos, não baseados em evidências empíricas (SACCOL, 2009), a maioria dos trabalhos utilizou a entrevista estruturada como padrão metodológico, conforme representado no Quadro 5.

Quadro 5 – Método de pesquisa por artigo

Referência	Objeto de estudo	Método de pesquisa
LEE, D. <i>et al.</i> <i>Development of an advanced composite system form for constructability improvement through a design for six sigma process. Journal of Civil Engineering and Management</i> , v. 26, n. 4, p. 364–379, 2020b.	Forma	Entrevista estruturada; <i>Design for Six Sigma</i> (DFSS); <i>Quality Function Deployment</i> (QFD); <i>Theory of creative problem-solving</i> (TRIZ); Construção de prototipagem
ZHONG, Y.; LING, F. Y. Y.; WU, P. <i>Using Multiple Attribute Value Technique for the Selection of Structural Frame Material to Achieve Sustainability and Constructability. Journal of Construction Engineering and Management</i> , v. 143, n. 2, 2017.	Estrutura metálica	Entrevista estruturada; Método do valor atribuído; AHP
JARKAS, A. M. <i>Buildability factors influencing formwork labour productivity of isolated foundations. Journal of Engineering, Design and Technology</i> , v. 8, n. 3, p. 274–295, 2010b.	Forma	Análise de produtividade; Análise de regressão linear
KASBAR, M. <i>et al.</i> <i>Construction productivity assessment on Brock Commons Tallwood House. Construction Innovation</i> , v. 21, n. 4, p. 951–968, 2021.	Estrutura de Madeira	Análise de produtividade; Entrevista estruturada
LEE, D. <i>et al.</i> <i>Analytic hierarchy process-based construction material selection for performance improvement of building construction: The case of a concrete system form. Materials</i> , v. 13, n. 7, 2020a.	Forma	Entrevista estruturada; AHP
MOHSENIJAM, A.; LU, M. <i>Framework for developing labour-hour prediction models from project design features: Case study in structural steel fabrication. Canadian Journal of Civil Engineering</i> , v. 46, n. 10, p. 871–880, 2019.	Estrutura metálica	Método de regressão linear múltipla;
LIN, E. T. A. <i>et al.</i> <i>Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. Engineering, Construction and Architectural Management</i> , v. 24, n. 6, p. 1350–1371, 2017.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; <i>Building Information Modeling</i> (BIM)
ZOLFAGHARIAN, S.; IRIZARRY, J. <i>Constructability Assessment Model for Commercial Building Designs in the United States. Journal of Construction Engineering and Management</i> , v. 143, n. 8, 2017.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; AHP

SHARAFI, P. <i>et al.</i> <i>Identification of Factors and Decision Analysis of the Level of Modularization in Building Construction. Journal of Architectural Engineering</i> , v. 24, n. 2, 2018	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; Técnica de multicritério
LAM, P. T. I. <i>et al.</i> <i>A scheme design buildability assessment model for building projects. Construction Innovation</i> , v. 12, n. 2, p. 216–238, 2012.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; AHP
LAM, P. T. I. <i>et al.</i> <i>Constructability rankings of construction systems based on the analytical hierarchy process. Journal of Architectural Engineering</i> , v. 13, n. 1, p. 36–43, 2007.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; AHP
JARKAS, A. M. <i>The impacts of buildability factors on formwork labour Productivity of columns. Journal of Civil Engineering and Management</i> , v. 16, n. 4, p. 471–483, 2010c.	Forma	Análise de produtividade; Método de regressão categórica
BJÖRNFOT, A.; STEHN, L. <i>A design structural matrix approach displaying structural and assembly requirements in construction: A timber case study. Journal of Engineering Design</i> , v. 18, n. 2, p. 113–124, 2007	Estrutura de Madeira	Entrevista estruturada <i>Quality Function Deployment (QFD)</i> , Design structural matrix (DSM).
GBADAMOSI, A.-Q. <i>et al.</i> <i>Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly. Journal of Cleaner Production</i> , v. 215, p. 1180–1190, 2019.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada; AHP; BIM
NAVON, R.; SHAPIRA, A.; SHECHORI, Y. <i>Automated rebar constructability diagnosis. Journal of Construction Engineering and Management</i> , v. 126, n. 5, p. 389–397, 2000.	Armação	Entrevista estruturada; Construção de prototipagem
JIANG, L.; LEICHT, R. M. <i>Automated rule-based constructability checking: Case study of formwork. Journal of Management in Engineering</i> , v. 31, n.	Forma	Método baseado em regra; BIM
KUO, V.; WIUM, J. A. <i>The management of constructability knowledge in the building industry through lessons learnt programmes. Journal of the South African Institution of Civil Engineering</i> , v. 56, n. 1, p. 20–27, 2014.	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada
CHANG, M.-C.; SHIH, S.-G.; SCHMITT, G. <i>Information theory-based approach for constructability assessment in truss structural systems. Automation in Construction</i> , v. 82, p. 84–102, 2017.	Estrutura metálica	Teoria da informação; Método Monte Carlo; Cadeia de Markov
JARKAS, A. M. <i>Buildability factors affecting formwork labour productivity of building floors. Canadian Journal of Civil Engineering</i> , v. 37, n. 10, p. 1383–1394, 2010a.	Forma	Análise de produtividade; Método de regressão categórica
HANLON, E. J.; SANVIDO, V. E. <i>Constructability information classification</i>	Estrutura geral e outros itens da edificação	Entrevista estruturada

<i>scheme. Journal of Construction Engineering and Management</i> , v. 121, n. 4, p. 337–345, 1995.		
TERZIOGLU, T.; POLAT, G.; TURKOGLU, H. <i>Formwork System Selection Criteria for Building Construction Projects: A Structural Equation Modelling Approach. Buildings</i> , v. 12, n. 2, 2022.	Forma	Entrevista estruturada; Análise fatorial exploratória
VIANA, D. D.; TOMMELEIN, I. D.; FORMOSO, C. T. <i>Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization. Energies</i> , v. 10, n. 10, 2017.	Estrutura metálica	Análise de produtividade; Entrevista estruturada

Para estimativa da validade e confiabilidade dos dados foi necessária a verificação da consistência interna dos construtos medidos pelo questionário. Houve validação do construto de diversas formas, onde o principal método utilizado foi o *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Segundo Fu (2019), o método AHP pode ser aplicado com sucesso para analisar qualitativamente um conjunto de critérios.

Analisando os trabalhos cujo objeto de estudo eram formas, os principais pesquisadores sobre o assunto foram Lee *et al.* (2020) e Jarkas (2010). O autor Abdulaziz Jarkas, em seus três trabalhos, utilizou como metodologia análise de dados de produtividade.

Jarkas (2010 b) investigou e quantificou os efeitos e a influência relativa dos seguintes fatores de construtibilidade na produtividade da mão de obra de formas de fundações isoladas, analisando padrões de grade; variabilidade dos tamanhos das fundações, superfície total; e superfície média. Os efeitos dos fatores de construtibilidade investigados foram analisados usando métodos de regressão linear simples e múltipla e os resultados obtidos mostram que, independentemente dos tamanhos das fundações, os efeitos dos fatores de construtibilidade investigados na produtividade da mão de obra de forma são estatisticamente significativos.

O mesmo autor (JARKAS, 2010 c) realizou uma pesquisa objetivando os impactos dos fatores de construtibilidade na produtividade da mão de obra de fôrmas de pilares. Para atingir esse objetivo, um grande volume de dados de produtividade foi coletado e analisado pelo método de regressão categórica. Os fatores de construtibilidade explorados incluíram: a relação entre o número total de pilares e o número total de origens dos eixos dos pilares; variabilidade de tamanhos de coluna; repetição de tamanhos; tamanhos de coluna. O autor conclui que os fatores de construtibilidade investigados, em ambos os níveis, macro e micro, são significativos em seus impactos na produtividade da mão de obra.

Lee *et al.* (2020 b) propuseram um novo sistema baseado em material compósito para a construção civil através de um processo DFSS incluindo QFD e TRIZ para melhorar a produtividade de formas. Os princípios inovadores gerais TRIZ foram sistematicamente integrados e prototipados, e então testados em um canteiro de obras para verificar a produtividade e construtibilidade da nova forma composta. Segundo os autores, os quesitos de construtibilidade com mais importância foram: facilidade de montagem, redução de ruído, facilidade de desforma, transporte e elevação eficiente e redução de acidentes.

Lee *et al.* (2020 a) avaliaram um modelo de seleção de materiais de construção para formas de concreto. Por meio da metodologia AHP, foi fabricada uma forma de concreto que atendeu aos requisitos técnicos e do usuário para melhoria de desempenho. Os resultados deste estudo sugerem que a seleção adequada de materiais de construção é muito eficaz como método para aumentar o desempenho da construção, além de auxiliar em problemas que envolvem queda de produtividade.

Ainda sobre formas, alguns trabalhos utilizaram o BIM para avaliação de construtibilidade. Jiang e Leicht (2014), apresenta uma abordagem de uma verificação de

construtibilidade automatizada e baseada em regras com o auxílio da modelagem de informações da construção (BIM), onde a aplicação dos conjuntos de regras desenvolvidos em um projeto de estudo de caso com uma estrutura de concreto mostrou a viabilidade da abordagem.

Terzioglu *et al.* (2022) concluíram que o desempenho de construtibilidade do projeto de construção pode ser melhorado significativamente ao considerar conjuntamente o projeto estrutural e o sistema de forma selecionado durante a fase de projeto, onde o projeto estrutural tem efeitos indiretos nos indicadores de custo e desempenho.

Nos trabalhos voltados a estrutura metálica, Zhong *et al.* (2016) objetivaram desenvolver e testar um sistema de apoio à decisão para a seleção de materiais estruturais considerando sustentabilidade econômica, sustentabilidade ambiental e desempenho de construtibilidade. Os autores concluíram que em desempenho de construtibilidade, os edifícios com estrutura metálica superam os edifícios com estrutura concreto armado em economia de mão de obra, duração da construção e qualidade da construção.

Changa *et al.* (2017) propuseram uma medida quantitativa de projeto de sistema estrutural de treliça que pode ser usada como um índice de construtibilidade, abordando uma metodologia de teoria da informação combinada com grupos de simetria, cadeia de Markov e métodos de Monte Carlo. Os autores concluem que se for dada a devida atenção à construtibilidade durante a fase de projeto, a eficiência da construção pode ser melhorada.

Dentre os trabalhos que se destinaram a avaliar a construtibilidade tanto da estrutura, como de outros elementos da edificação, destaca-se o trabalho de Lam *et al.* (2012), que analisaram cerca de 32 decisões de projeto que abrangem a arquitetura, estrutura, fechamento do edifício, telhado e outros elementos, e concluíram que uma das decisões com maior impacto na construtibilidade é, dentre outras, o grau de padronização.

Em outro estudo realizado Gbadamosi *et al.* (2019), que integra os princípios da construção enxuta e DFMA para desenvolver um sistema de avaliação de projeto para otimização, foram identificados os fatores a serem priorizados em (i) facilidade de montagem (ii) facilidade de manuseio (iii) rapidez de montagem; e (iv) resíduos de montagem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática da literatura realizada no presente artigo permitiu obter um entendimento geral, bem como obter mapeamento abrangente dos principais estudos relacionados a construtibilidade de projetos estruturais existentes da literatura. Após a etapa de seleção, que foi realizada mediante critérios previamente estabelecidos, foram obtidos 22 artigos aderentes aos critérios de inclusão.

A análise de redes de coocorrência dos dados bibliográficos permitiu a identificação de *clusters*, dos quais se destacam o *cluster* relativo à produtividade, com foco maior em execução de estruturas de concreto; o *cluster* relativo à análise da indústria da construção, como foco maior em tomada de decisão; o *cluster* relativo a construtibilidade, com foco maior em projeto estrutural, projeto arquitetônico e edificações.

Os resultados encontrados apontam para pesquisas que vão de 1995 até o ano de 2022, sendo o máximo de publicações realizadas no ano de 2017. Nota-se um foco maior nos últimos anos em palavras-chave relacionadas ao projeto, mostrando uma maior ênfase nas pesquisas atuais para análise dos fatores de projeto relacionados a construtibilidade.

Em relação aos autores, Lee D., da School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University e Jarkas A.M, da Mazaya Holding Co., KSCC, Kuwait City, Kuwait, lideram com 4 publicações e 3 publicações respectivamente.

Já em relação aos países, a Coreia lidera com participação em 11 (onze) pesquisas, seguido pelo Canadá com 8 (oito) pesquisas, Reino Unido e Estados Unidos com 7 (sete) pesquisas, Austrália com 6 (seis) pesquisas, Singapura com 5 (cinco) pesquisas e China, Israel, Turquia e Kuwait com 3 (três) pesquisas.

A RSL possibilitou a classificação dos principais objetos de estudo relacionados a construtibilidade, seguido de formas, estrutura metálica, armação e estrutura de madeira. Também foi possível concluir que a principal metodologia adotada entre os pesquisadores foi a entrevista estruturada e AHP.

Por fim, pode-se concluir também que os dois maiores *clusters*, relacionados a produtividade e a construtibilidade, palavras-chave do presente artigo, não se encontram no mesmo *cluster*, o que confirma que há uma lacuna no conhecimento da relação entre construtibilidade e produtividade da mão de obra nos artigos aderentes. Tal fato explicita a importância de gerar estudos que retratem melhor a relação entre produtividade da mão de obra e construtibilidade.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. O. C. Método para proposição de diretrizes para melhoria da produtividade da mão-de-obra na produção de armadura. 2005. 503p. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- BJOERNFOT, A.; STEHN, L. A design structural matrix approach displaying structural and assembly requirements in construction: a timber case study. JOURNAL OF ENGINEERING DESIGN, v. 18, n. 2, p. 113–124, abr. 2007.
- BJÖRNFOT, A.; STEHN, L. A design structural matrix approach displaying structural and assembly requirements in construction: A timber case study. Journal of Engineering Design, v. 18, n. 2, p. 113–124, 2007.
- CÂNDIDO, L.F. Análise de Sistemas de Medição de desempenho na construção civil: oportunidades de melhoria a partir da literatura e da experiência de construtoras cearenses. 2015. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015

- CHANG, M.-C.; SHIH, S.-G.; SCHMITT, G. Information theory-based approach for constructability assessment in truss structural systems. *Automation in Construction*, v. 82, p. 84–102, 2017.
- GBADAMOSI, A.-Q. et al. Offsite construction: Developing a BIM-Based optimizer for assembly. *Journal of Cleaner Production*, v. 215, p. 1180–1190, 2019.
- HANLON, E. J.; SANVIDO, V. E. Constructability information classification scheme. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 121, n. 4, p. 337–345, 1995.
- JARKAS, A. M. Buildability factors affecting formwork labour productivity of building floors. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 37, n. 10, p. 1383–1394, 2010a.
- JARKAS, A. M. Buildability factors influencing formwork labour productivity of isolated foundations. *Journal of Engineering, Design and Technology*, v. 8, n. 3, p. 274–295, 2010b.
- JARKAS, A. M. The impacts of buildability factors on formwork labour Productivity of columns. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 16, n. 4, p. 471–483, 2010c.
- JARKAS, A. M. Influence of buildability factors on rebar installation labor productivity of colums. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 138, n. 2, 2012.
- JIANG, L.; LEICHT, R. M. Automated rule-based constructability checking: Case study of formwork. *Journal of Management in Engineering*, v. 31, n. 1, 2014.
- KASBAR, M. et al. Construction productivity assessment on Brock Commons Tallwood House. *Construction Innovation*, v. 21, n. 4, p. 951–968, 2021.
- KUO, V.; WIUM, J. A. The management of constructability knowledge in the building industry through lessons learnt programmes. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, v. 56, n. 1, p. 20–27, 2014.
- LAM, P. T. I. et al. Constructability rankings of construction systems based on the analytical hierarchy process. *Journal of Architectural Engineering*, v. 13, n. 1, p. 36–43, 2007.
- LAM, P. T. I. et al. A scheme design buildability assessment model for building projects. *Construction Innovation*, v. 12, n. 2, p. 216–238, 2012.
- LAM, P. T. I. et al. Benchmarking buildability using the buildability assessment model in Hong Kong. scheme design buildability assessment. *The Hong Kong Institution of Engineers Transactions*. Vol . 15, n. 1. 2013.
- LEE, D. et al. Analytic hierarchy process-based construction material selection for performance improvement of building construction: The case of a concrete system form. *Materials*, v. 13, n. 7, 2020a.
- LEE, D. et al. Development of an advanced composite system form for constructability improvement through a design for six sigma process. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 26, n. 4, p. 364–379, 2020b.
- LEE D., K. T., Lee D. ., Lee M. ., Kim M. Analytic hierarchy process-based construction material selection for performance improvement of building construction: The case of a concrete system form. v. 13, n. 7, jan. 2020.
- LIN, E. T. A. et al. Framework for productivity and safety enhancement system using BIM in Singapore. *Engineering, Construction and Architectural Management*, v. 24, n. 6, p. 1350–1371, 2017.
- MOHSENIJAM, A.; LU, M. Framework for developing labour-hour prediction models from project design features: Case study in structural steel fabrication. *Canadian Journal of Civil Engineering*, v. 46, n. 10, p. 871–880, 2019.
- NAVON. R.; SHAPIRA, A.; SHECHORI, Y. Automated rebar constructability diagnosis. *Journal of Construction Engineering and Management*. v.126, n. 5, p. 389-397, 2000.
- NAVON, R.; SHAPIRA, A.; SHECHORI, Y. Automated rebar constructability diagnosis. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 126, n. 5, p. 389–397, 2000.



- O'CONNOR, J. T. Constructability implementation guide. Construction Industry Institute. VI. 34-1. 2ª Ed, 2006.
- POH, P.S.H.; CHEN, J. The Singapore Buildable Design Appraisal System: a preliminary review of the relationship between buildability, site productivity and cost. *Construction Management & Economics*. v. 16, n. 6, p 681-692, 1998.
- SHARAFI, P. et al. Identification of Factors and Decision Analysis of the Level of Modularization in Building Construction. *Journal of Architectural Engineering*, v. 24, n. 2, 2018.
- SILVA, F. A. C. Proposta de melhoria na construtibilidade de edificações a partir da implantação de banco de lições aprendidas. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2018.
- SOUZA, U. E. L. Como aumentar a eficiência da mão de obra: manual de gestão da produtividade na construção civil. Editora Pini, 2006
- TERZIOGLU, T.; POLAT, G.; TURKOGLU, H. Formwork System Selection Criteria for Building Construction Projects: A Structural Equation Modelling Approach. *Buildings*, v. 12, n. 2, 2022.
- TRIGUNARSYAH, B. Constructability Practices among Construction Contractors in Indonesia. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 130, 2004.
- VIANA, D. D.; TOMMELEIN, I. D.; FORMOSO, C. T. Using modularity to reduce complexity of industrialized building systems for mass customization. *Energies*, v. 10, n. 10, 2017.
- WYLLIE JR, L.A; LAPLANTE, R.W. The designer's responsibility: for rebar design CRSI. *The Structural Bulletin Series*. No 1, 2003.
- WONG, F.W.H; LAM, P.T.I; CHAN, E.H.W; WONG, F.K.W. Factors affecting buildability of building designs. *Canadian Journal of Civil Engineering*. Vol. 33, 2006
- ZHONG, Y.; LING, F. Y. Y.; WU, P. Using Multiple Attribute Value Technique for the Selection of Structural Frame Material to Achieve Sustainability and Constructability. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 143, n. 2, 2017.
- ZOLFAGHARIAN, S.; IRIZARRY, J. Constructability Assessment Model for Commercial Building Designs in the United States. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 143, n. 8, 2017.