



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

PEDRO DANTAS BEZERRA BRAGA

**PROGRESSO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA SOBRE LÓGICA
FUZZY APLICADA À CONSTRUÇÃO CIVIL**

**NATAL-RN
2021**

Pedro Dantas Bezerra Braga

Progresso da produção científica sobre Lógica *Fuzzy* aplicada à construção civil

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro
da Câmara de Queiroz

Coorientador: Prof. Dr. Reymard Savio Sampaio
De Melo

Natal-RN
2021

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Braga, Pedro Dantas Bezerra.

Progresso da produção científica sobre Lógica Fuzzy aplicada à construção civil / Pedro Dantas Bezerra Braga. - 2021.
57f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Natal, 2021.

Orientador: Dr. Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de Queiroz.

Coorientador: Dr. Reymard Savio Sampaio de Melo.

1. Análise bibliométrica - Monografia. 2. Análise cientométrica - Monografia. 3. Análise de conteúdo - Monografia. 4. Lógica fuzzy - Monografia. 5. Construção civil - Monografia. I. Queiroz, Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de. II. Melo, Reymard Savio Sampaio de. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

Pedro Dantas Bezerra Braga

Progresso da produção científica sobre Lógica *Fuzzy* aplicada à construção civil

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Monografia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 10 de setembro de 2021:

Prof. Dr. Luiz Alessandro Pinheiro da Câmara de Queiroz – Orientador

Prof. Dr. Reymard Savio Sampaio de Melo – Coorientador

Prof. Dr. José Alfredo Ferreira Costa – Examinador interno

Profa. Dra. Tatiana Gondim do Amaral – Examinador externo

Natal-RN

2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

À minha família que sempre me apoiando incondicionalmente em todos os momentos de minha jornada, enquanto estava me dedicando a este trabalho. Em especial aos meus pais que sempre deram o suporte necessário para que realizasse o meu sonho e a minha namorada que sempre esteve presente em todas as etapas da minha jornada acadêmica.

Aos meus amigos que conquistei e preservei ao longo do período, sempre me dando suporte a quaisquer necessidades e obstáculos enfrentados.

Ao professor Dr. Sávio Melo, por ter sido meu orientador acadêmico desde o período da monitoria ao final do curso, e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

A todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

À UFRN, que foi essencial no meu processo de formação profissional e pessoal ao longo dos anos em que estive presente na instituição.

Stay hungry, stay foolish.

Steve Jobs

RESUMO

Progresso da produção científica sobre Lógica *Fuzzy* aplicada à construção civil

A Indústria da Construção 4.0 é caracterizada pela mudança de paradigma, destinada ao aumento da produtividade e eficiência competitiva, que poderá revolucionar as práticas e técnicas do setor, sendo a lógica fuzzy um dos temas relacionados. Este estudo tem como objetivo revisar o progresso da produção científica internacional sobre lógica fuzzy aplicada à construção civil. Foram selecionados artigos de periódicos com fator de impacto superior a 1,0, e a partir da busca em três bases de dados. A amostra final de 107 estudos primários foi categorizada, com a finalidade de sistematizar as discussões. A análise cientométrica ocorreu para as categorias, coautoria, referências citadas e palavras-chave. Foi realizada a análise de conteúdo dos três artigos com maior número de citação normalizada para cada uma das subcategorias propostas. Avaliação do risco ocupacional, Avaliação do risco de projeto e os Modelos de cronograma da construção foram identificados como campos emergentes sobre a lógica fuzzy aplicada na construção civil.

Palavras-chave: Revisão sistemática da literatura. Análise bibliométrica. Análise cientométrica. Análise de conteúdo. Lógica fuzzy. Construção civil.

ABSTRACT

Progress of scientific production on Fuzzy Logic applied to construction

Construction Industry 4.0 is characterized by a paradigm shift to increase productivity and competitive efficiency, which may revolutionize the sector's practices and techniques, with fuzzy logic being-related themes. This study aims to review the progress of international scientific production on fuzzy logic applied to construction. Articles from journals with an impact factor greater than 1.0 were selected and searched in three databases. The final sample of 107 primary studies was categorized in order to systematize the discussions. The scientometric analysis occurred for the categories, co-authorship, cited references, and keywords. Content analysis of the three articles with the highest number of standardized citations was performed for each of the proposed subcategories. Occupational risk assessment, Project risk assessment, and Construction schedule models were identified as emerging fields on fuzzy logic applied in construction.

Keywords: *Systematic literature review. Bibliometric analysis. Scientometric analysis. Content analysis. Fuzzy logic. Construction.*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MÉTODO DE PESQUISA	12
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1	Análise bibliométrica	14
3.2	Análise cientométrica	19
3.2.1	Análise de citações normalizadas por categorias e subcategorias	19
3.2.2	Análise de citações normalizadas e rede de coautoria	20
3.2.3	Análise de rede das referências citadas	22
3.2.4	Análise de citações normalizadas e rede de coocorrências de palavras-chave	24
3.2.5	Análise de citações normalizadas das publicações	28
3.3	Análise de conteúdo	30
3.3.1	Modelagem da análise de risco	31
2.3.1.1	Avaliação de risco ocupacional	31
2.3.1.2	Avaliação de risco de projeto	32
2.3.1.3	Avaliação de risco estrutural	33
3.3.2	Modelagem da gestão da construção	33
3.3.2.1	Estimativa financeira da construção civil	34
3.3.2.2	Avaliação de desempenho de colaboradores	35
3.3.2.3	Modelo de cronograma da construção	35
3.3.2.4	Gerenciamento de ativos	36
3.3.2.5	Avaliação do sistema de gestão da construção	37
3.3.3	Modelagem de projetos	38
2.3.3.1	Avaliação dos contratos	38
2.3.3.2	Avaliação de projetos	39
2.3.3.3	Avaliação de inovações	40
3.3.4	Modelagem de desempenho dos materiais	41

3.3.4.1	Análise de desempenho dos materiais	41
3.3.4.2	Análise de desempenho estrutural	42
3.3.5	Lacunas nas abordagens para o <i>fuzzy</i> na construção civil	43
4	CONCLUSÃO	45

1. INTRODUÇÃO

A Indústria da Construção 4.0 é caracterizada pela mudança de paradigma, destinada ao aumento da produtividade e eficiência competitiva, que poderá revolucionar as práticas e técnicas do setor (KOC et al., 2020; TURNER et al., 2021). Um exemplo relacionado à sistemas digitais, processo relacionado à Construção 4.0 (SAWHNEY; RILEY; IRIZARRY, 2020), é a inteligência artificial (FORCAEL et al., 2020), como é o caso da lógica *fuzzy* proposta por Zadeh (1965), que garante a capacidade de representar modelos matemáticos próximos da realidade. A lógica *fuzzy* necessita do uso de um grau de adesão a fim de representar a subjetividade e incertezas de cada objeto de estudo decorrente das ações humanas. Isso possibilita a modelagem de diversos problemas encontrados na construção civil, que são considerados mais complexos, cheios de incertezas e associados à mutabilidade do ambiente.

Estudos anteriores envolvendo revisões sistemáticas sobre lógica *fuzzy* na construção civil são escassos, estando limitados a dois artigos publicados em 2009 e 2020. Chan; Chan; Yeung (2009) revisaram as aplicações das técnicas *fuzzy* na área de gestão da construção entre 1996 e 2005. A amostra final teve 52 artigos divididos em campos como a lógica *fuzzy*, conjuntos *fuzzy* e técnicas híbridas *fuzzy*, enquanto as categorias foram distribuídas em modelos de tomadores de decisão, modelos de desempenho, modelos de avaliação e modelagem.

Elmousalami (2020) revisou as técnicas de inteligência computacional aplicadas aos modelos de orçamento paramétrico publicadas em periódicos internacionais entre 2002 e 2018. A amostragem final de 100 publicações foi dividida em seis categorias: modelos de regressão, redes neurais artificiais, máquinas de vetores de suporte, modelos *fuzzy*, modelos híbridos e raciocínio baseado em casos.

Apesar de ambos os estudos apresentarem contribuições para o estado da arte da lógica *fuzzy* associado à construção civil, não houve um aprofundamento necessário para a caracterização da produção científica internacional, quando analisado a partir do aspecto quantitativo e qualitativo. Com relação ao aspecto quantitativo, Chan; Chan; Yeung (2009) contou com um número limitado de 52 artigos. Enquanto Elmousalami (2020) restringiu o seu tema à revisão de 100 estudos relacionados apenas a modelos de inteligência computacional relacionados ao orçamento. Além do mais, nenhum deles apresentou uma análise cientométrica, caracterizada pela mensuração e quantificação do progresso científico (LOLIS et al. 2009) e permitindo o processo de tomada de decisão (Dutt; Garg; Bali, 2003), decorrente das análises dos artigos que mais foram citados e impactados, assim como as palavras chave mais importantes.

Dessa forma, este estudo tem como objetivo revisar o progresso da produção científica internacional sobre lógica *fuzzy* aplicada à construção civil, por meio da análise cientométrica e de conteúdo. Ao contrário dos estudos anteriores, são apresentados uma perspectiva de quais áreas temáticas mais contribuíram a partir de 107 estudos primários, realizando a análise de rede e de citações, com discussões das palavras chave e abordagens. Além do mais, foi realizado uma análise da síntese narrativa e das lacunas do conhecimento dos três estudos com maior impacto em cada uma das categorias analisadas, a partir da perspectiva de 12 temáticas ainda não abordadas por estudos anteriores (e.g. modelagem da análise de risco, avaliação de desempenho de colaboradores, cronograma, projetos e desempenho de materiais).

2. MÉTODO DE PESQUISA

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) proposta tem como finalidade interpretar todas as pesquisas disponíveis e relevantes, a fim de aplicar uma metodologia de avaliação justa, confiável, rigorosa e auditável (KITCHENHAM; CHARTERS, 2007). Os termos de busca foram escolhidos seguindo a estratégia PICO (acrônimo para P: população; I: intervenção; C: comparação; O: resultados/outcome), consistindo em adotar um conjunto de palavras que tentem buscar com maior eficácia os estudos relacionados ao tema. Com isso, os termos foram escolhidos de acordo com o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Síntese da definição dos termos de busca pelo método PICO

	Assunto (<i>population</i>)	Intervenção (<i>intervention</i>)	Comparação (<i>comparison</i>)	Resultados (<i>outcomes</i>)
Definições dos termos de busca	Artigos de periódicos publicados em inglês abordando lógica <i>fuzzy</i> aplicada à construção civil	Como está a produção científica sobre lógica <i>fuzzy</i> na construção civil?	Não se aplica	Iniciativas relacionadas à produção científica
Termos de busca	(<i>Engineering or Architecture</i>) and (AEC or AECO or "construction*")	("fuzzy logic" or "fuzzy sets" or "fuzzy control" or "fuzzy inference")	-	-
String de busca: (14/04/2020)	(Engineering or Architecture) and (AEC or AECO or "construction*") and ("fuzzy logic" or "fuzzy sets" or "fuzzy control" or "fuzzy inference")			

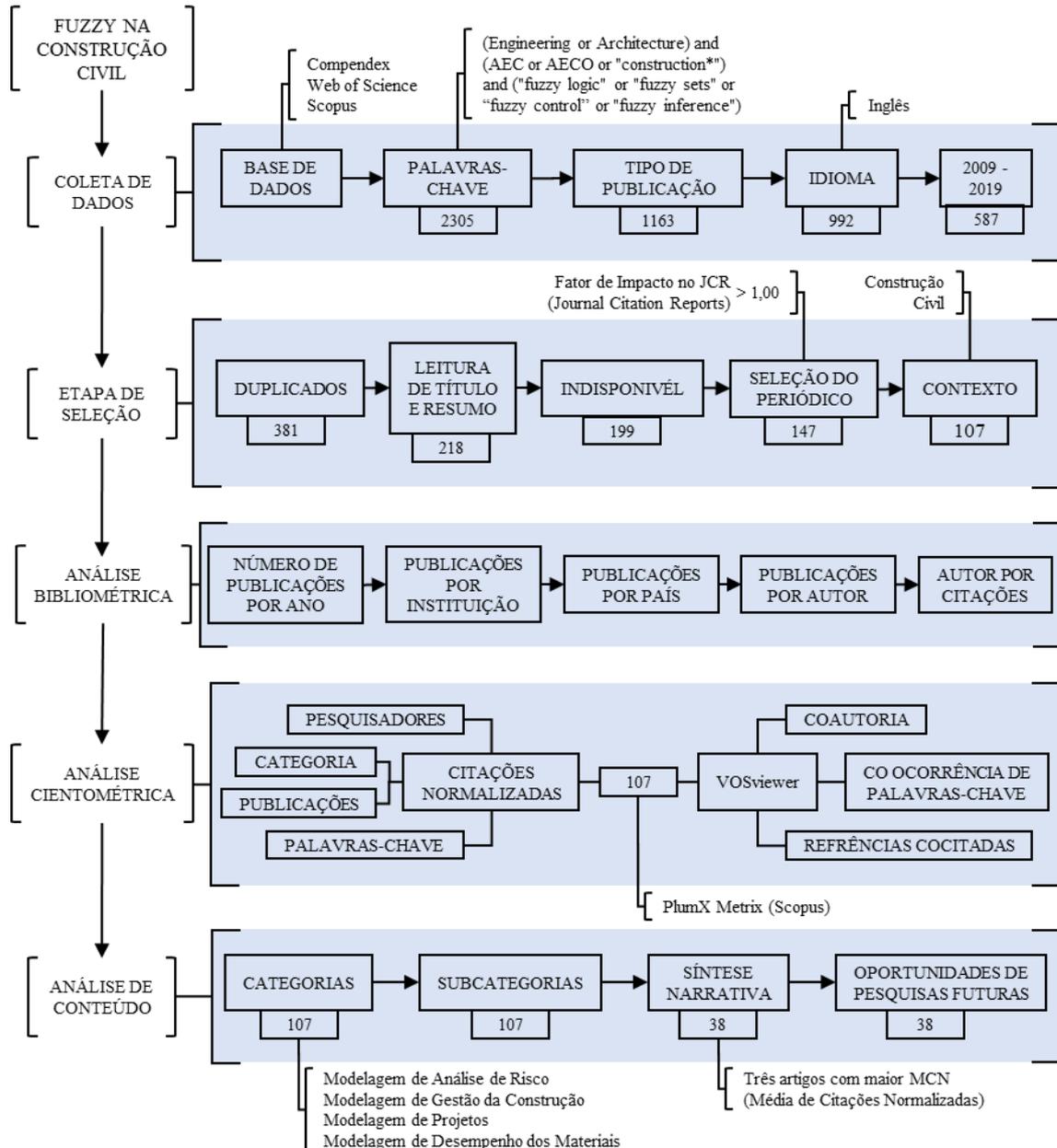
Fonte: Autor (2021)

Conforme a Tabela 1, os termos de busca apresentaram palavras-chave somente relacionadas à população (assunto) e a intervenção, visto a necessidade de adaptação da estratégia para estudos primários de lógica *fuzzy* aplicada à construção civil. A partir disso, as etapas de busca e seleção das publicações definidas estão apresentadas na Figura 1. As bases de dados selecionadas foram a Compendex (*Engineering Village*), *Web of Science* e Scopus, pois são bases internacionais, líder em citação e de alta qualidade utilizadas na engenharia (NARANJO; PELLICER; YEPES, 2011; SANTOS; COSTA; GRILO, 2017; SEPASGOZAR et al., 2020). O período de busca foi de 2009 a 2019, de forma a ter uma amostragem que consiga apresentar a evolução do conhecimento científico relacionado ao tema.

A seleção dos estudos ocorreu importado os dados no formato BibTeX utilizando a ferramenta *State of the Art Through Systematic Review* (StArt) (ZAMBONI et al., 2010). A análise cientométrica usou os dados coletados da Scopus, uma vez que há rastreabilidade das

citações. Além disso, a Scopus apresenta uma maior quantidade de citações para cada um dos artigos quando comparados aos artigos indexados na *Web of Science*. A análise de rede presente nesta RSL foi executada com base no recurso de mineração de texto do VOSviewer.

Figura 1 – Fluxograma das amostras das publicações selecionadas e etapas de análise



Fonte: Autor (2021)

O primeiro entendimento do estado da arte ocorreu pela abordagem cientométrica em duas etapas. A primeira fez referência às citações normalizadas, tendo como intuito evitar a percepção equivocada de que as publicações mais antigas obtiveram uma maior quantidade de

citações em comparação com as mais recentes (VAN ECK; WALTMAN, 2020). As citações normalizadas média (CNM) são calculadas de acordo com o número total de citações das publicações pelo somatório das médias das citações publicadas no mesmo ano para o grupo de referência (e.g. periódico, categoria, país de publicação), sendo 1 o valor de referência para os estudos que conseguem atingir a quantidade esperada de citações, com base no seu ano de publicação (WALTMAN *et al.*, 2011; JIN *et al.*, 2018). As citações normalizadas (CN) são calculadas multiplicando as citações normalizadas média pelo número de publicações.

O uso do VOSviewer nesta RSL seguiu os passos recomendados por Oraee *et al.* (2017), Hosseini *et al.* (2018) e Gaspar (2019). Dessa forma, os clusters apresentados na ferramenta são formados a partir do grau de proximidade (*total link strength*) e dos links que existem entre os itens abordados na rede (VAN ECK; WALTMAN, 2020).

Diante da necessidade de realizar a análise por parte dos autores envolvidos nos estudos primários, foi inserido a métrica do *autor contribution score*, remetendo à pontuação de contribuição pela publicação que é sempre 1,00 (HOWARD; COLE; MAXWELL, 1987). Desse modo, caso haja uma autoria individual, o pesquisador irá receber a unidade de crédito individual, e caso haja uma múltipla autoria, a distribuição da contribuição entre os pesquisadores envolvidos dependerá da posição ordinal de coautoria, sendo o primeiro a receber a maior quantidade de créditos e o último a menor (HOWARD; COLE; MAXWELL, 1987; GRAPIN; KRANZLER; DALEY, 2012). Além do mais, outros parâmetros como o ano médio de publicação e o número de trabalhos, e quatro estão relacionados às métricas das citações recebidas na *Scopus*, como o número de citações, a média de citações.

A discussão da análise de conteúdo partirá da estrutura proposta pelas subcategorias, que foi definida com base na análise de conteúdo e ocorrendo para os três estudos primários que apresentaram o maior impacto em seu respectivo grupo, com base na média das citações normalizadas. Dessa forma, foram identificadas as limitações das abordagens de acordo com os autores dos estudos primários.

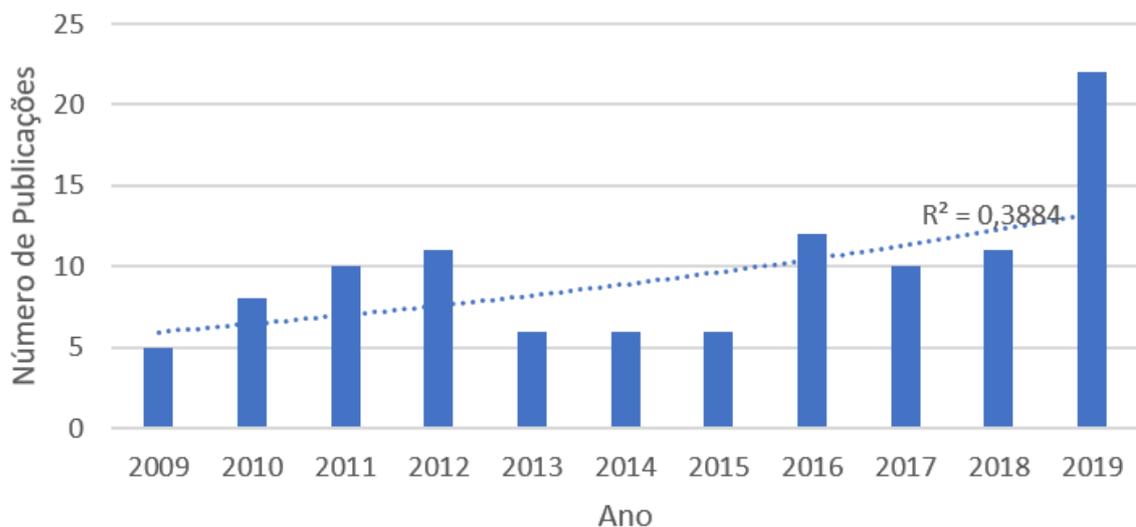
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise bibliométrica

Diante da abordagem realizada pelo trabalho, é notório a necessidade de uma análise quantitativa das publicações sobre a lógica *fuzzy* aplicada na construção civil, a fim de traçar tendências e mapear o comportamento e a evolução dos estudos.

A evolução das publicações de 2009 a 2019, apresentada pela Figura 2, fica dividida em duas etapas de análises: entre os anos de 2009 e 2012, e de 2013 a 2019. Na primeira etapa houve uma constante crescente no número de trabalhos voltados a temática, com um aumento expressivo de 220%. Enquanto na segunda etapa apresentou uma queda de 45,45% nos estudos relativos ao ano anterior, enquanto nos dois anos seguintes passou a ter uma pequena crescente, culminando em 2019 com 22 publicações e um aumento substancial de 367%. A linha de tendência, representada pelo coeficiente de determinação (R^2), indica que há uma relativa tendência no aumento de estudos, devido as altas variações ao longo do período.

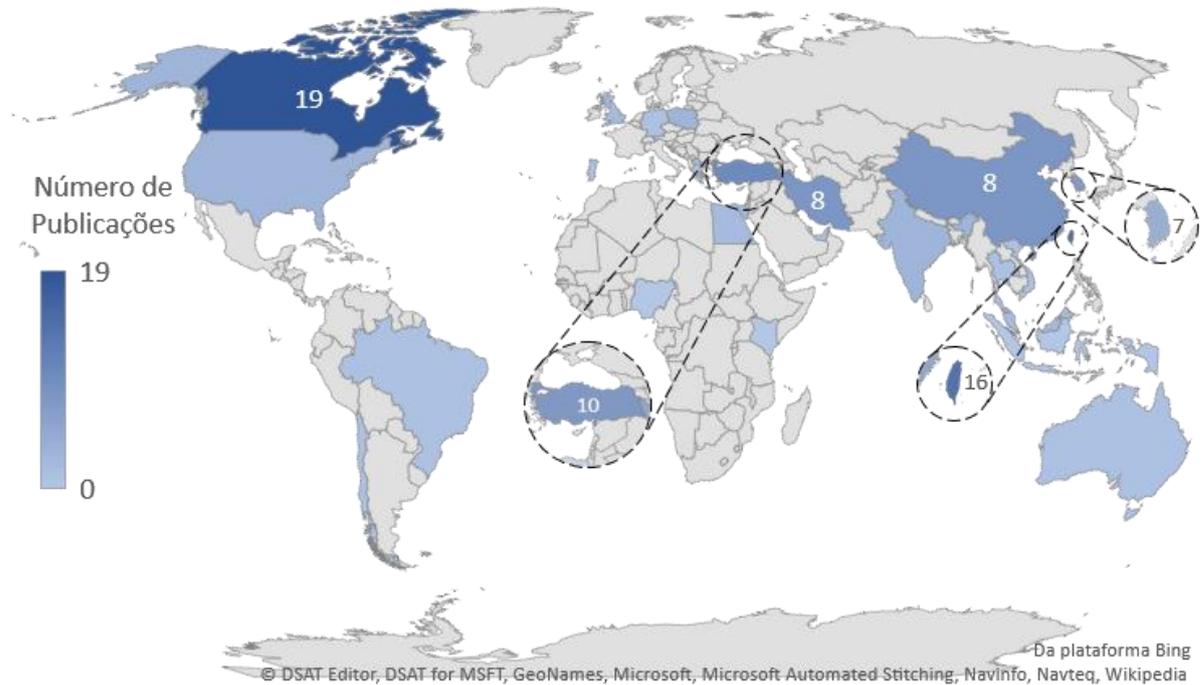
Figura 2 – Frequência de publicações (2009-2019) e curva de tendência



Fonte: Autor (2021)

A distribuição geográfica das publicações de acordo com os seus países de origem retrata uma desigualdade nos números, pois os seis primeiros representados na Figura 3 correspondem a 62,62% dos artigos em periódicos para o período estudado. O Canadá é tem o maior número de estudos, com 19 estudos e uma cota de 17,76%, único representante das américas. Taiwan é a segunda referência, com 15 artigos, correspondendo a uma parcela de 14,02%, principal representante asiático dentre outros três. A Turquia é o único representante europeu com dez publicações e uma cota 9,35%. Na análise dos continentes, a Ásia tem 58 estudos e uma parcela de 54,21%, com a Ásia oriental representando 60,34% deste montante.

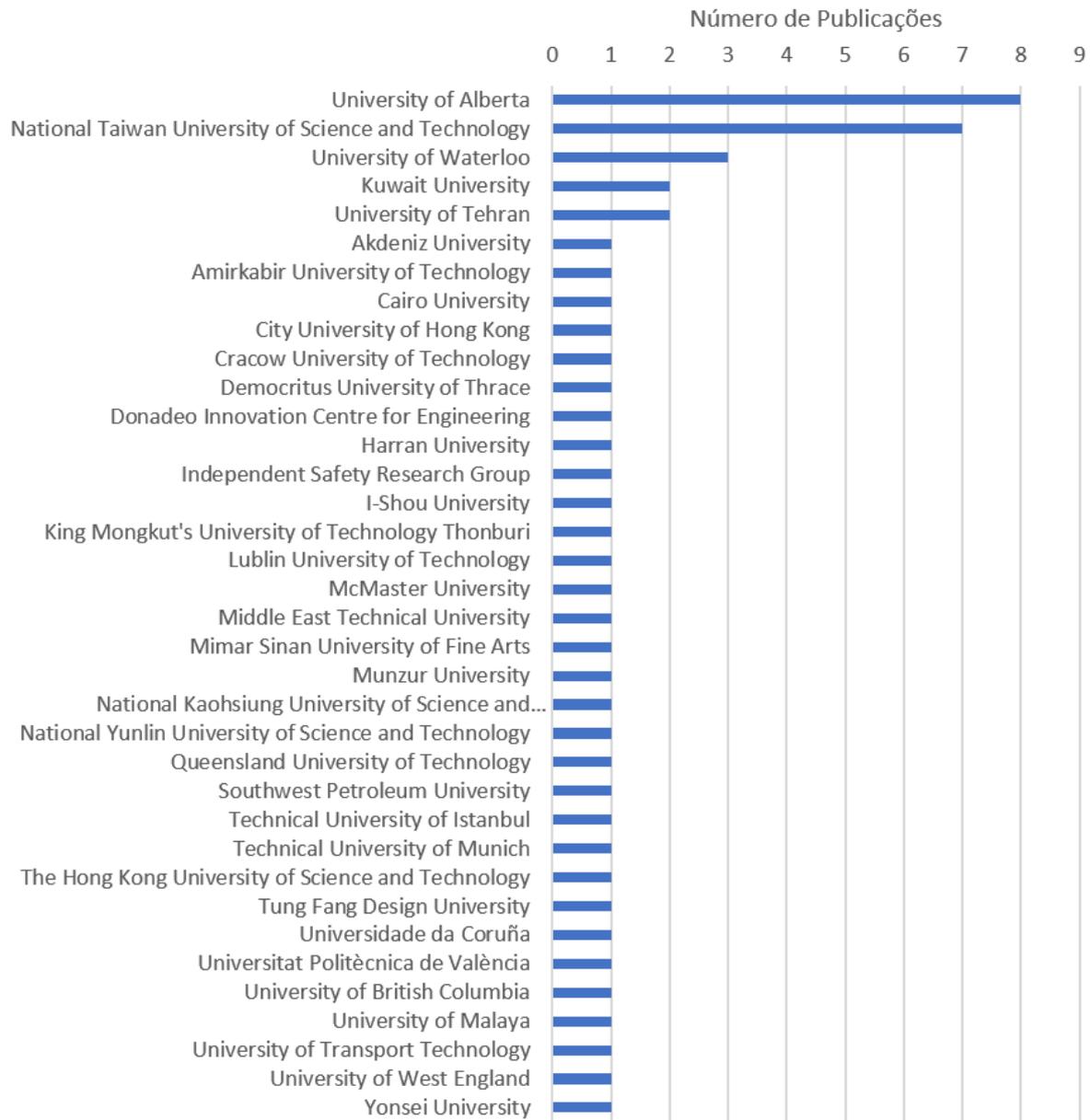
Figura 3 – Número de publicações por países



Fonte: Autor (2021)

Com relação ao número de publicações por instituições, representado na Figura 4, as colaborações internacionais, classificação adotada nesta pesquisa para os estudos primários desenvolvidos por autores filiados à instituições distintas, corresponderam a 54 trabalhos, o equivalente a 50,47% do total. O Canadá apresentou o maior número de publicações por instituição, visto que a *University of Alberta* e a *University of Waterloo*, primeira e terceira colocadas, respectivamente, juntas contam com onze trabalhos. Enquanto Taiwan concentra principalmente as suas publicações na *National Taiwan University of Science and Technology*, segunda colocada, com sete estudos.

Figura 4 – Número de publicações por instituição

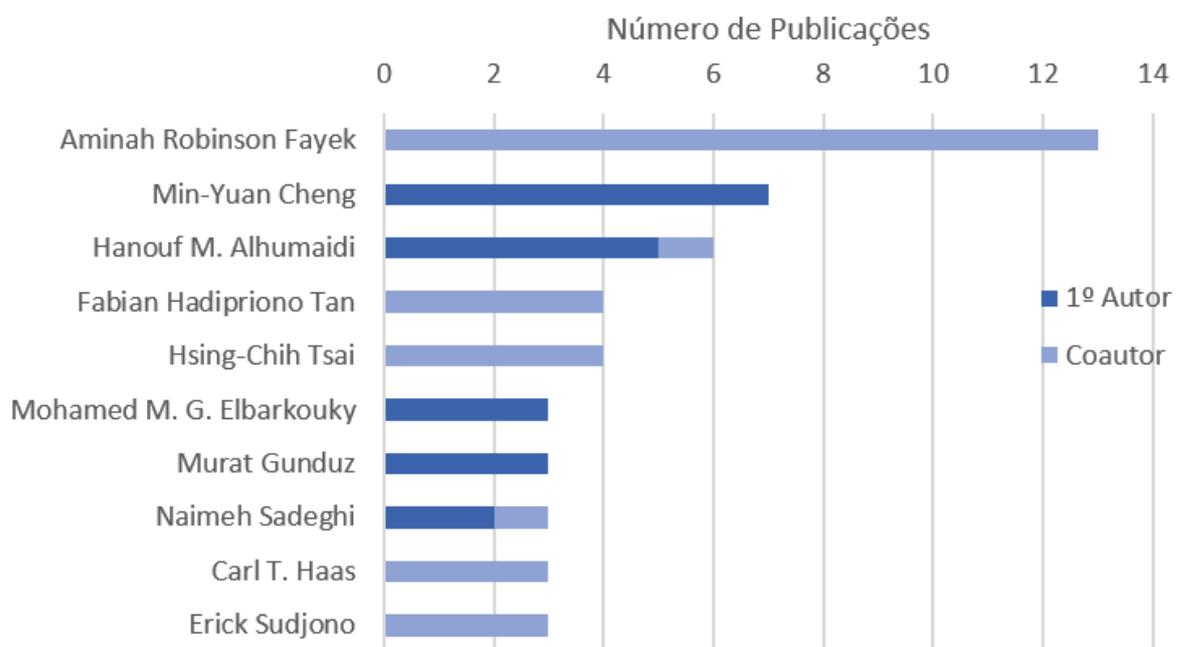


Fonte: Autor (2021)

A partir dos 107 artigos analisados, foi extraído os pesquisadores que participaram das publicações, totalizando 255 pesquisadores categorizados em primeiros autores e coautoria. Na Figura 5, foi selecionado os dez pesquisadores que mais publicaram, juntos tiveram uma cota de 15,76% dos estudos envolvendo a temática para o período de 2009 a 2019. A autora que mais contribuiu foi Aminah Robinson Fayek, da *University of Alberta* no Canadá, publicando treze artigos como coautor, com uma parcela de 4,18% dos estudos, além de representar 68,42% das pesquisas em seu país. O segundo é Min-Yuan Cheng, da *National Taiwan University of*

Science and Technology em Taiwan, que tem sete estudos como autor principal e uma parcela de 2,25% do total de pesquisadores, e uma participação nacional em 46,67% das publicações. O terceiro é Hanouf M. Alhumaidi, da *Kuwait University* no Kuwait, com seis artigos, sendo um como coautor e cinco como autor principal, representando 1,93% do total de pesquisadores, além de participar de todas as cinco publicações nacionais, seu outro estudo ocorreu por meio de colaboração internacional.

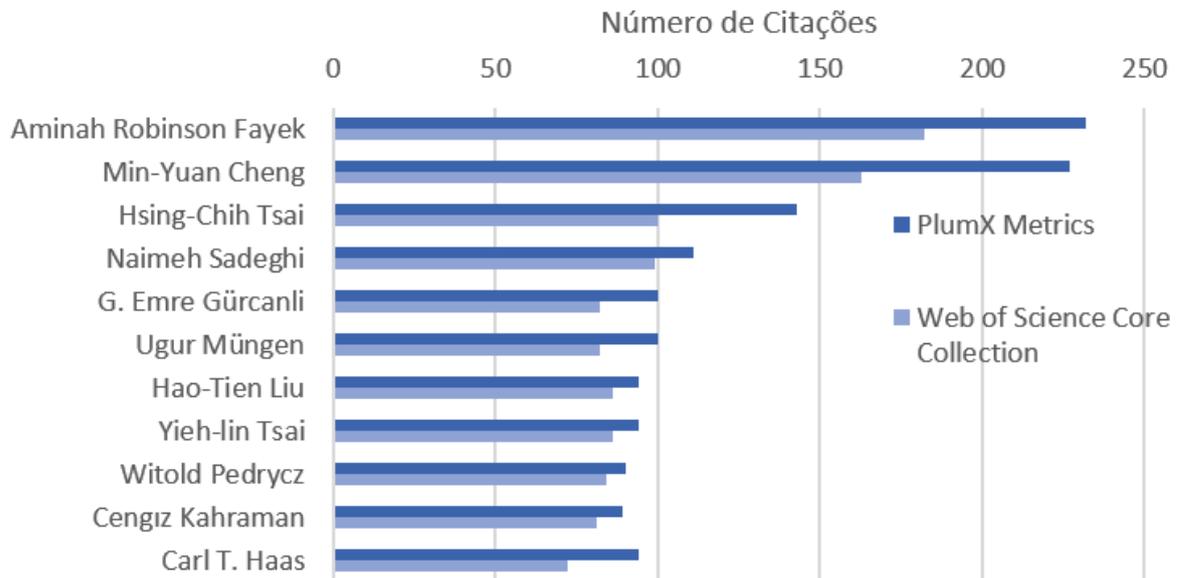
Figura 5 – Número de publicações por autores



Fonte: Autor (2021)

Continuando na análise dos autores, foi comparado na Figura 6 o número de citações recebidas nas bases *PlumX Metrics* (PlumX) e na *Web of Science Core Collection* (WSCC). Com isto, percebe-se que os onze primeiros autores correspondem a 28,74% e 29,42% pela PlumX e WSCC, respectivamente. Enquanto Aminah Robinson Fayek tem 232 e 182 citações, equivalendo a 4,85% e 4,79%, respectivamente para a PlumX e WSCC. Enquanto Min-Yuan Cheng tem 227 e 163 citações, equivalentes a 4,75% e 4,29%, respectivamente, para a PlumX e WSCC.

Figura 6 – Número de citações por autores



Fonte: Autor (2021)

3.2. Análise cientométrica

3.2.1. Análise de citações normalizadas por categorias e subcategorias

De acordo com a Tabela 2, a categoria que apresenta o maior número de CN é a *modelagem da análise de risco*, seguido pela *gestão da construção*, *modelagem de projetos* e *desempenho dos materiais*. Na perspectiva das duas categorias com maiores impactos é importante levar em consideração alguns marcos normativos relevantes na área da construção civil, como a atualização da ISO 9001/2015. Ademais, a indústria da construção civil é considerada como uma das ocupações mais perigosas do mundo, devido a sua natureza dinâmica e temporária do local de trabalho (FANG; WU, 2013; FANG;WU; WU, 2015).

Neste contexto, a temática da *avaliação de desempenho de colaboradores* e *modelagem de projetos* apresentaram um ano médio de publicação em 2015 para ambos, enquanto 67% e 58% dos trabalhos publicados a partir de 2015, respectivamente. Isso pode corroborar com a possibilidade de serem influenciados pela atualização da ISO 9001/2015, uma vez que passou a destacar práticas de gestão empresarial, governança corporativa e ambiental (ALVES *et al.*, 2017). Enquanto a análise de risco tem o seu ano médio de publicação em 2016, com 70% dos estudos terem sido publicados a partir de 2015, indicando uma possível influência

da atualização da ISO 9001/2015, uma vez que passou a acrescentar a temática da gestão de riscos decorrentes da ISO 31000 (ABNT, 2015; ALVES *et al.*, 2017). Outro fator relevante pode ser considerado o aumento nos acidentes na indústria da construção civil nas últimas décadas (CHOI *et al.*, 2019).

Tabela 2 – Número de citações normalizadas por categorias e subcategorias

Categorias	Ano Méd. Pub.	Núm. Pub.	Núm. Cit.	Média Cit.	Cit. Norm.	Média Cit. Norm.
Modelagem da análise de risco	2016	30	653	22	46,90	1,56
Avaliação de risco ocupacional	2016	15	391	26	27,32	1,82
Avaliação de risco de projeto	2015	13	220	17	15,46	1,19
Avaliação de risco estrutural	2018	2	42	21	4,65	2,33
Modelagem da gestão da construção	2014	43	668	16	30,30	0,70
Estimativa de custos na construção civil	2011	7	220	31	7,78	1,11
Avaliação de desempenho de colaboradores	2015	12	126	11	7,25	0,60
Modelo de cronograma da construção	2013	15	162	11	7,03	0,47
Gerenciamento de ativos	2013	4	103	26	4,47	1,12
Avaliação do sistema de gestão da construção	2014	5	57	11	2,75	0,55
Modelagem de projetos	2015	19	349	18	21,85	1,15
Avaliação dos contratos	2016	8	142	18	10,48	1,31
Avaliação de projetos	2015	5	104	21	6,35	1,27
Avaliação de inovações	2014	6	103	17	5,46	0,91
Modelagem de desempenho dos materiais	2017	12	136	11	12,17	1,01
Análise de desempenho dos materiais	2017	8	96	12	8,46	1,06
Análise de desempenho estrutural	2017	4	40	10	3,70	0,92

Fonte: Autor (2021)

3.2.2. Análise de citações normalizadas e rede de coautoria

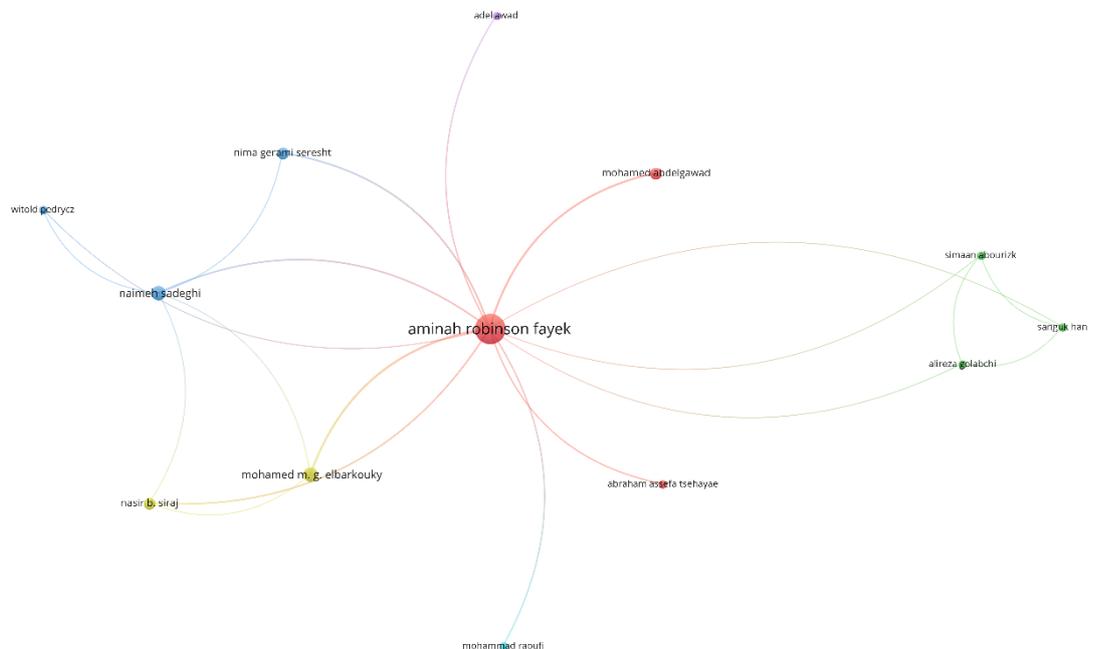
O conhecimento relacionado às redes de colaboração presentes em determinado campo de pesquisa contribui para que diminua o isolamento entre os pesquisadores, favorecendo a produtividade, o acesso à fundos e à informação, de forma a possibilitar o avanço do conhecimento científico como um todo (DING, 2011). Na Figura 2 não houve restrição na quantidade mínima de ocorrência dos autores nas publicações, de forma a garantir a que todos os pesquisadores fossem incluídos na rede de coautoria, além do mais, como não estava presente uma grande rede de colaboração entre os autores, o software passou a analisar a maior rede de

colaboração existente – composta por 13 pesquisadores (cerca de 5,80% da amostra total de autores).

A rede ilustrada na Figura 2 se dá a partir da colaboração iniciada por *Aminah Robinson Fayek* da University of Alberta, localizada na parte central da figura no cluster vermelho, apresentando uma colaboração com todos os autores. Os assuntos abordados pela autora, com base nas subcategorias, consistiram em três artigos voltados à *avaliação de risco de projeto* (cluster vermelho), cinco à *avaliação de desempenho de colaboradores* (sendo um associado aos clusters vermelho, ciano e azul, e dois ao cluster amarelo), uma voltada à *estimativa de custos na construção civil* (cluster roxo), à *avaliação de risco de projeto* (clusters azul e amarelo), ao *modelo de cronograma da construção* (cluster azul) e à *avaliação de risco ocupacional* (cluster verde).

A discussão acerca dos autores, com base em citações recebidas, concede aos autores *Aminah Robinson Fayek* e *Min-Yuan Cheng* os maiores valores de CN, apesar de suas CNM serem inferiores a todos os 22 pesquisadores presentes na Tabela 3, devido ao número de treze e sete estudos publicados, respectivamente, pelos autores. Ademais, ambos apresentam os maiores índices de contribuição sobre o tema da lógica *fuzzy* associada à construção civil.

Figura 2 – Rede de coautoria



Fonte: Autor (2021)

Tabela 3 – Número de citações normalizadas por autores

Autores	<i>Total Link Strength</i>	<i>Autor Contribution Score</i>	Ano Méd. Pub.	Núm. Pub.	Núm. Cit.	Média Cit.	Cit. Norm.	Média Cit. Norm.
Aminah Robinson Fayek	13,00	4,570	2014	13	232	18	12,62	0,97
Min-Yuan Cheng	7,00	3,695	2011	7	227	32	7,14	1,02
Sherif Mahmoud	1,00	0,474	2019	1	14	14	5,75	5,75
Tarek Zayed	1,00	0,316	2019	1	14	14	5,75	5,75
Mohammad Fahmy	1,00	0,211	2019	1	14	14	5,75	5,75
Esra İlbahar	1,00	0,415	2018	1	51	51	5,56	5,56
Ali Karaşan	1,00	0,277	2018	1	51	51	5,56	5,56
Selçuk K. Çebi	1,00	0,185	2018	1	51	51	5,56	5,56
Cengiz Kahraman	2,00	0,523	2016	2	89	45	5,39	2,70
Dong Van Dao	1,00	0,415	2019	1	13	13	5,34	5,34
Son Hoang Trinh	1,00	0,277	2019	1	13	13	5,34	5,34
Hai-Bang Ly	1,00	0,185	2019	1	13	13	5,34	5,34
Binh Thai Pham	1,00	0,123	2019	1	13	13	5,34	5,34
Naimeh Sadeghi	3,00	1,070	2014	3	111	37	4,76	1,59
Hsing-Chih Tsai	4,00	1,263	2011	4	143	36	4,34	1,09
Peng Zhang	1,00	0,474	2019	1	10	10	4,11	4,11
Guojin Qin	1,00	0,316	2019	1	10	10	4,11	4,11
Yihuan Wang	1,00	0,211	2019	1	10	10	4,11	4,11
Mutar Lundus	3,00	1,421	2017	3	46	15	3,80	1,27
Hao-Tien Liu	1,00	0,600	2012	1	94	94	3,41	3,41
Yieh-lin Tsai	1,00	0,400	2012	1	94	94	3,41	3,41
Carl T. Haas	3,00	1,011	2012	3	94	31	3,21	1,07

Fonte: Autor (2021)

3.2.3. Análise de rede das referências citadas

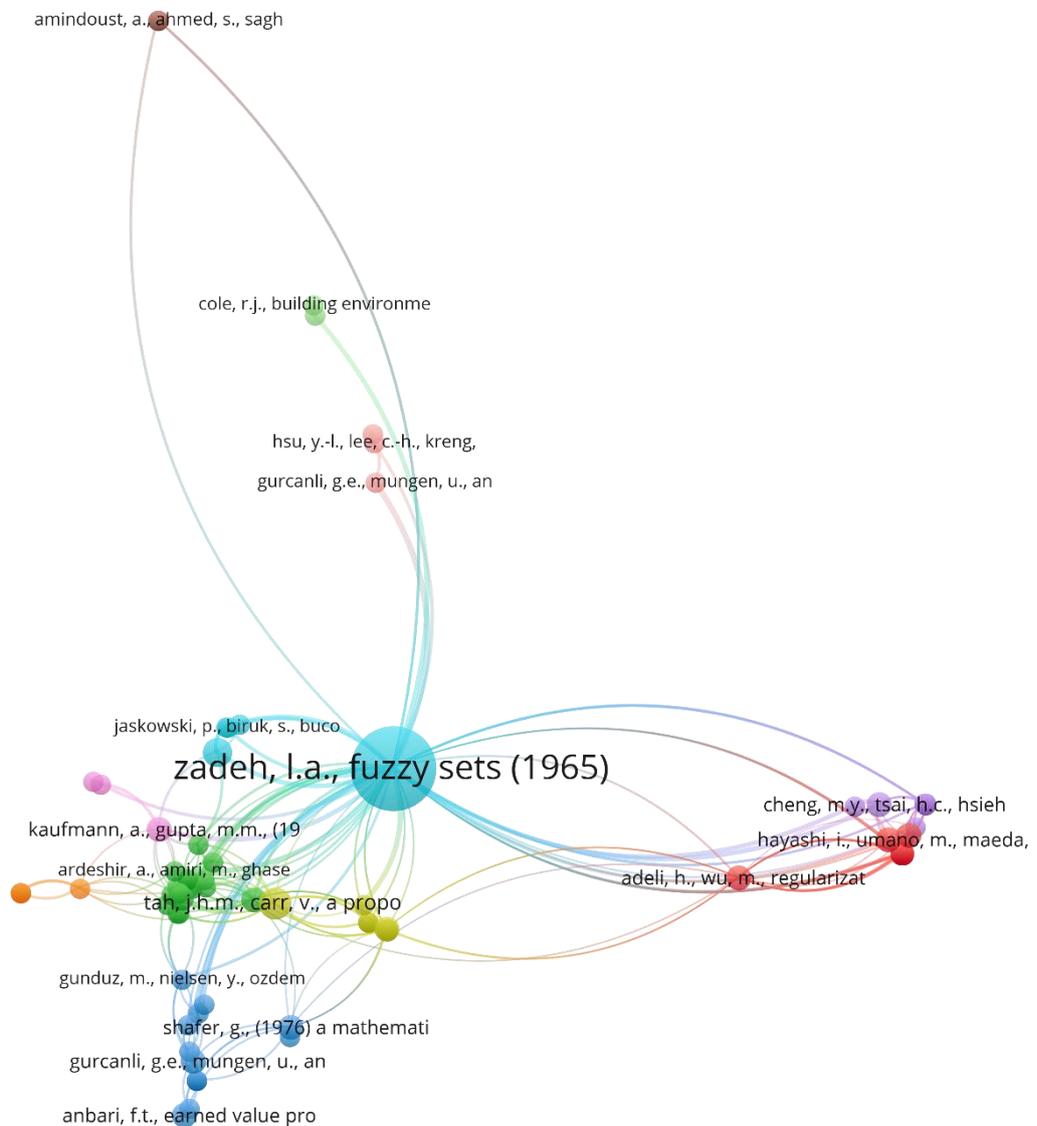
Observa-se a presença de 91 artigos com pelo menos duas cocitações entre os 107 autores dos estudos primários analisados, e onze *clusters* associados entre si. O estudo de Zadeh (1965) ganha destaque por ser o mais citado com 34 ocorrências e 25 conexões, no cluster ciano da Figura 4, onde propôs a criação do conceito da lógica *fuzzy*.

O estudo de Tah e Carr (2000) é o segundo mais citado com cinco ocorrências e quatro conexões (cluster amarelo da Figura 4). Tah e Carr (2000) propõe um modelo baseado na lógica *fuzzy* para realizar uma avaliação qualitativa dos riscos, separando-os em riscos relacionados à gestão dos recursos internos, sendo mais passíveis de controle, e externos, de caráter

incontrolável e suscetível às forças externas – tudo isso com a intenção de quantificar as probabilidades e os impactos. Este estudo está na subcategoria de *avaliação de risco de projeto*, segunda maior quando comparado às demais, além de conferir como uma das bases do modelo e da proposta de associar a lógica *fuzzy* à análise de risco.

O estudo de Buckley (1985) é o terceiro mais citado com quatro ocorrências e três conexões (cluster ciano da Figura 4). Buckley (1985) realizou uma análise hierárquica associada à adoção de taxas *fuzzy*. Para isso, calcula-se os pesos (importância relativa) e atribui às alternativas das pesquisas, de acordo com as notas dadas por pessoas, e calculando as taxas usando a lógica *fuzzy*, a fim de capturar as imprecisões dadas nas declarações dos especialistas.

Figura 4 – Rede de cocitação das referências



Fonte: Autor (2021)

3.2.4. Análise de citações normalizadas e rede de co-ocorrências de palavras-chave

A Figura 5 ilustra a rede de palavras-chave dos autores, o procedimento para filtrar os termos consistiu na mesclagem das palavras-chave que apresentaram uma semântica ou significado textual parecidos, como é o caso de *fuzzy ahp* e *ahp* para se tornar *analytic hierarchy process*, pois o método AHP já está presente junto à lógica *fuzzy*. Além disso, os termos como *fuzzy logic*, *fuzzy set*, *construction industry*, etc. foram excluídos por serem similares aos adotados no procedimento dos termos da *string* de busca, pois causa uma redundância, uma vez que os termos já haviam sido analisados por meio do critério de inclusão e exclusão na etapa de seleção, mais especificamente na leitura do título e resumo, o que confere a sua presença nos 107 estudos primários.

A análise de rede de concorrência das palavras-chave dos autores tem como amostra total de 379 termos, extraídos pelo VOSviewer, o que acarreta uma interpretação muito complexa a ser feita. Sendo assim, o procedimento realizado determinou uma limitação de duas ocorrências, o que resultou em uma redução para 47 palavras-chave (12,28% do total). Mais, como algumas redes não apresentaram conexões entre si, o software exibiu o maior número de nós conectados, resultando em uma amostra final de 41 termos (87,23% da amostra limitada) (Figura 5).

A discussão por meio das palavras-chave passará pela análise cientométrica dos termos associados à contribuição das citações e sobre a discussão do conteúdo aos quais estão inseridos, de forma a entender de qual modo foram aplicados e qual o seu impacto.

De acordo com a Tabela 4, as três palavras-chave utilizadas nos artigos que apresentaram maior contribuição são: *risk assessment*, *analytic hierarchy process* e *pythagorean fuzzy sets*. Todas associadas ao cluster verde e voltadas à categoria da *modelagem da análise de risco* e *modelagem de projetos*. O ano médio de publicação dos três primeiros termos correspondem aos anos de 2016, 2017 e 2019, respectivamente, o que sugere uma adoção mais recente das palavras-chave e de seus conceitos, pois as suas categorias apresentam um ano médio de publicação inferior. O *total link strength* é de 2,00 para o primeiro e o terceiro termo, inferior à 35% dos demais, sugerindo que estas palavras-chave não apresentam uma forma de ligação grande entre os demais nós conectados.

A análise da rede de palavras-chave indica uma interconectividade entre os clusters por meio dos nós e de suas conexões, que são utilizadas de acordo com o tema dos estudos primários, sendo passíveis de fazer uma interpretação entre si. No Quadro 1 são discutidas as

aplicações de cada uma das palavras-chave dos estudos primários analisados.

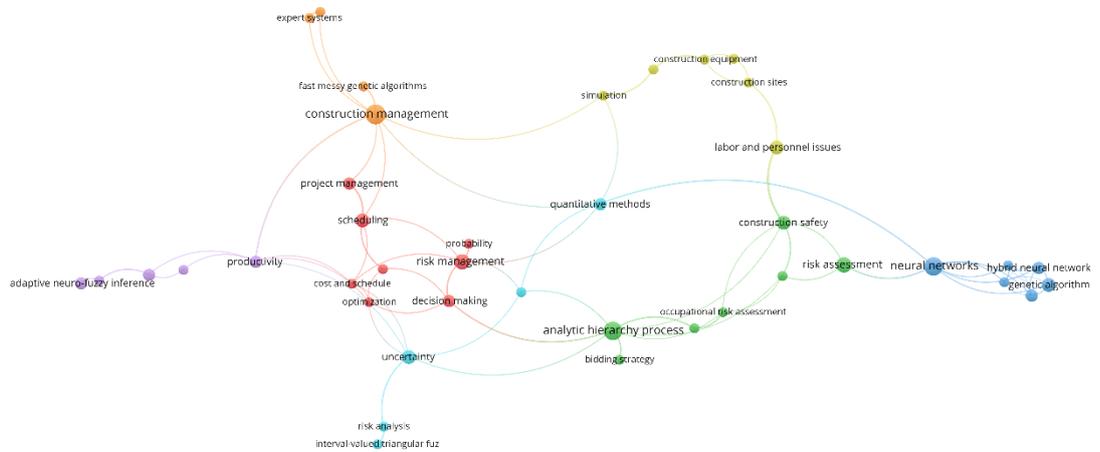
Quadro 1 – Discussão das palavras-chave de acordo com os *clusters*

Clusters	Temas
Vermelho	<ul style="list-style-type: none"> ● Os termos como <i>scheduling</i>, <i>risk management</i>, <i>resource allocation</i>, <i>project management</i>, <i>probability</i>, <i>optimization</i> e <i>cost and schedule</i>, indicando estarem relacionadas à projetos voltados à gestão da construção, mais especificamente ao tema da modelagem do cronograma de obras e suas atividades; ● O <i>resource allocation</i>, <i>optimization</i>, <i>decision making</i> também estão associados à avaliação de sistemas de gestão da construção; ● As palavras chave <i>decision making</i>, <i>risk management</i> e <i>probability</i> estão voltados à temática da avaliação de risco de projetos devido à sua semântica relacionada às decisões e os riscos associados; <i>Decision making</i> também foi empregado na avaliação de inovações da construção civil, o que garante o processo de tomada de decisão sobre a adoção da respectiva inovação.
Verde	<ul style="list-style-type: none"> ● A sua principal temática é a modelagem da análise de risco, mais especificamente o risco ocupacional, com todos os termos sendo associados entre si, pois as palavras chave <i>occupational risk assessment</i>, <i>construction safety</i>, <i>accident severity</i> já são específicas do tema, enquanto <i>analytic hierarchy process</i> e <i>pythagorean fuzzy sets</i> estão relacionadas à metodologia; <i>Risk assessment</i> também é utilizado para a avaliação dos contratos de projetos da construção civil, pois esse termo tem uma aplicação mais genérica, abrangente e diversa; ● E o <i>analytic hierarchy process</i> também é empregado em cronogramas de obras, na avaliação de inovações de projetos e na avaliação do desempenho de estruturas.
Azul	<ul style="list-style-type: none"> ● As palavras chave <i>conceptual estimates</i> e <i>construction cost</i> estão relacionadas exclusivamente a modelos de estimativa de custo na construção civil, decorrente da própria semântica da palavra; ● Os termos <i>genetic algorithm</i>, relacionado à situações que necessitam de uma computação evolutiva para a busca e otimização (SIDDIQUE e ADELI, 2013), e <i>high order neural network</i>, <i>hybrid neural network</i> e <i>neural networks</i> são as técnicas de aprendizagem de máquina que tentam obter aproximações específicas das funções não lineares (ELMOUSALAMI, 2020). Estes termos foram usados na área da gestão da construção, com temas relacionados à estimativa dos custos na construção civil e na avaliação de desempenho dos funcionários. Enquanto isso, <i>neural network</i> também é empregado na avaliação de risco de projetos.

Amarelo	<ul style="list-style-type: none"> ● As palavras chave <i>construction sites</i> e <i>occupational safety</i> estão relacionadas à modelagem do risco ocupacional presentes em obras e canteiros da construção civil, o que já é indicado pela própria semântica da palavra; ● <i>Construction equipment</i> e <i>labor and personnel issues</i> são voltados tanto ao risco ocupacional como à avaliação de desempenho de colaboradores da construção civil; ● O termo <i>simulation</i> aborda o cronograma das obras devido à sua finalidade de simular o progresso de uma obra e <i>system dynamics</i> voltado à previsão de interações ao longo do tempo entre os componentes de um sistema (IRWIN e WANG, 2017), ambos estão presentes nos estudos primários que buscam entender o desempenho dos funcionários.
Ciano	<ul style="list-style-type: none"> ● Os termos <i>risk analysis</i> e <i>interval-valued triangular fuzzy numbers</i> foram adotados exclusivamente pelos estudos que abordam a modelagem da análise de risco de projeto e ocupacional, respectivamente; ● O <i>quantitative methods</i> foi utilizado pelos estudos primários que abordam os modelos de cronograma e os custos da construção, já <i>quantitative analysis</i> foi abordado na temática do desempenho da estrutura, e ambos foram citados pelos artigos de avaliação de projetos; ● <i>Uncertainty</i>, por ser um termo mais abrangente, faz parte dos estudos relacionados à modelagem da análise de risco, ao cronograma das obras e à análise de desempenho de estruturas.
Lilás	<ul style="list-style-type: none"> ● O termo <i>productivity</i> foi adotado pelos estudos primários com temas relacionados ao cronograma das obras, desempenho dos colaboradores e gerenciamento de ativos. Já <i>project planning and design</i> é usada nos artigos relacionados à ao desempenho dos funcionários e avaliação de riscos de projeto de construção, condizente com a sua própria semântica; ● <i>Adaptive neuro-fuzzy inference system</i>, representando a união entre as técnicas de redes neurais com a lógica <i>fuzzy</i>, e <i>compressive strength</i>, retratando o tipo de análise a ser estuda, estão sendo empregados na análise de desempenho de materiais e estruturas; ● E <i>artificial intelligence</i>, significando um conjunto de técnicas da inteligência computacional (ELMOUSALAMI, 2020), é abordada tanto na área da gestão da construção como no desempenho dos materiais.
Laranja	<ul style="list-style-type: none"> ● Os termos <i>expert systems</i>, voltado à generalização e a resolver problemas semi ou mal estruturados (RAJABI <i>et al.</i>, 2019), e <i>owners</i> são majoritariamente abordados pelos artigos sobre o desempenho dos colaboradores; ● Enquanto <i>fast messy genetic algorithms</i>, consistindo em várias variáveis evolutivas com características distintas da computação global (GATES <i>et al.</i>, 2020), é utilizado nas pesquisas relacionadas à estimativa de custo na construção civil, o que é condizente com a aplicação financeira, pois apresenta diversas variáveis que interferem no objetivo comum; ● E <i>construction management</i> por ser um termo mais abrangente é abordado nas diversas temáticas voltadas à própria semântica do termo.

Fonte: Autor (2021)

Figura 5 – Rede de coocorrência de palavras chave dos autores



Fonte: Autor (2021)

Tabela 4 – Número de citações normalizadas por palavras chave dos autores

Palavras Chave de Autores	Clusters	Ocor.	Ano Méd.	Total Link Pub.	Núm. Cit.	Média Cit.	Cit. Norm.	Média Cit. Norm.
<i>risk assessment</i>	Verde	5	2016	2,00	121	24	8,84	1,77
<i>analytic hierarchy process</i>	Verde	5	2017	4,00	117	23	8,72	1,74
<i>pythagorean fuzzy sets</i>	Verde	2	2019	2,00	52	26	8,47	4,24
<i>construction management</i>	Laranja	8	2012	5,00	181	23	6,86	0,86
<i>neural networks</i>	Azul	7	2012	6,00	179	26	6,85	0,98
<i>construction safety</i>	Verde	4	2015	4,00	126	32	6,81	1,70
<i>risk management</i>	Vermelho	5	2015	4,00	88	18	5,06	1,01
<i>occupational safety</i>	Amarelo	2	2015	1,00	91	46	4,63	2,31
<i>uncertainty</i>	Ciano	4	2017	3,00	45	11	4,55	1,14
<i>accident severity</i>	Verde	2	2013	2,00	117	59	4,46	2,23
<i>adaptive neuro-fuzzy inference system</i>	Lilás	3	2015	1,00	65	22	4,23	1,41
<i>construction sites</i>	Amarelo	2	2017	2,00	41	21	3,81	1,91
<i>genetic algorithm</i>	Azul	4	2013	3,00	88	22	3,58	0,89
<i>compressive strength</i>	Lilás	2	2015	2,00	48	24	3,13	1,57
<i>decision making</i>	Vermelho	3	2016	3,00	52	17	3,11	1,04
<i>construction equipment</i>	Amarelo	2	2017	2,00	39	20	3,09	1,55
<i>conceptual estimates</i>	Azul	2	2010	2,00	115	58	3,03	1,51
<i>construction cost</i>	Azul	2	2010	2,00	115	58	3,03	1,51
<i>high order neural network</i>	Azul	3	2011	3,00	87	29	2,83	0,94

<i>hybrid neural network</i>	Azul	3	2011	3,00	87	29	2,83	0,94
<i>interval-valued triangular fuzzy numbers</i>	Ciano	2	2018	1,00	12	6	2,81	1,40
<i>scheduling</i>	Vermelho	4	2014	4,00	61	15	2,80	0,70
<i>probability</i>	Vermelho	2	2013	1,00	68	34	2,76	1,38
<i>labor and personnel issues</i>	Amarelo	4	2017	3,00	28	7	2,60	0,65
<i>risk analysis</i>	Ciano	2	2018	2,00	11	6	2,57	1,29
<i>fast messy genetic algorithms</i>	Laranja	2	2011	1,00	71	36	2,12	1,06
<i>quantitative methods</i>	Ciano	3	2015	3,00	32	11	2,09	0,70
<i>occupational risk assessment</i>	Verde	2	2018	2,00	18	9	1,99	1,00
<i>quantitative analysis</i>	Ciano	2	2016	2,00	24	12	1,55	0,77
<i>resource allocation</i>	Vermelho	2	2013	2,00	38	19	1,55	0,77
<i>productivity</i>	Lilás	3	2015	3,00	26	9	1,49	0,50
<i>project management</i>	Vermelho	3	2013	2,00	36	12	1,45	0,48
<i>cost and schedule</i>	Vermelho	2	2017	2,00	14	7	1,30	0,65
<i>optimization</i>	Vermelho	2	2016	2,00	16	8	1,07	0,54
<i>project planning and design</i>	Lilás	2	2016	1,00	14	7	1,03	0,52
<i>expert systems</i>	Laranja	2	2011	2,00	27	14	0,96	0,48
<i>owners</i>	Laranja	2	2011	2,00	27	14	0,96	0,48
<i>artificial intelligence</i>	Lilás	3	2014	2,00	19	6	0,94	0,31
<i>system dynamics</i>	Amarelo	2	2018	2,00	7	4	0,89	0,45
<i>simulation</i>	Amarelo	2	2017	2,00	9	5	0,84	0,42

Fonte: Autor (2021)

3.2.5. Análise de citações normalizadas das publicações

Além das métricas supracitadas, na Tabela 5 foi realizada uma análise a partir da média de citações por ano (MCA) de publicação, a fim de conseguir entender como se comportou a evolução do número de citações ao longo do tempo. Trinta e quatro estudos primários apresentaram valores de CN maiores do que 1,00 dentre os 107 artigos resultantes da amostra final.

Dentre os estudos que apresentaram as maiores médias, Mahmoud; Zayed; Fahmy (2019) obteve destaque com a maior CNM, com 5,75 e com uma MCA de 14,00, enquanto o estudo primário que teve a maior contribuição nas MCA é İlbarhar *et al.* (2018), com o valor de 25,50, constando como segundo quando comparado com relação às CNM.

Tabela 5 – Número de citações normalizadas pelos 35 estudos primários com maior CN da amostra final

Referências	Núm. Cit.	Média Cit. Ano	Média Cit. Norm.
Mahmoud <i>et al.</i> (2019)	14	14,00	5,75
İlbarhar <i>et al.</i> (2018)	51	25,50	5,56
Dao <i>et al.</i> (2019)	13	13,00	5,34
Zhang <i>et al.</i> (2019)	10	10,00	4,11
Liu e Tsai (2012)	94	11,75	3,41
Radziszewska-Zielina <i>et al.</i> (2017)	18	6,00	3,00
Gürcanli e Müngen (2009)	100	9,09	2,70
Golafshani e Behnood (2018)	23	11,50	2,51
Chou <i>et al.</i> (2013)	37	5,29	2,49
Pinto (2014)	56	9,33	2,35
Sadeghi <i>et al.</i> (2010)	90	9,00	2,31
Kim <i>et al.</i> (2016)	35	8,75	2,26
Kabir <i>et al.</i> (2015)	32	8,00	2,06
Ning <i>et al.</i> (2011)	58	6,44	2,06
Naji <i>et al.</i> (2016)	30	7,50	1,94
Razavi e Haas (2010)	70	7,00	1,79
Leśniak e Plebankiewicz (2015)	36	7,20	1,70
Tavakolan e Etemadinia (2017)	10	3,33	1,67
Wei <i>et al.</i> (2019)	4	4,00	1,64
Cheng e Roy (2011)	45	5,00	1,60
Kaya e Kahraman (2014)	38	6,33	1,59
Gunduz <i>et al.</i> (2015)	33	6,60	1,56
Cheng <i>et al.</i> (2009)	56	5,09	1,51
Cheng <i>et al.</i> (2010)	59	5,90	1,51
Shan <i>et al.</i> (2015)	32	6,40	1,51
Moradi <i>et al.</i> (2017)	9	3,00	1,50
Gilan <i>et al.</i> (2012)	36	4,50	1,31
Bilgehan (2011)	35	3,89	1,25
Abdelgawad e Fayek (2011)	35	3,89	1,25
Mohandes e Zhang (2019)	3	3,00	1,23
Boudet <i>et al.</i> (2011)	33	3,67	1,17
Debnath <i>et al.</i> (2016)	17	4,25	1,10
Arabacioglu (2010)	42	4,20	1,08
Gunduz <i>et al.</i> (2017)	6	2,00	1,00

Fonte: Autor (2021)

3.3. Análise de conteúdo

A Tabela 6 mostra a classificação proposta para os estudos primários selecionados. São propostas quatro categorias (modelagem da análise de risco, modelagem de projetos, gestão da construção e desempenho dos materiais) e treze subcategorias.

Tabela 6 – Descrição das categorias

Nº	Categorias	Descrição
1.	Modelagem da análise de risco	Estudos primários com algoritmos e metodologia voltada à análise de risco para aplicações na construção civil.
1.1.	Avaliação de risco ocupacional	Estudos primários acerca do risco ocupacional dos funcionários ligados à construção civil.
1.2.	Avaliação de risco de projeto	Estudos primários sobre o risco de sucesso voltados a projetos de engenharia.
1.3.	Avaliação de risco estrutural	Estudos primários relacionados ao risco estrutural de construções.
2.	Modelagem de projetos	Estudos primários com modelos para problemas em fase de projeto.
2.1.	Avaliação dos contratos	Estudos primários sobre a avaliação do processo de contratação e licitação de projetos de engenharia.
2.2.	Avaliação de projetos	Estudos primários relacionados à avaliação do projeto a partir do pré planejamento de layout.
2.3.	Avaliação de inovações	Estudos primários que avaliam a implementação de inovações em projetos, por meio da sustentabilidade e dos edifícios inteligentes.
3.	Modelagem da gestão da construção	Estudos primários com modelos de prognóstico para a gestão operacional e planejamento do canteiro de obras.
3.1.	Estimativa financeira da construção civil	Estudos primários referentes à estimativa de custos e do fluxo financeiro de obras de engenharia.
3.2.	Avaliação de desempenho de colaboradores	Estudos primários para modelagem e avaliação das atividades desempenhadas por funcionários ou empresas subcontratadas.
3.3.	Modelo de cronograma da construção	Estudos primários relacionados à previsão do cronograma e estimativa na duração das atividades das obras.
3.4.	Gerenciamento de ativos	Estudos primários voltados ao gerenciamento de ativos (equipamentos, materiais e insumos) em canteiros de obras.
3.5.	Avaliação do sistema de gestão da construção	Estudos primários acerca da avaliação do sistema de gestão das obras.
4.	Modelagem de desempenho dos materiais	Estudos primários com modelos para o desempenho de novos materiais e estruturas na construção civil.

4.1.	Análise de desempenho dos materiais	Estudos primários relacionados à análise de desempenho de materiais que pretendem ser incorporados na engenharia civil.
4.2.	Análise de desempenho estrutural	Estudos primários referentes à análise de desempenho global da estrutura.

Fonte: Autor (2021)

3.3.1. Categoria: Modelagem da análise de risco

A *modelagem da análise de risco* é a categoria que tem a maior CNM como também a CN. Além disso, o seu ano médio de publicação em 2016 sugere uma recente busca no desenvolvimento e avanço do conhecimento científico. Os estudos desta categoria sugerem uma busca por modelos híbridos de inteligência computacional, com a finalidade de apresentar maior precisão, associando isto também por meio de questionários a especialistas, assim como a busca de dados informativos para classificar os riscos e as situações presentes. Os estudos fazem a necessidade da aplicação da teoria dos conjuntos *fuzzy*, e associá-las com outras metodologias de inteligência computacional para obter um modelo mais realista.

3.3.1.1. Subcategoria: Avaliação de risco ocupacional

O estudo de Gürcanlı e Müngen (2009) propôs um método de análise de segurança utilizando os conjuntos *fuzzy* para avaliação do risco ocupacional em canteiros de obras. Portanto, foram gerados três parâmetros de tipo de acidente, o nível de segurança e a gravidade do acidente, que poderiam determinar o nível de risco ocupacional dos funcionários. O método apresentado conseguiu incorporar as características dos canteiros de obras, levando em consideração as incertezas associadas por especialistas.

Enquanto isso, Liu e Tsai (2012) apresentaram uma abordagem quantitativa da avaliação de risco ocupacional. Foram identificadas 16 situações de riscos associados. Os resultados indicam que o modelo foi consistente ao classificar os principais perigos de acordo com os especialistas, além de elencar o grau de importância dos itens da construção civil.

İlbahar *et al.* (2018) apresentaram uma nova abordagem integrada entre o método *pythagorean fuzzy proportional risk assessment* (PFPPRA) aplicado ao contexto da avaliação da saúde e segurança ocupacional. O PFAHP produz resultados confiáveis e informativos, quando comparado ao PFFMEA, pois consegue representar melhor a imprecisão do processo de tomada

de decisão.

Portanto, os estudos de alto impacto que abordaram a temática do *risco ocupacional* utilizaram diferentes parâmetros e combinações no cálculo da avaliação do risco, assim como diferentes métodos de cálculo e abordagem. Destacando assim, a necessidade de continuidade de pesquisa, visto que ainda não houve um consenso com relação a melhor metodologia a ser empregada.

3.3.1.2. Subcategoria: Avaliação de risco de projeto

Sadeghi; Fayek; Pedrycz (2010) propuseram uma *fuzzy monte carlo simulation* (FMCS) para realizar uma análise de risco financeiro de um projeto, a fim desenvolver uma estimativa de custo da construção. A estrutura FMCS é eficaz para representar as incertezas e fornecer o suporte à tomada de decisão da estimativa de custo na construção civil. Os resultados apresentaram um comportamento razoável da estrutura FMCS.

Neste sentido, Tavakolan e Etemadinia (2017) propõem um *fuzzy weighted interpretive structural modeling* (FWISM), para determinar o risco financeiro – por meio do custo, do tempo e da qualidade de um projeto, assim como cada um destes riscos apresentam alguma influência entre si. Como resultados, foi possível identificar quais são os fatores que mais apresentam influências entre si, como também o impacto no risco financeiro. As anomalias de contrato, atraso na construção, interrupção e atraso nas compras como sendo os fatores que podem influenciar os riscos de projeto e possibilidade de haver um aumento no custo do projeto.

Moradi; Mousavi; Vahdani (2017) propuseram um *interval-valued fuzzy sets* (IVFS) associado ao *earned value management* (EVM) para determinar a análise de risco de projetos, relacionando o custo e o tempo. A abordagem proposta foi eficaz em compreender o grau de incerteza existente no julgamento do especialista.

A subcategoria da *avaliação de risco de projetos* apresenta em seus três artigos com maior impacto, relacionado à CNM, a temática do risco financeiro em projetos de construção, modelando as interações entre os fatores de risco apresentados. Com isto, percebe-se que os pesquisadores passam a analisar o tema de forma a encontrar a melhor metodologia de estudo para solucionar a sua pergunta de pesquisa. O tema continua em aberto às diversas possibilidades de propostas para a utilização de métodos computacionais híbridos, como os associados ao *fuzzy*.

3.3.1.3. Subcategoria: Avaliação de risco estrutural

Kabir; Sadiq; Tesfamariam (2015) propuseram um modelo de avaliação de falhas de segurança em dutos de óleo de gás, por meio do *fuzzy bayesian belief network* (FBBN). Os resultados do modelo mostram sua capacidade de ser atualizado de acordo com a inserção de novas informações ou dados disponíveis. A medida torna passível de antecipar e propor as devidas estratégias preventivas para reduzir o risco de falha do sistema, indicando os problemas envolvendo os fatores que mais afetam a segurança do sistema.

Zhang; Qin; Wang (2019) propuseram um modelo para avaliação do risco de falhas, aplicando às situações de dutos duplos de óleo e gás construídos em valas, e usando a *fault tree analysis* (FTA) associada ao fuzzy. Os resultados sugerem que o modelo conseguiu apresentar uma avaliação do risco completa, garantindo a segurança das tubulações e do ambiente ao seu redor.

Esta categoria apresenta uma pequena aplicação, ainda que abordada em situações similares, possibilitando que outros tipos de construções também se enquadram nas situações de avaliação do risco de segurança estrutural. Portanto, podem ser também adotados outras metodologias híbridas de inteligência computacional, assim como outros tipos de conjuntos fuzzy.

3.3.2. Categoria: Modelagem da gestão da construção

Esta categoria apresenta 43 artigos, o maior número de publicações dentre as demais categorias, e com cinco subcategorias, também que tem a maior quantidade. O impacto no NC é de 30,30 – um número baixo perante a quantidade de publicações, pois o CNM de 0,70 é a menor quando comparada às outras categorias. O ano médio de publicação em 2014 sugere uma distribuição dos estudos ao longo do período estudado. Os estudos abordam as aplicações voltadas ao ambiente da obra, estimando os custos envolvendo as atividades da construção, o desempenho dos colaboradores, a estimativa da duração das atividades, o gerenciamento dos ativos e a avaliação dos sistemas de gestão da construção. Abordam a modelagem de diversos parâmetros, a partir de bancos de dados e de entrevistas com especialistas, servindo como variáveis de entrada e saída dos modelos.

3.3.2.1. Subcategoria: Estimativa financeira da construção civil

Cheng; Tsai; Hsieh (2009) aplicaram o *evolutionary fuzzy neural inference model* (EFNIM) para estimar o custo geral dos projetos de engenharia, e desenvolveu o *evolutionary web-based conceptual cost estimators* (EWCCE), que é uma combinação do EFNIM com uma plataforma via internet e um banco de dados, para estimar o orçamento de obras a partir das categorias. O EFNIM foi capaz de estimar o custo de projetos de engenharia, sendo capaz de lidar com problemas com um nível significativo de incerteza, dessa forma, os benefícios são também refletidos ao EWCCE. Além disso, o EWCCE pode estimar o custo da obra em fase preliminar de planejamento a partir de uma quantidade mínima de dados disponíveis. A categorização dos custos apresentam resultados mais razoáveis e praticáveis, e o acesso da plataforma via internet possibilita uma melhor aplicabilidade em projetos.

Em seguida, Cheng; Tsai; Sudjono (2010) propuseram o *evolutionary fuzzy hybrid neural network* (EFHNN) para estimar o custo geral e categorizado de projetos de construções. Para a estimativa de custo, o modelo foi capaz de realizar um orçamento com valores discriminados por categorias, obtiveram resultados razoáveis e praticáveis. O algoritmo consegue ser executado com poucos dados disponíveis para conseguir ser executado, e quando comparado ao modelo EFNIM, apresentou resultados melhores na estimativa do orçamento.

Além disso, Cheng e Roy (2011) desenvolveram o *evolutionary fuzzy support vector inference model for time series data* ($EF\text{SIM}_T$) para monitoramento do fluxo de caixa em projetos de engenharia. O modelo foi capaz de superar a complexa relação entre as variáveis de entrada e saída, e a incerteza da etapa construtiva. A precisão do $EF\text{SIM}_T$ ficou dentro do limites aceitáveis, estando sempre inferior ao SVMs e ao *evolutionary support vector inference model* (ESIM), possibilitando um conhecimento prévio das tendências de fluxo de caixa.

A temática da *estimativa financeira da construção civil* retrata as estimativas financeiras de projetos de engenharia. Dentre as pesquisas com a maior CNM estão utilizando técnicas híbridas de inteligência computacional, de forma tornar o modelo mais robusto e próximo de reproduzir a realidade. Uma base de dados foi necessária na modelagem dos dados nos artigos explanados, apontando a necessidade de se realizar mais testes a fim de validar a metodologia e se aplicar em diferentes ambientes e calibração de parâmetros.

3.3.2.2. Subcategoria: Avaliação de desempenho de colaboradores

Gilan; Sebt; Shahhosseini (2012) apresentaram uma abordagem de *computing with words* (CWW) baseada na arquitetura do *perceptual computer* (Per-C) e na *linguistic weighted average* (LWA) para a seleção de competências de funcionários em empresas de construção. A ferramenta mostrou-se útil para lidar com as incertezas de uma forma mais confiável, ao comparar o desempenho existente dos colaboradores.

Enquanto isso, Al-Humaidi (2015) apresentou um método quantitativo baseado em conjuntos *fuzzy* para auxiliar no processo de seleção de contratados, implementando vários atributos que contribuem para a tomada de decisão. Os resultados apresentam um potencial método de classificar os contratados, com base em julgamentos quantitativos. O algoritmo foi capaz de captar os atributos requeridos pelo processo de seleção dos candidatos, assim como os diferentes níveis de experiência.

Tsehayae e Fayek (2016) abordaram um modelo baseado no sistema de inferência *fuzzy* associado ao *genetic algorithm* (GA) para determinar a produtividade dos trabalhadores da construção civil, com o contexto do serviço de concretagem. Os resultados do algoritmo híbrido *fuzzy* tiveram maior precisão de predição, quando comparado a um modelo genérico, para os quatro contextos abordados. Além disso, o processo de otimização da técnica híbrida superou a incapacidade do sistema de inferência *fuzzy* de aprender com os dados.

Esta subcategoria tem os três artigos de maior impacto, quando relacionado ao CNM, os temas voltados à avaliação dos colaboradores no processo de contratação e à sua produtividade. As pesquisas futuras podem abordar outras técnicas híbridas de inteligência computacional, a fim de estabelecer um método capaz de abranger os mais diversos contextos. Além disso, é necessário ampliar as bases de dados, com parâmetros e variáveis capazes de generalizar os modelos, de acordo com as abordagens propostas.

3.3.2.3. Subcategoria: Modelo de cronograma da construção

O estudo de Ashuri e Tavakolan (2012) desenvolveu um modelo voltado ao *time-cost-resource optimization* (TCRO) em projetos de construção. O método *fuzzy enabled hybrid GA-PSO* apresentou resultados melhores à algoritmos existentes, encontrando melhores cronogramas, com menores custos, duração do projeto e variações totais de alocação de recursos, além de ter um menor tempo de processamento para resolver os problemas complexos. A abordagem PSO foi capaz de resolver problemas de TCRO com funções de compensação

contínuas de tempo e custo.

Enquanto isso, Gunduz; Nielsen; Ozdemir (2015) apresentaram uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para avaliar o atraso em projetos de construções, usando o *relative importance index* (RII) incorporado à lógica *fuzzy*. Os resultados foram satisfatórios, pois apresentaram os fatores que mais contribuíram para o atraso do projeto, levando em consideração as ações recomendadas, apresentando uma limitação prática por aplicar a ferramenta em um projeto de média probabilidade de atraso.

Radziszewska-Zielina; Śladowski; Sibiela (2017) propõem um método de planejamento de obras envolvendo a reconstrução de edifícios históricos. Os resultados da simulação poderiam levar em consideração outros cenários de conclusão do projeto. Os valores de custo e duração do projeto apresentaram valores dentro dos limites superior e inferior da simulação, garantindo assim uma boa estimativa. Adoção do conjunto *fuzzy* tipo 2 apresentou resultado melhor quando comparado ao tipo 1.

A subcategoria do *modelo de cronograma da construção* tem como os artigos de maior impacto, relacionado à CNM, as temáticas da modelagem dos cronogramas de projetos, por meio de parâmetros como a duração, o custo e a alocação de recursos. Pesquisas futuras podem ser destinadas à validação dos modelos, de forma a diversificar as aplicações e as calibrações dos parâmetros. Além do mais, é passível de haver a adoção de outras metodologias de inteligência computacional híbrida, a fim de comparar os resultados, testar e consolidar as abordagens.

3.3.2.4. Subcategoria: Gerenciamento de ativos

Razavi e Haas (2010) propõem um modelo de fusão de dados usado na identificação automatizada, estimativa da localização e detecção de deslocamentos dos materiais de construção. Os resultados da simulação indicam um potencial ao modelo na estimativa da localização e detecção de movimento. O uso da teoria Dempster-Shafer foi adequada, devido à natureza incerta e imprecisa do problema em questão.

Razavi e Haas (2012), por sua vez, apresentaram uma solução integrada de fusão de dados híbrida para a identificação e a estimativa da localização automatizada de materiais de construção, equipamentos e ferramentas. O método Dempster-Shafer teve um desempenho melhor quando comparado a outros métodos convencionais, independentemente do nível de ruído do experimento e foi considerado apropriado para ambientes altamente dinâmicos e ruidosos, como é o caso das construções.

Jiang; Jang; Skibniewski (2012) propuseram um modelo para tomada de decisão multicritério baseado na lógica *fuzzy*, destinada à escolha mais adequada da tecnologia wireless para o rastreamento de ativos de construção. A abordagem pode ser útil a engenheiros, classificando a importância relativa dos vários critérios e alternativas especificados.

A subcategoria do *gerenciamento de ativos* tem como os artigos com o maior impacto, relativos à CNM, os temas voltados ao rastreio para o gerenciamento de materiais, ferramentas e equipamentos de construção. Portanto, estudos futuros podem aplicar as metodologias utilizadas pelos autores em outros estudos de caso, a fim de diversificar as aplicações e validar os sistemas e os processos, garantindo assim uma base de dados diversificada e robusta.

3.3.2.5. Subcategoria: Avaliação do sistema de gestão da construção

Lee; Lim; Arditi (2011) apresentaram o *construction quality management audit expert* (CQMA *expert*), um modelo que implementa a lógica *fuzzy* na avaliação do sistema de gestão da qualidade (SGQ) de uma empresa construtora. A validação do sistema ocorreu a partir da avaliação de 12 especialistas. O resultado apresentado conta com 83,3% dos especialistas afirmando que o modelo é eficiente na realização de auditorias de qualidade rigorosa, na autoavaliação do sistema de qualidade, na redução do viés da classificação de vários dos diferentes auditores e apresentando resultados consistentes e de fácil compreensão.

Enquanto isso, Yeung; Chan; Chan (2012) adotaram a teoria dos conjuntos *fuzzy* em um modelo para o cálculo do *performance index* (PI), compreendido por oito *key performance indicators* (KPIs) ponderados e um conjunto de *quantitative indicators* (QIs) para a avaliação de desempenho de projetos de construção baseadas em contratação relacional. O modelo apresentado aumentou significativamente no desempenho da avaliação de projetos, contando com uma melhora na objetividade, confiabilidade na medição e execução de construções.

Heravi e Faeghi (2014) apresentaram um modelo com o *Monte Carlo simulation* (MCS), *fuzzy simple additive weighting system* (FSAWS) e *borda-ordered weighted averaging* (Borda-OWA) que busca uma avaliação para a utilização ideal dos recursos de tempo, custo e qualidade simultaneamente. O método auxiliou no processo de tomada de decisão, resolvendo as incertezas relacionadas aos recursos, mostrando uma abordagem flexível para o usuário alocar diferentes pesos para o objetivo do projeto. Em comparação ao modelo TOPSIS, o Borda-OWA tem resultados aceitáveis em um processo de tomada de decisão relacionada ao tempo, custo e qualidade de projetos de engenharia.

Esta subcategoria tem os artigos com maior impacto, com o CNM, os temas voltados

ao sistema de gestão de empresas construtoras. Todos os estudos abordados levam em consideração os parâmetros relacionados à qualidade dos projetos de engenharia, fazendo as suas correlações com outras variáveis – funções de pertinência, com base na lógica *fuzzy*. Portanto, estudos posteriores podem ser direcionados no uso de base de dados mais robustos, usando parâmetros aplicados em diferentes situações, a fim de validar os modelos propostos e a adoção de metodologias híbridas de inteligência computacional.

3.3.3. Categoria: Modelagem de projetos

Esta categoria é a terceira com maior impacto quando abordado o número de CN. Os estudos abordaram problemas relacionados à etapa de projeto na construção civil, com as três subcategorias abordando temáticas complementares entre si. A primeira subcategoria retrata a *avaliação de contratos*, seguida pela *avaliação de projetos* e pela *avaliação de inovações*. Todas apresentam discussões que necessitam modelar incertezas e questões subjetivas da etapa de projeto, sendo perfeitamente integradas à proposta da temática da lógica *fuzzy*.

3.3.3.1. Subcategoria: Avaliação de contratos

Chou; Pham; Wang (2013) propuseram uma nova estratégia voltada ao apoio da tomada de decisão em licitações, por meio da combinação de *fuzzy analytical hierarchy process* (FAHP) e do *regression-based simulation* e o *Monte Carlo simulation* (MCS). Os resultados com o modelo revelam que as empresas construtoras podem optar em proteger o lucro das empresas ou se abster do lance, pois o erro médio na previsão do lance vencedor foi de 12,28%, com o intervalo de confiança variando de 60% a 90%.

Leśniak e Plebankiewicz (2015) estudaram o processo de tomada de decisão para auxiliar os construtores e empreiteiros se devem participar do processo de licitação, com base na lógica dos conjuntos *fuzzy*. O modelo apresenta um caráter inicial de desenvolvimento, sendo provisório no auxílio dos empreiteiros na tomada de decisão licitatória. Os resultados sugerem limitações nos fatores de influência que não se enquadram nas faixas de “médio” a “muito forte”.

Enquanto isso, Shan *et al.* (2015) desenvolveram um modelo *fuzzy* para determinar o potencial de corrupção em projetos de construção. O modelo proposto se apresenta útil para fornecer o potencial de corrupção da construção, de forma a auxiliar os agentes públicos na fiscalização e supervisão.

Esta subcategoria tem como publicações de alto impacto, quando relacionado à CNM, artigos abordando o processo licitatório e de contratação. Os modelos apresentados, com base em inteligência computacional, conseguem auxiliar os construtores, empreiteiros e os contratantes, se mostrando excelentes alternativas no apoio à tomada de decisão. As bases de dados dos modelos necessitam ter uma maior diversificação de parâmetros, sendo aplicados em diferentes ambientes, de forma a validar as abordagens. Além disso, é necessário aplicar outros modelos de inteligência computacional a fim de confrontar os resultados entre si e obter uma melhor metodologia.

3.3.3.2. Subcategoria: Avaliação de projetos

O estudo de Arabacioglu (2010) investigou o potencial de um sistema *fuzzy* com o *Mamdani inference engine* na avaliação do espaço arquitetônico, promovendo uma análise da organização independente da experiência e intuições do arquiteto. O modelo conseguiu visualizar as formações espaciais dos espaços arquitetônicos, além de apresentar características flexíveis para ser remodelado em uma análise de privacidade-publicidade ou de inclusividade-exclusividade e em escalas de projeto de interiores ao urbano. A abordagem de análise matemática do algoritmo tem na concepção do espaço, identificando os locais mais ou menos intensos, e possibilitando ao projetista a alteração do layout a fim de equilibrar a formação espacial.

Enquanto isso, Ning; Lam; Lam (2011) propuseram um sistema de tomada de decisão voltado à resolver os problemas do planejamento de canteiros de obras dinâmico, multiobjetivo e com áreas diferentes – em contrapartida com estudos anteriores que abordam o canteiro de forma estática e com áreas iguais. Os resultados sugerem que a probabilidade de acidentes e o custo podem ser reduzidos de 9,9% para 18,4% e 16,1% para 27,2%, respectivamente, quando comparado a outros modelos. Os números do sistema proposto sugerem que um planejamento do canteiro tem um grande impacto no custo da obra, além de poder satisfazer os aspectos qualitativos que foram negligenciados em estudos anteriores.

Abualdenien e Borrmann (2019) propuseram um metamodelo *multi level of development* (LOD) para descrever os requisitos dos níveis de desenvolvimento de um modelo *building information modeling* (BIM), incorporando as indecisões geométricas e de informações dos elementos. A ferramenta conseguiu identificar as inconsistências e imprecisões dos modelos BIM, sendo flexível na definição dos requisitos LOD. Além do mais, o processo de refinamento e detalhamento é manual, não mantendo o mecanismo de

preservação de consistência – apesar de ser um mecanismo de detecção de inconsistências.

Esta subcategoria aborda modelos destinados à avaliação da distribuição de espaços arquitetônicos e canteiros de obras, assim como a avaliação do nível de desenvolvimento BIM. Dentre as três principais pesquisas, quando relacionado ao número CNM, duas apresentaram soluções híbridas de inteligência computacional, enquanto uma ficou voltada ao conceito da lógica *fuzzy*. Pesquisas futuras podem ser destinadas a incorporar um maior e mais robusto banco de dados, aplicando os modelos em situações com características e parâmetros diferentes. O uso de uma metodologia híbrida é imprescindível, com a finalidade de melhor representar e simular a realidade.

3.3.3.3. Subcategoria: Avaliação de inovações

O estudo de Hsueh e Yan (2013) combinou o *system dynamics*, o *analytic hierarchy process* (AHP), a teoria da utilidade e a lógica *fuzzy* voltadas à avaliação da vantagem competitiva para a inovação da sustentabilidade do contratante, garantindo uma maior precisão e confiabilidade. Cada um dos casos simulados indicaram que as empresas com melhor inovação sustentável apresentarão um maior lucro, sendo mais competitivas no mercado.

Kaya e Kahraman (2014) abordaram as metodologias do *fuzzy analytic hierarchy process* (AHP) e o *fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution* (TOPSIS) para a avaliação de edifícios inteligentes. A adoção do *fuzzy* em ambos os modelos possibilitou o aumento da flexibilidade e sensibilidade do algoritmo, levando em consideração a avaliação de julgamento por parte dos especialistas.

Mahmoud; Zayed; Fahmy (2019) desenvolveram uma ferramenta voltada à classificação da sustentabilidade global das edificações, considerando as variáveis regionais, por meio de atributos e determinando os pesos usando o *fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solution* (TOPSIS). A confiabilidade dos dados mostrou que o modelo apresenta efeitos dos diferentes contextos regionais sobre os valores dos atributos, contribuindo no sentido de desenvolver um modelo de avaliação da sustentabilidade global.

Esta subcategoria aborda modelos que propõe avaliar situações relacionadas à sustentabilidade e a edifícios inteligentes. Dentre os artigos que apresentaram maior impacto, todos apresentaram metodologias com o multicritério de tomada de decisão, para conseguir modelar as tendências envolvendo parâmetros quantitativos e qualitativos. Portanto, esta temática apresenta um escopo de aplicação voltado ao uso de outros algoritmos híbridos de inteligência computacional e à melhora das bases de dados dos estudos de caso, para melhor

representar o sistema proposto.

3.3.4. Categoria: Modelagem de desempenho dos materiais

Esta categoria é a que tem o maior ano médio de publicação dentre as demais, com o valor de 2017, apesar de ser a categoria com a menor métrica da CN. Dez estudos foram publicados a partir do ano de 2014, sugerindo que é uma temática mais recente de engajamento por parte dos autores. As pesquisas desenvolvidas abordam os dois aspectos relacionados à área de estudo, mostrando o desempenho no âmbito do material em si como no desempenho global da estrutura. Ambas apresentam discussões com base em banco de dados para servirem como variáveis de entrada e saída dos modelos, assim como algoritmos que precisam passar por etapas de treinamento, teste e validação.

3.3.4.1. Subcategoria: Análise de desempenho dos materiais

O estudo de Bilgehan (2011) comparou a estimativa da resistência à compressão do concreto usando o *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS), a *artificial neural network* (ANN). O modelo ANFIS apresentou ser mais flexível quando comparado ao ANN, por permitir a incorporação das incertezas e da variabilidade do sistema real. Além do mais, a avaliação dos resultados realizados foram mais realistas para o algoritmo ANFIS em contraste ao ANN.

Golafshani e Behnood (2018) empregaram os métodos de *artificial neural network* (ANN), *fuzzy TSK*, *support vector regression* (SVR) e *radial basis function neural network* (RBFNN) para estimarem o módulo de elasticidade (E_{RAC}) do concreto com agregado reciclado (RAC). Dentre as técnicas empregadas, SVR e ANN se mostraram mais confiáveis na estimativa do E_{RAC} com relação às demais, de acordo com os resultados dos parâmetros de erro e o valor OBJ, respectivamente.

Dao *et al.* (2019) propuseram modelos baseados no *particle swarm optimization* (PSO)-*based adaptive network-based fuzzy inference system* (PSOANFIS) e o *genetic algorithm* (GA)-*based adaptive network-based fuzzy inference system* (GAANFIS) para a estimativa da resistência à compressão de 28 dias do concreto geopolimérico, contendo 100% de escória residual. O PSOANFIS apresentou resultados superiores ao GAANFIS nos parâmetros utilizados, sendo um método promissor na previsão da resistência à compressão do concreto geopolimérico.

Esta subcategoria tem como os artigos com maior impacto, com relação à métrica da CNM, os temas voltados à estimativa de parâmetros do concreto. A diferença entre os estudos está relacionada ao método e ao material utilizado. Portanto, estudos futuros podem abordar uma maior quantidade de parâmetros de análise, com um banco de dados que seja mais robusto e diversificado, de forma a conseguir generalizar os modelos implementados e apresentar uma diversificação dos dados. Além do mais, podem abordar temas adjacentes aos estudados, tanto com a utilização de outros materiais como a previsão de novos parâmetros ou dosagens.

3.3.4.2. Subcategoria: Análise de desempenho estrutural

Naji *et al.* (2016) projetaram um modelo *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS) para estimar o consumo energético de edifícios a partir do tipo do material envolvente, de acordo com a sua espessura e o coeficiente de condutibilidade térmica (K). A abordagem ANFIS apresentou previsões mais precisas quando comparados à modelos de *artificial neural network* (ANN) e *generic programming* (GP) em termos de erro quadrático médio, coeficiente de Pearson e coeficiente de erro para a estiva da energia de resfriamento dos edifícios.

Enquanto Caño *et al.* (2016) desenvolveram um modelo baseado na lógica *fuzzy* e no *modelo integrado de valor para una evaluación sostenible* (MIVES) para estimar um índice de sustentabilidade aplicado à estruturas de concreto, englobando também a avaliação de sustentabilidade adotado no código espanhol de concreto estrutural (EHE). A aplicação do modelo apresentou como uma solução potencial para atingir o objetivo de sustentabilidade, apresentando um baixo nível de dificuldade ao ser implementado, além da recomendação pelos autores para o uso em situações com o tempo ou orçamento limitado.

Lazarevska *et al.* (2018) propõem um modelo *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS) voltado ao prognóstico da resistência ao fogo de pilares de concreto armado com cargas excêntricas. O estudo indica que o modelo utilizado nas estruturas fornece resultados precisos e de alta qualidade quando não existem dados ou são insuficientes, determinando a partir de qualquer dimensão ou característica do carregamento.

Esta subcategoria tem como os artigos com maior impacto, com relação a CNM, os temas voltados ao desempenho energético de edifícios e à resistência ao fogo pelo concreto armado. Dois estudos utilizaram as *neural networks* em seus modelos, por ser uma área com uma maior utilização de parâmetros a partir de banco de dados, necessitando utilizá-los a fim de melhor representar a realidade pelo modelo. Portanto, estudos futuros podem abordar a inteligência computacional em diversas aplicações de desempenho estrutural, assim como

aplicar outras metodologias nos casos apresentados, com a finalidade de desenvolver modelos mais precisos e acurados.

3.3.5. Lacunas nas abordagens para o *fuzzy* na construção civil

A Tabela 7 sintetiza quais foram as lacunas nas abordagens propostas pelos autores. A divisão dos estudos ocorreu de acordo com a categoria em que estão agrupados.

Tabela 7 – Descrição das limitações das pesquisas de acordo com os autores e por categorias

Categorias	Autor e ano	Limitações
	Gürcanli e Müngen (2009); Moradi <i>et al.</i> (2017); İlbahar <i>et al.</i> (2018).	<p>Uso de parâmetros mais específicos ao problema apresentado podem apresentar modelos mais confiáveis e acurados.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Variáveis relacionadas à gestão da segurança, aos efeitos financeiros e ambientais podem impactar diretamente nos resultados dos modelos futuros; ● Parâmetros que envolvam a probabilidade de ocorrência, assim como a sua gravidade, frequência e detecção são de extrema importância na qualidade dos modelos; ● Poucos aspectos do EVM foram modelados.
Modelagem da análise de risco	Liu e Tsai (2012); Kabir <i>et al.</i> (2016); Moradi <i>et al.</i> (2017); Tavakolan e Etemadinia (2017); İlbahar <i>et al.</i> (2018).	<p>Os modelos apresentados não têm as melhores abordagens para os problemas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● O uso de um método de apoio à tomada de decisão que exija menos esforço e tempo computacional; ● Os problemas podem apresentar um comportamento dinâmico de rede, sendo necessário de um modelo igualmente dinâmico; ● Os estudos vêm apresentando poucas abordagens de conjuntos <i>fuzzy</i>; ● A integração entre os diversos métodos pode apresentar um modelo mais abrangente, que consiga modelar melhor a realidade.
Modelagem da gestão da construção	Lee et al. (2011); Tsehayae e Fayek (2016).	<p>A pouca presença de informações a serem inseridas no modelo, uma vez que são necessários bancos de dados mais robustos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● A adição de dados ao modelo torna capaz de expandir as atividades a serem avaliadas;

		<ul style="list-style-type: none"> • A escassez nas informações faz com que seja necessário a extração de informações presentes nos bancos de dados históricos.
	<p>Ashuri e Tavakolan (2012); Al-Humaidi (2015); Tsehayae e Fayek (2016); Radziszewska-Zielina <i>et al.</i> (2017).</p>	<p>Outras metodologias têm como finalidade validar os modelos apresentados.</p> <ul style="list-style-type: none"> • O uso e outras funções de associação, pertinência e diferentes modelos de lógica <i>fuzzy</i>, de forma a tornar a técnica mais genérica e ampla; • Com relação ao planejamento das atividades, a otimização do algoritmo é necessário para que haja uma rotina de cálculo mais completa; • Modelos capazes de apresentar restrições e priorização dos critérios analisados.
	<p>Lee <i>et al.</i> (2011); Razavi e Haas (2012).</p>	<p>Poucos modelos propostos apresentaram uma integração com tecnologias adjacentes à inteligência computacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> • O uso do BIM em modelos de gestão da construção podem impactar positivamente no método proposto; • A abordagem de outros aspectos da literatura apresentam uma maior aplicabilidade do modelo; • Poucos estudos desenvolveram soluções mais fáceis de serem implementadas na realidade da construção civil.
Modelagem de projetos	<p>Chou <i>et al.</i> (2013); Shan <i>et al.</i> (2015); Abualdenien e Borrmann (2019); Mahmoud <i>et al.</i> (2019).</p>	<p>As informações coletadas para alimentar o modelo necessitam ser mais robustos, além de apresentarem uma variabilidade a fim de generalizar os modelos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A coleta de dados adicionais possibilita a generalização do modelo, para validar a abordagem proposta; • Os componentes das variáveis propostas necessitam de especificação, de forma a facilitar a visualização das informações coletadas; • O uso de entrevistas faz com que seja necessário uma grande participação, para melhorar a precisão nos atributos e pesos.
	<p>Chou <i>et al.</i> (2013); Kaya e Kahraman (2014).</p>	<p>Os estudos necessitam apresentar soluções híbridas de inteligência computacional.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A utilização de métodos híbridos é imprescindível, pois consegue unir os benefícios dos mais diversos modelos apresentados.
Modelagem de desempenho dos materiais	<p>Bilgehan (2011); Golafshani e Behnood (2018);</p>	<p>Os parâmetros de entrada apresentam problemas relacionados à escassez das informações de seus bancos de dados e a falta de análise de sensibilidade.</p>

Dao <i>et al.</i> (2019).	<ul style="list-style-type: none"> • Os bancos de dados necessitam apresentar uma maior quantidade de informações, de forma também a apresentar estudos mais generalizados; • Devido à categoria apresentar dados quantitativos, é necessário que haja uma análise de sensibilidade das variáveis, para entender o comportamento do modelo.
Lazarevska <i>et al.</i> (2018).	<p>A adoção de outras metodologias de inteligência computacional associadas entre si é imprescindível à resolução de problemas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • O uso de <i>neural networks</i> associadas ao <i>fuzzy</i> podem impactar positivamente na predição dos parâmetros da construção civil.

Fonte: Autor (2021)

4. CONCLUSÃO

A partir da RSL sobre lógica *fuzzy* na construção civil, foi possível identificar que a modelagem da análise de risco é a categoria com maior número de CNM e o segundo maior número de publicações, seguida pela categorias Modelagem de projetos e Desempenho de materiais. Para as subcategorias, os artigos que apresentaram maior impacto na citação normalizada média (CNM) foram relacionados à avaliação do risco ocupacional, de contratos e projetos relacionados à construção civil. Em relação às palavras chave, *pythagorean fuzzy sets* apresentou o maior CNM, seguido por *occupational safety* e *accident severity*, as últimas relacionadas à área de estudo com maior número de trabalhos publicados.

Após analisar os 107 trabalhos e categorizá-los, a maior quantidade de artigos foram subdivididos em (1) Avaliação do risco ocupacional, (2) Avaliação do risco de projeto e (3) Modelo de cronograma da construção. Neste sentido, podem ser consideradas as principais tendências de pesquisas para o período analisado, uma vez que concentraram 43% dos trabalhos. Enquanto isso as subcategorias com maiores anos médio de publicação são: (1) Avaliação de risco estrutural; (2) Análise de desempenho dos materiais; (3) Análise de desempenho estrutural; e (4) Avaliação dos contratos. Dessa forma, são considerados tópicos importantes para a literatura, com futuros trabalhos publicados podendo ser precursores da aplicação do *fuzzy* na construção civil.

Dentre as limitações dos estudos primários revisados, destacam-se: (1) O banco de dados utilizados nos métodos são escassos, apresentando pouca variabilidade de informações, e fazendo com que o modelo não seja testado em uma maior diversidade de situações; (2) O uso de metodologias híbridas é essencial, pois cada um dos métodos apresentam benefícios, que

quando combinados em um modelo, consegue simular com uma maior precisão as informações;

(3) No período analisado as temáticas abordadas são limitadas a poucas áreas da construção civil, sendo aberto à modelagem de temas como o risco ambiental, as reduções de perdas por *making-do*, avaliação de incorporação urbana, desempenho de outros diversos tipos de materiais e entre outros tópicos.

Dentre as limitações deste artigo destaca-se o número de bases de dados selecionadas, assim como a restrição dos artigos associados ao tipo, não se incluindo os artigos apresentados em congressos. Pesquisas futuras podem continuar a adotar estas estratégias de busca, a fim de manter atualizado o estado da arte e possibilitar o embasamento de pesquisadores. Outra estratégia poderia ser a aplicação de outras metodologias de inteligência computacional aplicada à construção civil.

REFERÊNCIAS

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. **A meta-model approach for formal specification and consistent management of multi-LOD building models**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 40, p. 135–153, 2019. DOI: 10.1016/j.aei.2019.04.003

AL-HUMAIDI, H. M. **Construction Contractors Ranking Method Using Multiple Decision-Makers and Multiattribute Fuzzy Weighted Average**. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.141, n.4, 4014092, 2015. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000949

ALVES, N. *et al.* **A evolução da norma ISO 9001 em 30 anos: benefícios e impactos**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 37, Joinville, 2017. Anais... Joinville, 2017.

AMARAL, T. G. , OKA, L. G. , FILHO, C. A. B. C. & NETO, J. P. B. 2019. **Qualitative Analysis for the Diagnosis of the Lean Construction Implementation**. In: Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Dublin, Ireland, 3-5 Jul 2019. pp 975-986.

ARABACIOGLU, B. C. **Using fuzzy inference system for architectural space analysis**. *Applied Soft Computing*, v.10, n.3, p. 926–937, 2010. DOI: 10.1016/j.asoc.2009.10.011

ASHURI, B.; TAVAKOLAN, M. **Fuzzy Enabled Hybrid Genetic Algorithm–Particle Swarm Optimization Approach to Solve TCRO Problems in Construction Project Planning**. *Journal of Construction Engineering and Management*, v.138, n.9, p. 1065–1074, 2012. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000513

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 9001: Sistema de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 32. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos**. Rio de Janeiro, 2015.

BILGEHAN, M. **A comparative study for the concrete compressive strength estimation using neural network and neuro-fuzzy modelling approaches**. *Nondestructive Testing and Evaluation*, v.26, n.1, p. 35–55, 2011. DOI: 10.1080/10589751003770100

BRADY, D.; TZORTOPOULOS, P.; ROOKE, J. **An Examination of the Barriers to Last Planner Implementation**. In: 19th annual conference of the international group for lean construction, 2011. Anais eletrônicos: 2011.

BUCKLEY, J. J. **Fuzzy hierarchical analysis**. *Fuzzy Sets and Systems*, v.17, n.3, p. 233–247, 1985. DOI: 10.1016/0165-0114(85)90090-9

CAMARGO FILHO, Carlos Augusto Bouhid de. **LCAT: ferramenta de avaliação da implementação da construção enxuta**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

CAÑO, A. DEL *et al.* **Fuzzy method for analysing uncertainty in the sustainable design of concrete structures**. *Journal of Civil Engineering and Management*, v. 22, n.7, p. 924–935, 2016. DOI: 10.3846/13923730.2014.928361

CERVERÓ-ROMERO, F., NAPOLITANO, P., REYES, E., and TERAN, L. (2013). **Last Planner System and Lean Approach Process Experiences From Implementation in Mexico**. Proc. of 21st Annual Conference of the IGLC, Fortaleza, Brazil, 709–718.

CHAN, A. P. C.; CHAN, D. W. M.; YEUNG, J. F. Y. **Overview of the Application of “Fuzzy Techniques” in Construction Management Research.** *Journal of Construction Engineering and Management*, v.135, n.11, p. 1241–1252, 2009. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000099

CHENG, M.-Y.; ROY, A. F. V. **Evolutionary fuzzy decision model for cash flow prediction using time-dependent support vector machines.** *International Journal of Project Management*, v.29, n.1, p. 56–65, 2011. DOI: 10.1016/j.ijproman.2010.01.004

CHENG, M.-Y.; TSAI, H.-C.; HSIEH, W.-S. **Web-based conceptual cost estimates for construction projects using Evolutionary Fuzzy Neural Inference Model.** *Automation in Construction*, v.18, n.2, p. 164–172, 2009. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.07.001

CHENG, M.-Y.; TSAI, H.-C.; SUDJONO, E. **Conceptual cost estimates using evolutionary fuzzy hybrid neural network for projects in construction industry.** *Expert Systems with Applications*, v.37, n.6, p. 4224–4231, 2010. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.11.080

CHESWORTH, B.; LONDON, K.; GAJENDRAN, T. **Diffusing Lean Implementation & Organization Cultural Maturity.** In: 18TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2010. *Anais eletrônicos...* 2010. p. 345–350.

CHOI, S. D. *et al.* **Comparison of fatal occupational injuries in construction industry in the United States, South Korea, and China.** *International Journal of Industrial Ergonomics*, v.71, p. 64–74, 2019. DOI: 10.1016/j.ergon.2019.02.011

CHOU, J.-S.; PHAM, A.-D.; WANG, H. **Bidding strategy to support decision-making by integrating fuzzy AHP and regression-based simulation.** *Automation in Construction*, v. 35, p. 517–527, 2013. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.06.007

DAO, D. *et al.* **Prediction of Compressive Strength of Geopolymer Concrete Using Entirely Steel Slag Aggregates: Novel Hybrid Artificial Intelligence Approaches.** *Applied Sciences*, v.9, n.6, 1113, 2019. DOI: 10.3390/app9061113

DING, Y. **Scientific collaboration and endorsement: Network analysis of coauthorship and citation networks**. Journal of Informetrics, v.5, n.1, p. 187–203, 2011. DOI: 10.1016/j.joi.2010.10.008

DUTT, B.; GARG, K.C.; BALI, A. **Scientometrics of the international journal Scientometrics**. Scientometrics. v.56, n.1, p. 81-93, 2003.

ELMOUSALAMI, H. H. **Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review**. Journal of Construction Engineering and Management, v.146, n.1, 2020. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001678

FANG, D.; WU, C.; WU, H. **Impact of the Supervisor on Worker Safety Behavior in Construction Projects**. Journal of Management in Engineering. v.31, 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000355.

FANG, D.; WU, H. **Development of a Safety Culture Interaction (SCI) model for construction projects**. Safety Science, v.57, p. 138-149, 2013. DOI: 10.1016/j.ssci.2013.02.003.

FORCAEL, E. *et al.* **Construction 4.0: A Literature Review**. Sustainability, v.12, n.22, 9755, 2020. DOI: 12.9755.10.3390/su12229755.

FRIBLICK, F.; OLSSON, V.; RESLOW, J. **Prospects for Implementing Last Planner in the Construction Industry**. In: 17TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2009, Anais eletrônicos... 2009. p. 197–206.

GASPAR, J. A. M. **O significado atribuído a BIM ao longo do tempo**. 2018. 238 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. 2019.

GASPAR, João Alberto da Motta. **O significado atribuído a BIM ao longo do tempo**. 2019. 143 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2019.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D.T. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, v.1, p. 120, 2009.

GILAN, S. S.; SEBT, M. H.; SHAHHOSSEINI, V. **Computing with words for hierarchical competency based selection of personnel in construction companies**. Applied Soft Computing, v.12, n.2, p. 860–871, 2012. DOI: 10.1016/j.asoc.2011.10.004

GOLAFSHANI, E. M.; BEHNOOD, A. **Application of soft computing methods for predicting the elastic modulus of recycled aggregate concrete**. Journal of Cleaner Production, 176, p. 1163–1176, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.186

GRAPIN, S. L.; KRANZLER, J. H.; DALEY, M. L. **Scholarly Productivity and Impact of School Psychology Faculty in APA-Accredited Programs**. Psychology in the Schools, v.50, n.1, p. 87–101, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/pits.21658>

GUNDUZ, M.; NIELSEN, Y.; OZDEMIR, M. **Fuzzy Assessment Model to Estimate the Probability of Delay in Turkish Construction Projects**. Journal of Management in Engineering, v.31, n.4, 4014055, 2015. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000261

GÜRCANLI, G. E.; MÜNGEN, U. **An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets**. International Journal of Industrial Ergonomics, v.39, n.2, p. 371–387, 2009. DOI: 10.1016/j.ergon.2008.10.006

HERAVI, G.; FAEGHI, S. **Group Decision Making for Stochastic Optimization of Time, Cost, and Quality in Construction Projects**. Journal of Computing in Civil Engineering, v.28, n.2, p. 275–283, 2014 DOI: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000264

HOSSEINI, M. R. *et al* **Critical evaluation of off-site construction research: A Scientometric analysis**. Automation in Construction, v.87, p. 235–247, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.002>

HOSSEINI, M.R., MARTEK, I., ZAVADSKAS, E.K., AIBINU, A.A., ARASHPOUR, M., CHILESHE, N. **Critical evaluation of off-site construction research: a Scientometric analysis**. Autom. ConStruct. 87, 235e247. 2018.

HOWARD, G. S.; COLE, D. A.; MAXWELL, S. E. **Research productivity in psychology based on publication in the journals of the American Psychological Association.** *American Psychologist*, v.42, p. 975 – 986, 1987.

HSUEH, S.-L.; YAN, M.-R. **A Multimethodology Contractor Assessment Model for Facilitating Green Innovation: The View of Energy and Environmental Protection.** *The Scientific World Journal*, p. 1–14, 2013. DOI: 10.1155/2013/624340

JIANG, S.; JANG, W.-S.; SKIBNIEWSKI, M. J. **Selection of wireless technology for tracking construction materials using a fuzzy decision model.** *Journal of Civil Engineering and Management*, v.18, n.1, p. 43–59, 2012. DOI: 10.3846/13923730.2011.652157

JIN, R. *et al.* **A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018.** *Journal of Cleaner Production*, v.202, p. 1202–1219, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.195>.

JIN, R., GAO, S., CHESHMEHZANGI, A., & ABOAGYE-NIMO, E. **A holistic review of off-site construction literature published between 2008 and 2018.** *Journal of Cleaner Production*, 202, 1202–1219. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.195>

KABIR, G.; SADIQ, R.; TESHAMARIAM, S. **A fuzzy Bayesian belief network for safety assessment of oil and gas pipelines.** *Structure and Infrastructure Engineering*, v.12, n.8, p. 874–889, 2015. DOI: 10.1080/15732479.2015.1053093

KAYA, İ.; KAHRAMAN, C. **A comparison of fuzzy multicriteria decision making methods for intelligent building assessment.** *Journal of Civil Engineering and Management*, v.20, n.1, p. 59–69, 2014. DOI: 10.3846/13923730.2013.801906

KITCHENHAM, B., CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering.** Version 2.3. University of keele (software engineering group, school of computer science and mathematics) and Durham. Department of Computer Science, UK, 2007. 44p.

KITCHENHAM, B., CHARTERS, S. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Version 2.3. University of Keele (software engineering group, school of computer science and mathematics) and Durham. Department of Computer Science, UK, p. 44. 2007.

KOC, E. et al. **Emerging trends and research directions**. 2020. DOI: 10.1201/9780429398100-23.

KOSKELA, L. **Application of the New Production Philosophy to Construction**. Stanford: Stanford University, 1992. (Technical Report, 72).

LAZAREVSKA, M. et al. Determination of Fire Resistance of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Columns Using Fuzzy Neural Networks. **Complexity**, p. 1–12, 2018. DOI: 10.1155/2018/8204568

LEE, D.-E., LIM, T.-K., & ARDITI, D. **An Expert System for Auditing Quality Management Systems in Construction**. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 26(8), 612–631. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2011.00721.x>

LEE, D.-E.; LIM, T.-K.; ARDITI, D. **An Expert System for Auditing Quality Management Systems in Construction**. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v.26, n.8, p. 612–631, 2011. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2011.00721.x

LEŚNIAK, A.; PLEBANKIEWICZ, E. **Modeling the Decision-Making Process Concerning Participation in Construction Bidding**. Journal of Management in Engineering, v.31, n.2, 04014032, 2015. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000237

LIKER K.J., **O Modelo Toyota**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2005.

LIU, H.-T.; TSAI, Y. **A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry**. Safety Science, v.50, n.4, p. 1067–1078, 2012. DOI: 10.1016/j.ssci.2011.11.021

LOLIS, S.F. et al. **Scientometric analysis of energetic ecology: primary production of aquatic macrophytes.** Acta Scientiarum. Biological Sciences. 2009. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v31i4.5139.

MAHMOUD, S.; ZAYED, T.; FAHMY, M. **Development of sustainability assessment tool for existing buildings.** Sustainable Cities and Society, v.44, p. 99–119, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2018.09.024

MORADI, N.; MOUSAVI, S. M.; VAHDANI, B. **An earned value model with risk analysis for project management under uncertain conditions.** Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, v.32, n.1, p. 97–113, 2017. DOI: 10.3233/JIFS-151139

NAJI, S. et al. **Application of adaptive neuro-fuzzy methodology for estimating building energy consumption.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.53, p. 1520–1528, 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2015.09.062

NARANJO, G.; PELLICER, E.; YEPES, V. **Marketing in the construction industry: State of knowledge and current trends.** DYNA (Colombia), v.78, p. 250-258, 2011.

NING, X.; LAM, K.-C.; LAM, M. C.-K. **A decision-making system for construction site layout planning.** Automation in Construction, v.20, n.4, p. 459–473, 2011. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.11.014

NOGUEIRA, M. G. S.; SAURIN, T. A. **Proposta de avaliação do nível de implementação de típicas práticas da produção enxuta em uma empresa do setor metal-mecânico.** Revista Produção Online, v. 8, n. 2, 2008.

ORAE, M. et al. **Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review.** International Journal of Project Management, v.35, p. 1288-1301, 2017. DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.07.001.

ORAE, M., HOSSEINI, M. R., PAPADONIKOLAKI, E., PALLIYAGURU, R., & ARASHPOUR, M. **Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-**

qualitative literature review. International Journal of Project Management, 35(7), 1288–1301. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.07.001>

PBQP-H, 2012. **Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil - SiAC.**

RADZISZEWSKA-ZIELINA, E.; ŚLADOWSKI, G.; SIBIELAK, M. **Planning the reconstruction of a historical building by using a fuzzy stochastic network.** Automation in Construction, v.84, p. 242–257, 2017. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.08.003

RAZAVI, S. N.; HAAS, C. T. **Multisensor data fusion for on-site materials tracking in construction.** Automation in Construction, v.19, n.8, p. 1037–1046, 2010. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.07.017

RAZAVI, S. N.; HAAS, C. T. **Reliability-Based Hybrid Data Fusion Method for Adaptive Location Estimation in Construction.** Journal of Computing in Civil Engineering, v.26, n.1, p. 1–10, 2012. DOI: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000101

SADEGHI, N.; FAYEK, A. R.; PEDRYCZ, W. **Fuzzy Monte Carlo Simulation and Risk Assessment in Construction.** Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, v.25, n.4, p. 238–252, 2010. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2009.00632.x

SANTOS, R.; COSTA, A.; GRILO, A. **Bibliometric analysis and review of Building Information Modelling literature published between 2005 and 2015.** Automation in Construction, v.80, p. 118-136, 2017. DOI: 2017.10.1016/j.autcon.2017.03.005.

SAWHNEY, A.; RILEY, M.; IRIZARRY, J. **Construction 4.0 - An Innovation Platform for the Built Environment.** Routledge: New York, NY, USA, 2020. ISBN 978-0-429-39810-0.

SEPASGOZAR, S. et al. **Additive Manufacturing Applications for Industry 4.0: A Systematic Critical Review.** Buildings. v.10, n.12, 231, 2020. DOI: 10.2310.3390/buildings10120231.

SHAN, M. et al. **Measuring Corruption in Public Construction Projects in China**. Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice, v.141, n.4, 5015001, 2015. DOI: 10.1061/(asce)ei.1943-5541.0000241

TAH, J. H. M.; CARR, V. **A proposal for construction project risk assessment using fuzzy logic**. Construction Management and Economics, v. 18, n.4, p. 491-500, 2000. DOI: 10.1080/01446190050024905

TAVAKOLAN, M.; ETEMADINIA, H. **Fuzzy Weighted Interpretive Structural Modeling: Improved Method for Identification of Risk Interactions in Construction Projects**. Journal of Construction Engineering and Management, v.143, n.11, 4017084, 2017. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001395

TSEHAYAE, A. A.; FAYEK, A. R. **Developing and Optimizing Context-Specific Fuzzy Inference System-Based Construction Labor Productivity Models**. Journal of Construction Engineering and Management, v.142, n.7, 04016017, 2016. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0001127

TURNER, C. *et al.* **Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities**. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2020. DOI: 17.746 - 756.10.1109/TII.2020.3002197.

VAN ECK, N.J., WALTMAN, L., 2020. **VOSviewer Manual**. Manual for VOSviewer, version 1.6.15.

VIANA, D. D.; MOTA, B.; FORMOSO, C. T.; ECHEVESTE, M.; PEIXOTO, M.; RODRIGUES, C. L. **A survey on the last planner system: impacts and difficulties for implementation in Brazilian companies**. In: 18TH ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2010. Anais eletrônicos..., 2010. p. 97–108.

WALTER, O. M. F. C.; TURBINO, D. F. **Métodos de avaliação da implantação da manufatura enxuta: Uma revisão da literatura e classificação**. Revista Gestão e Produção. São Carlos, v. 20, n. 1, p. 23-45, 2013.

WALTMAN, L. *et al.* **Towards a new crown indicator: an empirical analysis.** *Scientometrics*, v.87, n.3, 467–481, 2011. DOI: 10.1007/s11192-011-0354-5

WALTMAN, L., VAN ECK, N. J., VAN LEEUWEN, T. N., VISSER, M. S., & VAN RAAN, A. F. J. **Towards a new crown indicator: an empirical analysis.** *Scientometrics*, 87(3), 467–481. 2011. <https://doi.org/10.1007/s11192-011-0354-5>

WANDAHL, S. **Lean Construction with or without Lean – Challenges of Implementing Lean Construction.** In: 22ND ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 2014. *Anais eletrônicos...*, 2014. p. 97–108.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection.** *Harvard business review*, 1996. v. 74, n. 5, p. 140.

YEUNG, J. F. Y.; CHAN, A. P. C.; CHAN, D. W. M. **Fuzzy Set Theory Approach for Measuring the Performance of Relationship-Based Construction Projects in Australia.** *Journal of Management in Engineering*, v.28, n.2, p. 181–192, 2012. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000083

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v.8, n.3, p. 338–353, 1965.

ZADEH, L.A. 1965. **Fuzzy sets.** *Inf. Control* 8, 338 -353.

ZAMBONI, A. *et al.* **StArt – Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOFTWARE, 10, Salvador, 2010. *Anais...* Salvador, 2010.

ZAMBONI, A., THOMMAZO, A.D., HERNANDES, E., FABBRI, S. **StArt – Uma Ferramenta Computacional de Apoio à Revisão Sistemática.** *Anais do Congresso Brasileiro de Software: Teoria e Prática.* Salvador, BA. XVII Seção de Ferramentas. 2010.

ZHANG, P.; QIN, G.; WANG, Y. **Risk Assessment System for Oil and Gas Pipelines Laid in One Ditch Based on Quantitative Risk Analysis**. *Energies*, v.12, n.6, 981, 2019. DOI: 10.3390/en12060981