



X Encontro Brasileiro de Administração Pública.
ISSN: 2594-5688
secretaria@sbap.org.br
Sociedade Brasileira de Administração Pública

Análise de Redes Complexas na Gestão de Riscos: uma revisão sistemática

Jeferson Tadeu De Souza, Adler Gabriel Da Silva Campos

[ARTIGO] GT 5 Governança, Riscos e Integridade das Organizações e Contratações do Setor Público

Análise de Redes Complexas na Gestão de Riscos: uma revisão sistemática

Resumo:

Neste trabalho investigou-se, por meio de revisão sistemática de publicações científicas entre 2018 e 2022, como o emprego de técnicas de análise de redes complexas pode contribuir para a identificação e análise de riscos. Constatou-se que o tema tem concentração nas áreas de computação, engenharia e matemática, não sendo identificadas correntes teóricas divergentes. Verificou-se que o tema se aproxima mais a uma técnica instrumental que uma teoria acerca dos riscos. Percebeu-se que a temática pode ser dividida entre técnicas de identificação de riscos em rede e análise de riscos, podendo esta última ainda ser reclassificada entre análise de probabilidade de ocorrência e de impacto de riscos sistêmicos e análise topológica para a priorização de riscos. Os achados levam a inferir que o emprego de estudo de redes pode sim contribuir para a identificação, análise e priorização de riscos, os quais poderiam não ser devidamente identificados em análises tradicionais.

Palavras-chave: *risk assessment. risk management. Graph Analysis. complex networks. system vulnerability.*

Introdução

O termo risco está presente em várias áreas de conhecimento, contudo sua definição sofre variações conforme autores e empregos operacionais. Em 1997, na área financeira, Oldfield e Santomero (1997), conceituou risco como a medida de incerteza associada a qualquer atividade de negócios - no caso do autor, bancos.

Já em 2005, Esch, Kieffer e Lopez (2005), toma o termo 'risco operacional' do Comitê de Basileia, qual seja, a probabilidade de perda - quantitativa ou qualitativa - resultante de processos internos, pessoas e sistemas inadequados ou falhos ou de eventos externos. Tendo chegado o ano de 2020, Holzmeister et al (2020) complementa à definição anterior o conceito de risco financeiro proposto por Markowitz (1952), qual seja, que o risco é a variância ou desvio padrão dos retornos prospectados nos diferentes cenários. Dado ao exposto no presente artigo, tomaremos o conceito operacional de risco como eventos probabilísticos ocorridos em um sistema, que possui causas e consequências impactantes - e geralmente danosas - aos objetivos propostos.

Entretanto, se se entender que as consequências de um evento podem ser causas de outro consequente, pode-se aproximar do conceito de riscos sistêmicos, ou seja riscos que evoluem de interações em rede em sistemas complexos (GALAZ et al, 2021), os quais aumentam quanto maior for o projeto (FANG et al, 2012).

Dito isso, entendido que os riscos podem ser analisados em rede, acredita-se que a análise de redes complexas permite demonstrar que uma das consequências de um evento de risco - ainda que de baixo impacto - é desencadear um ou outros eventos de riscos (FANG et al, 2012), como um efeito dominó. Desta forma, avaliar riscos utilizando modelo de grafo traz a capacidade de visualizar ligações entre os efeitos das ameaças (ADAMCZYK et al, 2017).

Para se estudar uma rede complexa, utiliza-se técnicas de análise de grafo, o qual pode ser conceituado como “uma abstração matemática que pode ser utilizada para representar uma rede complexa” (GABARDO, 2015, p. 37). Os grafos são formados por dois elementos: vértices e arestas. Enquanto os vértices possuem atributos de sua constituição as arestas podem ou não os possuir (TRUDEAU, 2013).

A análise de grafo é uma área transdisciplinar com fortes implicações da matemática e da computação, as quais permitem encontrar relações implícitas entre dados, identificar elementos mais centrais de uma rede, como densidade e *clusterizações* (TRUDEAU, 2013). Tais técnicas têm sido utilizadas, ainda, em diferentes estilos de estudos semânticos e permite fazer alguns tipos predições (ENTRUP 2017).

Expostas tais definições introdutórias, o presente artigo, por meio de revisão sistemática, visa a contribuir à resposta da questão: como o emprego de análise de redes pode contribuir para a identificação e análise de riscos? Decorrente desta pergunta, este artigo tem por objetivo principal entender o estado da arte da pesquisa acerca da utilização de técnicas de grafo (também conhecidas de análise de redes) aplicadas à identificação e mensuração de riscos em um sistema gerenciável e, subsidiariamente, apontar agendas de pesquisa para robustecer a temática frente a administração pública.

O estudo realizado utiliza a Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), uma técnica bibliométrica e meta-analítica que visa a demonstrar o cenário de publicações em torno de temas de pesquisa (MARIANO; ROCHA, 2017).

2 Método de pesquisa

O TEMAC, proposto em 2017, é um método que utiliza abordagens da revisão qualitativa, integrativa e sistemática, e utiliza-se de meta-análises como uma análise final. Este modelo teve seu artigo inaugural publicado sob o título 'Revisão da literatura: apresentação de uma abordagem integradora' (MARIANO, 2017) e tem sido utilizado por artigos indexados pelo Portal de Periódicos da Capes e pelo assim como no Google Scholar.

Neste framework de pesquisa, o termo meta-análise diz respeito à extração de informações de metadados das publicações, com organização dos atributos como autores, origem das publicações, volume de publicações, índices bibliométricos de acoplamento bibliográfico e de cocitação. Tal análise de dados segue parâmetros de leis da bibliometria, com o fito de produzir conhecimentos quantitativos, somada a análise qualitativa dos achados.

A execução desse modelo é feita por meio de três passos, quais sejam: a. preparação da pesquisa; b. apresentação e inter-relação dos dados; c. detalhamento, modelo integrador e

validação por evidências. Na primeira fase, preparação de pesquisa, conforme Mariano e Rocha (2017), devem ser encontrados os descritores e palavras-chaves do tema de pesquisa, o espaço-tempo de pesquisa e as áreas de conhecimento. Com tais atributos, deve-se definir as bases de dados, aos quais estas variáveis serão aplicadas para fins de recuperação das publicações relacionadas ao tema de pesquisa.

Em um segundo momento, busca-se a interrelação dos dados, buscando entender a evolução do tema ano a ano, as palavras-chave relacionadas ao tema, os documentos mais citados e as fontes e autores que mais contribuíram com a temática. Por fim, passa-se a análise de cocitação, coupling e coautoria, identificando possíveis relações entre autores e referências, as principais abordagens, linhas de pesquisa, validação via evidências, com comparação dos resultados das diferentes fontes.

Muito embora desfavoreça o encontro de novas frentes de pesquisa, a medida de cocitação facilita conectar trabalhos a autores e periódicos, enquanto isso, a medida de coupling pode ser útil para encontrar áreas de pesquisa e subáreas. Por último a coautoria, evidencia a colaboração e a estrutura social do campo, ainda que nem sempre colaborações sejam apresentadas como coautoria.

Dada a expectativa de transdisciplinaridade do tema e o objetivo de ter pesquisa mais ampla e atualizada, decidiu-se ter por palavras chaves, os seguintes termos em inglês: "risk", "analysis" e "graph". Ato contínuo, pesquisou-se, em julho de 2022, nas bases de indexação de publicações científica SCOPUS e Web Of Science.

Na procura foram utilizados os termos supracitados, utilizando-se do uso de "OR", com a restrição temporal de publicações entre o ano de 2018 a 2022. Foram pesquisados apenas artigos em inglês e foi utilizada, também, a restrição de publicação apenas nas áreas, conforme cada Portal:

- a) Web of Science - Business; Business Finance; Computer Science Artificial Intelligence; Computer Science Information Systems; Computer Science Theory Methods; Engineering; Multidisciplinary; Management; Management Science; Mathematical Methods; Multidisciplinary Sciences; Public Administration; Statistics Probability.
- b) SCOPUS - Business, Management and Accounting; Computer Science; Decision Sciences; Engineering; Environmental; Mathematics; Social Sciences.

Desta forma, foram recuperados, inicialmente, 627 artigos na base Web of Science e 547 artigos no Portal SCOPUS (Elsevier). A lista recuperada foi salva na função de "lista" de ambos os repositórios e baixadas para tratamento de arquivo local. Para auxiliar a execução da

fase 2 do modelo TEMAC, foi elaborado um caderno *jupyter* para tratamento de dados, visando a agregar os dados das duas bases.

Além disso, para entender a evolução do tema, após a extração das palavras chaves das listas iniciais, foi feita nova pesquisa na base SCOPUS, com os mesmos descritores iniciais da pesquisa, mas com delineamento entre 1999 a 2022, buscando identificar, dentre os artigos de maior índice de Field-Weighted Citation Impact (FWCI) indicador este que, conforme o site SCOPUS, é composto pela "razão entre as citações do documento e o número médio de citações recebidas por todos os documentos semelhantes em uma janela de três anos" (tradução livre). Assim, foram recuperados 6 artigos que serão citados na parte que tratará da evolução temática.

Após isso, para a confecção da fase 3 - conforme recomendada no TEMAC - foi utilizado o software Version 1.6.18 (0), (<http://www.vosviewer.com/>), para verificação de redes de relacionamento entre autores, assim como entre palavras chaves, utilizando-se de arquivo da lista dos dados das bases do SCOPUS.

Para o entendimento das abordagens e composição da estrutura de conhecimento do objeto de pesquisa foram selecionados 25 artigos - daqueles de maior CiteScore ou de autores com maior citação - os quais que foram lidos e seus conceitos estruturados em um mapa mental. Excertos dos artigos foram distribuídos no mapa mental. E, a partir de então, foi composto texto com as divisões e subdivisões da estruturação elaborada.

Por fim, foi composto o modelo integrador por meio de comparação dos resultados, buscando identificar a força das evidências de que a utilização de técnicas de grafo tem apresentado resultados positivos para a identificação e mensuração de riscos em um sistema gerenciável.

Para tanto, conforme procedimento indicado por Mariano e Rocha (2017), buscou-se, dentre os artigos escolhidos, revisões sistemáticas de múltiplos experimentos bem delineados, evidências de publicações de estudo de caso com resultados apresentados e evidências de mais de um centro ou grupo de pesquisa.

3 Análise bibliométrica dos resultados

Consultando a base SCOPUS, percebeu-se que o emprego de técnicas em grafo para análise de riscos e decisões não é assunto novo. Já em 1999, Wu et. al. publicaram artigo sobre a temática (95h percentil - 3,95 FWCI). Mais tarde, Fang, Marle, Zio e Bocquet (2012) [Percentil 91; FWCI: 2,8] propôs uma abordagem para lidar com interações de riscos, em grandes projetos de engenharia baseada na teoria de redes, utilizando-se de análise topológica.

Em 2010, Wagner E Neshat (2010), desenvolveram estudo [Percentil: 99; FWCI: 12,47] com abordagem na teoria dos grafos para quantificar e mitigar a vulnerabilidade da cadeia de suprimentos.

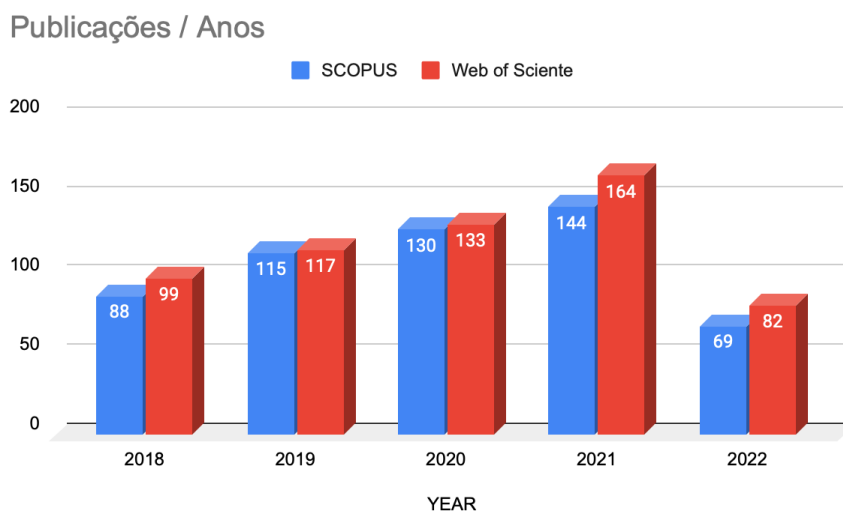
Chegando o ano de 2015, Stergiopoulos et. al. (2015) concluíram em sua pesquisa [percentil: 86; FWCI: 1,91] que a análise da cadeia de dependências não é o bastante para a criação de estratégia de mitigação de riscos e, desta forma, o autor explorou a relação entre os caminhos de risco de dependência e as características de centralidade dos gráficos, aplicando métricas de centralidade para avaliar as medidas alternativas para mitigação de riscos.

E em 2016, Song e Shen (2016) propuseram um modelo de estrutura combinatória em redes para solucionar o problema de interdição do líder avesso ao risco.

Para o período de recorte deste estudo, foi verificada a constância dos termos ao longo dos anos 2018-2022. Para tanto, filtrou-se os termos que apareceram mais de uma vez a cada ano e observou-se aqueles que surgiram em todos os anos, demonstrando constância na temática. Com tais procedimentos destacaram-se os termos: *attack graph*, *bayesian network*, *complex network*, *deep learning*, *graph theory*, *knowledge graph*, *machine learning*, *network graph*, *resilience*, *risk analysis*, *risk management*, *risk assessment*, *social network analysis*, *systemic risk* e *vulnerability*.

Conforme o resultado das pesquisas das plataformas utilizadas, pelo que se pode verificar no gráfico abaixo, percebe-se que o número de publicações sobre o tema tem aumentado anualmente, como ilustra a Figura 1.

Figura 1: Publicações indexadas nos Portais entre 2018-2022



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ainda neste escopo temporal (2018-2022) - utilizando-se das *tags* relativas às áreas de estudo, somando-se as publicações constantes na lista recuperada de artigos nos repositórios SCOPUS e Web Of Science - percebeu-se que a área mais ativa quanto à temática é a ciência da computação (421 artigos somados), seguido por engenharia (231 artigos), matemática (149), telecomunicações (99) e ciências sociais(76). A área de administração (decision sciences) obteve apenas 71 artigos.

Ressalta-se que, a despeito do relativo baixo número de participação das áreas de administração e finanças na temática, a leitura dos arquivos relacionados às temáticas de gestão apontam indicativos interessantes de sua importância para tais disciplinas. No que diz respeito ao emprego da técnica para análise na administração pública, da lista unificada (SCOPUS e Web of Science), apenas dez artigos trouxeram 'public administration' dentre as palavras-chave, o que evidencia a baixa exploração do tema neste campo de pesquisa.

O mesmo cenário se replica ao analisar as publicações do ponto de vista das revistas mais relevantes - seja no que diz respeito ao número de publicações na temática, seja em relação ao índice de CiteScore. Por este ponto de vista, fica demonstrado, também, que o assunto tenha sido tratado por revistas relevantes (CiteScore > 1) de engenharia e computação. Conforme se pode verificar no Quadro 1, o tema tem sido pouco tratado nas ciências ligadas à administração e demais setores.

Quadro 1: Revistas mais relevantes que publicaram sobre o tema e suas áreas de conhecimento.

| Journals | Docs* | Cite Score** | SNIP 2021*** | Áreas |
|--|-------|--------------|--------------|--|
| Reliability Engineering And System Safety | 6 | 10,2 | 2.468 | Engenharia: Segurança, Risco, Confiabilidade e Qualidade |
| Physica A Statistical Mechanics And Its Applications | 6 | 7,1 | 1.208 | Matemática e Astronomia |
| Risk Analysis | 3 | 7 | 1.639 | Engenharia: Segurança, Risco, Confiabilidade e Qualidade Medicina |
| IEEE Access | 15 | 6,7 | 1.326 | Engenharias, Ciência da Computação, Ciência dos Materiais |
| Sustainability Switzerland | 6 | 5 | 1.310 | Ciências Sociais, Ciência Ambiental, Ciência da Computação, Engenharia: Construção Civil, Ciência Ambiental: Gestão, Monitoramento, Política e Direito Ciência da Computação: Redes de Computadores e Comunicações. Energia, Energia e Meio ambiente |

| | | | | |
|--|----|-----|-------|------------------------------------|
| Lecture Notes In Computer Science Including Subseries Lecture Notes In Artificial Intelligence And Lecture Notes In Bioinformatics | 36 | 2,1 | 0.534 | Ciência da Computação e Matemática |
| Studies In Computational Intelligence | 7 | 1,8 | 0.397 | Ciência da Computação |
| ACM International Conference Proceeding Series | 11 | 1 | 0.310 | Ciência da Computação |
| Communications In Computer And Information Science | 12 | 0,9 | 0.286 | Matemática e Ciência da Computação |
| Advances In Intelligent Systems And Computing | 10 | 0,9 | 0.307 | Ciência da Computação |

*Docs = artigos publicados com a temática relacionada

**CiteScore contabiliza as citações recebidas nos últimos 4 anos e divide pelo número de publicações publicadas no mesmo período.

*** Source Normalized Impact per Paper - SNIP - Conforme o portal Scopus - Source Normalized Impact per Paper, é um fator de impacto que mede as citações reais recebidas em relação às citações esperadas para o campo de assunto do periódico

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outra análise realizada foi buscar os artigos mais citados dentre a coletânea salva e que ao mesmo tempo possuem maior relevância para com o tema, selecionou-se da lista recuperada (SCOPUS e WoS) aqueles que possuíam palavras-chave relacionadas ao problema de pesquisa e com maior FWC score.

Seguindo tal parâmetro, os artigos de maior relevância foram uníssonos em demonstrar que a aplicação de técnicas de grafos em ativos e riscos mapeados - associadas a previsões de impactos individuais de cada risco e as relações entre esses ativos, utilizando-se técnicas matemáticas e computacionais - são hábeis para prever a evolução de sistemas e a probabilidade de riscos complexos. Seguem esta posição os artigos listados no Quadro 2.

Quadro 2: Artigos de maior relevância.

| Publicações | Autores | Ano | Citações |
|---|---|------|----------|
| <i>An integrated systemic method for supply reliability assessment of natural gas pipeline networks</i> | Su, H., Zhang, J., Zio, E., Yang, N., Li, X., & Zhang, Z. | 2018 | 88 |

| | | | |
|--|--|------|----|
| <i>Developing an advanced dynamic risk analysis method for fire-related domino effects</i> | Zeng, T., Chen, G., Yang, Y., Chen, P., \& Reniers, G. | 2020 | 37 |
| <i>Integrating “Hard” and “Soft” infrastructural resilience assessment for water distribution systems.</i> | Pagano, Alessandro et al | 2018 | 24 |
| <i>Complexities in financial network topological dynamics: Modeling of emerging and developed stock markets.</i> | Tang, Y., Xiong, J. J., Jia, Z. Y., \& Zhang, Y. C. | 2018 | 16 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

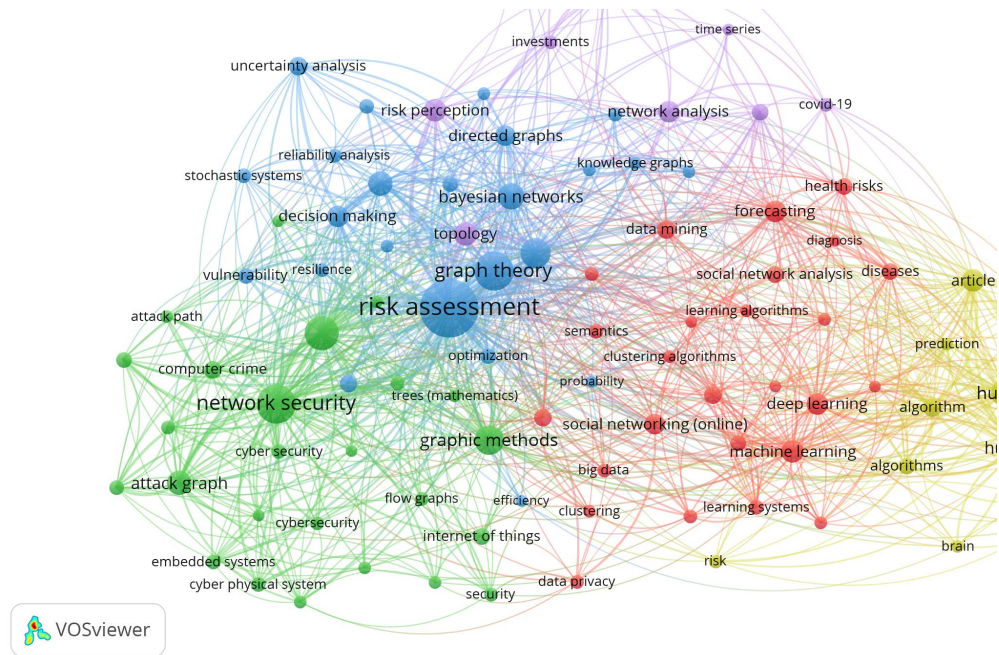
Se se analisar apenas os autores que mais produziram artigos relacionados ao problema de pesquisa - com a lista recuperada (SCOPUS e WoS) - se encontram: Gritzalis, d. (6 publicações); Uddin, S. (6 publicações); Stergiopoulos, G. (6); Dedousis, P. (5) e Shetty, s. (4). O que demonstra uma cauda longa de pesquisadores na área, ou seja, um grande número de autores publicaram poucos artigos no período pesquisado.

Quanto aos países que mais se debruçaram sobre a temática, a China lidera com 211 publicações, seguida de Estados Unidos (182), Inglaterra (41), Itália (37) e Alemanha (35), o Brasil aparece apenas em 33o. colocado, com quatro publicações.

Não foi percebida concentração de financiadores do tema, e assim seguiu-se à análise das palavras-chave relacionadas às listas recuperadas. No período analisado, (2018-2022), colecionou-se, de ambas as listas (SCOPUS e WoS), as palavras chaves do artigo, apontadas pelos autores e a segunda lista, apontada pelos editores. Tendo sido encontradas, em ordem de frequência, os seguintes termos: *risk analysis* (47), *attack graph* (30), *graph theory* (30), *bayesian network* (26), *complex network* (23), *network analysis* (22), *machine learning* (19), *social network analysis* (19), *deep learning* (16), *vulnerability* (14). *Risk management* foi encontrado 12 vezes e *systemic risk* 10 ocorrências.

Utilizando-se do software VosViewer, foi executado algoritmo para criar uma rede de coocorrência das palavras indexadas criadas pelo autor e pelo publicador, utilizando-se a lista extraída do repositório SCOPUS, tendo sido identificado 5 *clusters* de palavras - conforme demonstrado na figura a seguir-, dos quais nomeamos conforme o termo mais frequente em cada grupo: segurança de rede, avaliação de risco, machine learning, investimentos e análise humana.

Figura 2: Rede de coocorrência de palavras-chave por artigos.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Destes, devido a aderência de pesquisa, selecionou-se 33 artigos para leitura e estudo referentes ao cluster ligado à avaliação de risco. As palavras-chave referenciadas pelo autor ou revista deste agrupamento foram: *bayesian network*, *complex networks*, *decision making*, *directed graphs*, *disasters*, *efficiency*, *disasters*, *efficiency*, *graph theory*, *hazards*, *knowledge graph*, *knowledge representation*, *monte carlo*, *optimization*, *probability*, *reliability analysis*, *resilience*, *risk assessment*, *risk management*, *safety engineering*, *stochastic systems*, *uncertainty analysis*, *vulnerability*.

Após tais procedimentos, seguindo o framework TEMAC, passou-se à etapa 3, na qual foram utilizados o sistema VOSViewer 1.6.5, para identificação de clusters de cocitação e coupling dos dados.

Foram encontrados 4 *cluster* de coupling de autores que, contudo, apresentaram citações entre si, evidenciando não haver correntes divergentes da temática. Os quatro clusters foram: a) Dedousis p., Gritzals d. e Stergiopoulos; b) Li s., Li z., Liu y., Uddin S., Wang S., Wang J., Wang H., Wang. Y e Wang Z.; c) Chen Z., Li X., Li Y., Zhang J., Zhang X., Zhang Y., Zhang Z. e d) Yang Y., Zhang H.

Em suma, a análise bibliométrica revelou que a utilização de técnicas de análise de grafo em cenários tem crescido continuamente e se encontra dispersa entre várias áreas, capitaneadas

pela computação, engenharia e matemática, com destaque para a China como principal país publicador.

4 Discussão dos resultados

O primeiro passo para se estruturar uma rede dos riscos, como em qualquer outro tipo de rede se dá pela definição de possíveis classes, atributos de entidades em um esquema, assim como dos possíveis inter-relacionamentos das entidades e os domínios dos tópicos (PAULHEIM, 2017).

Nistor (2019), afirma que é necessário conhecimento dos detalhes das propriedades do objeto de estudo para que se possa estruturar uma rede. Enquanto Adamczyk et al (2017) arquitetaram seu modelo de redes iniciando com inventário de recursos e identificando a tríade "ativo - vulnerabilidade - ameaça", resultando na caracterização quantitativa do efeito probabilístico de cada evento para o risco da segurança dos ativos.

Conforme Adamczyk (2017), esta análise geralmente é estimada com base no conhecimento de especialistas e, portanto, é comum o uso da probabilidade condicional de falha entre nós, resultando assim no relacionamento em cascata (WU et. al., 2021). A análise que parte do entendimento do comportamento das unidades que compõem a rede para o todo, ou seja, do nível micro para o marco, também é compartilhada por Caccioli e Kobayashi (2018), a qual afirmou que "chave para entender o risco sistêmico é, portanto, descobrir os mecanismos que estão por trás do feedback micro-macro".

Ressalta-se que, no caso da impossibilidade de se coleccionar todos os dados necessários para cada unidade (nó) da rede, Zhang (2020) propõe a utilização de métodos *deep-learning* para suprir a escassez de dados no espaço e no tempo, e a topologia de rede complexa.

Seguida a estruturação dos riscos em rede, passa-se a análise dos riscos de forma sistemática. Similarmente à análise de riscos em finanças e divergindo o comum da análise de riscos em projetos, a leitura dos artigos evidenciam que a análise de riscos em rede - ou múltiplas redes interconectadas (WU, 2021) - apresenta maior tendência quantitativa, o que é visto como vantagem de aprofundamento da análise (NISTOR, 2019). A leitura dos artigos nos permitiu dividir a análise das redes em duas classes: a análise de probabilidade de ocorrência e impacto de riscos e a análise topológica para a priorização de riscos. Apesar da exposição mais detalhada que se segue, sumarizou-se no Quadro 3 as técnicas e medidas que mais foram discutidas nos artigos analisados.

Quadro 3. Quadro Sumarizado das Técnicas e Medidas Empregadas na Análise dos Riscos em Rede

| Classificação | Método de Análise | Emprego |
|---|----------------------------|--|
| Análise de Probabilidade de Ocorrência e de Impacto de Riscos | de Markov | Sistemas complexos com propriedades dinâmicas. estocástico. Temporal. Baseado na transição de estado. Não apropriado para pequenos sistemas. |
| | de rede bayesiana | Relações causais entre as variáveis, utilizando técnicas probabilísticas. quantitativos e qualitativos. Exige conhecimento das probabilidades condicionais. |
| | de Monte Carlo | Baseado em probabilidades condicionais. Estuda falha em cascata de sistemas interdependentes. classificar e identificar vulnerabilidades estáticas e dinâmicas |
| | com redes convolucionais | Aponta direção e a amplitude de mudanças percebidas no sistema |
| Análise Topológica para a Priorização de Riscos | de medidas de centralidade | Identifica elementos chave na estrutura de riscos. |
| | de <i>clusters</i> | Encontro de subsistemas (subgrafos) determinar o bom funcionamento de uma rede como sistema. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Há vários modelos disponíveis para a análise de probabilidade de falha sistêmica de rede, como por exemplo: os diagramas de bow-tie, árvores de falhas, redes Bayesianas e métodos de Markov, mas também técnicas híbridas, como métodos de Monte Carlo de cadeia de Markov e árvores de falhas difusas, podendo inclusive ser propostos modelos que combinam estas técnicas (JACULLI et al, 2019).

A análise de Markov é um modelo proposto para verificar a probabilidade condicional das falhas e identificar as vulnerabilidades do sistema (YANG et al, 2021). Embora não seja apropriado para pequenos sistemas, ele é um método apropriado para sistemas complexos com propriedades dinâmicas. (JACULLI et al, 2019).

A análise de Markov é um modelo estocástico, temporal, baseado na transição de estado para investigar as falhas em cascata na rede, da qual o estado atual depende exclusivamente do estado anterior (WU et. al., 2021).

A análise de rede bayesiana, é uma técnica usada para expressar as relações causais entre as variáveis, utilizando técnicas probabilísticas (MENG, 2022; PAN, 2021), podendo usar dados quantitativos ou qualitativos (JACULLI et al, 2019). Contudo, sua aplicação exige conhecimento das probabilidades condicionais que, geralmente, só podem ser determinadas pelo conhecimento especializado na área em que se está aplicando a análise (ADAMCZYK et al, 2017).

A análise de Monte Carlo diz respeito a simulação numérica baseada em probabilidades condicionais sendo usada para estudar a falha em cascata de sistemas interdependentes (WU et al, 2021), sendo usado para classificar e identificar vulnerabilidades estáticas e dinâmicas (YANG et al, 2021).

A análise topológica é aquela baseada no layout físico ou na estrutura do grafo (ZHANG; ALIPOUR, 2019). Nos artigos analisados, o impacto que uma falha em um nó da rede pode deflagrar em todo o sistema foram tratados com os nomes de: a) propagação (ADAMCZYK et al, 2017; WU et. al., 2021, BOURASS, 2018); b) impacto ou falha em cascata - (WU et. al., 2021; YANG et al, 2021; BOURASS, 2018); contágio (CACCIOLI; KOBAYASHI, 2018).

O conceito de falha em cascata pode ser entendido como o efeito que falhas que ocorrem em unidades da rede levam à falha de outras unidades do sistema interno ou externo, impactando toda a rede e ameaçando a estrutura (WU et. al., 2021; ADAMCZYK et al, 2017; MENG, 2022; BOURASS, 2018).

O modelo baseado em grafos pode demonstrar a propagação em cascata de maneira eficaz, tendo sido observada em vários estudos, sendo útil para avaliação de desempenho da rede, robustez, confiabilidade e resiliência (WU et al, 2021). Ainda, o modelo tem sido o instrumental eleito para a análise de impactos em rede (PAN, 2021; WU et al 2021), fornecendo informações imediatas sobre as características da rede que podem ser vinculadas a vários métodos de medida de conectividade por meio de várias medidas, permitindo identificar elementos chave na estrutura de riscos (ZHANG, 2019; BOURASS, 2018; FANG et al, 2012) e, portanto, estabelecer a priorização dos riscos a serem tratados.

Dentre as medidas de análise topológica se destacam o grau do nó, o índice de centralidade e a clusterização. O grau do nó, ou índice de conectividade, é uma medida de centralidade simples que conta quantos vizinhos diretos um nó possui (ADAMCZYK et al, 2017). Há outras variações desta medida como o grau de vértice ponderado, que se utiliza dos pesos das arestas no cálculo (YANG et al, 2021).

O índice de centralidade é um conjunto de medidas propostas por diferentes teóricos matemáticos, mas que no geral define a importância do nó em uma rede (ADAMCZYK et al, 2017), tendo por base seu número de ligações diretas e indiretas. Por fim, os *clusters* são subgrafos do sistema que podem ser percebidos a partir de nós fortemente conectados. Segundo Zhang e Alipour (2019), a presença de *clusters* em uma rede pode determinar o bom funcionamento de uma rede como sistema.

Tendo sido realizada a análise dos riscos em rede e entendendo seus impactos e probabilidades, percebe-se que os artigos demonstram empregos na avaliação dos riscos. Este conhecimento produzido é útil para a tomada de decisão (PAN, 2021), e pode trazer informações sobre a vulnerabilidade do sistema (YANG et al, 2021; ADAMCZYK et al, 2017), resiliência da rede (CACCIOLI; KOBAYASHI, 2018), redundância (ZHANG; ALIPOUR, 2019), estabilidade (KRAUSE et al, 2019), avaliação de performance do sistema (WU et. al., 2021), cenários e simulações (KRAUSE et al, 2019; WU et. al., 2021; ADAMCZYK et al, 20017), mitigação de impactos (ZHANG, 2019) e priorização de riscos (ADAMCZYK et al, 2017).

5 Considerações Finais

Neste artigo investigou-se nas publicações, como as técnicas de grafo têm sido utilizadas para a identificação e mensuração dos riscos, além de identificar, futuras agendas de pesquisa. Para tanto, focou-se nas publicações entre 2018 e 2022, usando, para isso, busca nas plataformas SCOPUS e Web of Science, utilizando-se das palavras chaves "risk", "analysis" e "graph".

A partir da análise bibliométrica foi percebido que o tema embora tenha certa concentração na área de ciência da computação, engenharia e matemática, é discutido por diversas áreas. A análise de *coupling* demonstrou que não se encontram teses divergentes, sendo que os diversos *clusters* de autores citam-se mutuamente. A análise de *coupling* e cocitação associada à leitura de 30 artigos permite dizer que o tema se aproxima mais de uma técnica instrumental para identificação de riscos que de uma teoria acerca de riscos.

Liderados pela China, seguidos pelos Estados Unidos e Inglaterra, as publicações sobre a temática têm crescido anualmente revelando que o interesse acadêmico pelo tema está em ascensão. Muito embora o Brasil ocupe apenas o 33o. lugar de publicação.

Além disso, percebeu-se que há termos que tem-se mantido ao longo destes anos, dos quais destaca-se a rede bayesiana, a rede de Markov, técnicas de Monte Carlo, redes convolucionais, deep learning, medidas de centralidade, análise de clusters, resiliência e vulnerabilidade.

A análise das redes das palavras-chave indicadas pelo autor e pela revista permitiu encontrar cinco clusters, o que aponta para existência de cinco subtemas sobre o pesquisado: segurança de rede, avaliação de risco, machine learning, investimentos e análise humana.

Destes, devido a aderência de pesquisa, selecionou-se 33 artigos que citavam, palavras-chave relacionadas neste cluster. Desta análise foi possível entender como a temática está estruturada, organizando-a entre ferramentas e técnicas para identificação dos riscos em rede, análise de riscos em rede, sendo esta última subdividida entre análise de probabilidade de ocorrência e de impacto de riscos sistêmicos e análise de topológica para a priorização de riscos.

O emprego de análise de redes pode contribuir para a identificação e análise de riscos? Pode-se dizer que a literatura foi uníssona em afirmar que sim. Autores renomados como Jinjun Zhang (Zhang J.), que possui h-index de 27, Allesandro Pagano (índice h-index : 17) e Yi-Cheng Zhang (Zhang, Y), com h-index de 60, apresentaram relevantes artigos que demonstram a utilidade de tal ferramenta.

Não obstante, vários estudos de caso foram produzidos acerca da aplicação das técnicas de grafo para a identificação e análise de riscos. Notadamente os de Nistor (2019), Mithili (2019), Bourass (2016) e Pan (2021). Em todos estes a aplicação da técnica foi útil para alcançar a identificação e a análise dos riscos.

Tal afirmativa é laureada pelos estudos de revisão sistemática de Caccioli e Kobayashi (2018), a respeito de riscos sistêmicos no setor financeiro. Também percebe-se, conforme demonstrado no estudo, que diferentes países e agências publicaram estudos convergindo para a afirmativa da questão.

Em relação ao 'como', ou seja, aos processos e técnicas de emprego das técnicas de grafo para a identificação e análise de riscos, a análise qualitativa das publicações demonstrou que a análise de grafos em cenário de riscos complexos possui ferramentas úteis para a identificação e análise dos riscos que inicialmente não possuem seu grau de impacto e real probabilidade explícitos quando considerada as interações potencializadoras de vários eventos.

A leitura dos artigos permite concluir que o estudo dos riscos utilizando técnicas de análise de redes traz o diferencial de poder vislumbrar riscos e eventos em cascata com impactos significativos no sistema, os quais não seria possível de serem identificados em análise tradicional. Além disso, a análise permite ainda a priorização de riscos a serem tratados que, em primeiro momento, não se mostrariam tão relevantes quando verificados isoladamente.

Ao fazer uma filtragem da listagem unificada Web Of Science e SCOPUS, percebeu-se apenas 10 artigos possuíam a palavra-chave relacionada a administração pública, bem como os artigos têm focado muito na parte de capacidade computacional e na aplicação da técnica sobre artefatos de engenharia, mas pouca informação há sobre a aplicação das técnicas para a gestão de processos administrativos. Desta forma, entende-se que há agenda de pesquisa a ser

cumprida, no que diz respeito a estes *gaps* de conhecimento, espera-se pois, que futuros trabalhos possam cobrir a aplicação desta técnicas naquelas áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMCZYK, Piotr et al. Network model of risk analysis in the technical structures. In: **MATEC Web of Conferences**. 2017.

BOURASS, Y.; TAIBI, S. Topological analysis of project risks network: A case of Rabat Tramway project. 2017.

CACCIOLI, Fabio; BARUCCA, Paolo; KOBAYASHI, Teruyoshi. Network models of financial systemic risk: a review. **Journal of Computational Social Science**, v. 1, p. 81-114, 2018.

DU, Xiaoping; CHEN, Wei. Towards a better understanding of modeling feasibility robustness in engineering design. **J. Mech. Des.**, v. 122, n. 4, p. 385-394, 2000.

ENTRUP, Bastian. On link predictions in complex networks with an application to ontologies and semantics. 2017.

FANG, Chao et al. Network theory-based analysis of risk interactions in large engineering projects. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 106, p. 1-10, 2012.

GABARDO, Ademir C. **Análise de redes sociais: uma visão computacional**. Novatec Editora, 2015.

GALAZ, Victor et al. Artificial intelligence, systemic risks, and sustainability. **Technology in Society**, v. 67, p. 101741, 2021.

HOLZMEISTER, Felix et al. What drives risk perception? A global survey with financial professionals and laypeople. **Management Science**, v. 66, n. 9, p. 3977-4002, 2020.

JACULLI, Marcelo A. et al. Operational Safety Risk Assessment in Offshore Oil Wells. In: **International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering**. American Society of Mechanical Engineers, 2019. p. V008T11A049.

KRAUSE, Sebastian M. et al. Controlling systemic risk: Network structures that minimize it and node properties to calculate it. **Physical Review E**, v. 103, n. 4, p. 042304, 2021.

LI, Xinlin et al. Predicting Downside in Stock Market Using Knowledge and News Data. In: **2021 IEEE 27th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)**. IEEE, 2021. p. 34-41.

MARIANO, Ari Melo; ROCHA, Maíra Santos. Revisão da literatura: apresentação de uma abordagem integradora. In: **AEDEM International Conference**. 2017. p. 427-442.

MENG, Huixing; AN, Xu; XING, Jinduo. A data-driven Bayesian network model integrating physical knowledge for prioritization of risk influencing factors. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 160, p. 434-449, 2022.

OLDFIELD, George S. et al. **The place of risk management in financial institutions**. Wharton School, University of Pennsylvania, 1997.

PAN, Xing et al. Research on human error risk evaluation using extended Bayesian networks with hybrid data. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 209, p. 107336, 2021.

PAULHEIM, Heiko. Knowledge graph refinement: A survey of approaches and evaluation methods. **Semantic web**, v. 8, n. 3, p. 489-508, 2017.

SONG, Yongjia; SHEN, Siqian. Risk-averse shortest path interdiction. **INFORMS Journal on Computing**, v. 28, n. 3, p. 527-539, 2016.

STERGIOPOULOS, George et al. Risk mitigation strategies for critical infrastructures based on graph centrality analysis. **International Journal of Critical Infrastructure Protection**, v. 10, p. 34-44, 2015.

TRUDEAU, Richard J. **Introduction to graph theory**. Courier Corporation, 2013.

WAGNER, Stephan M.; NESHAT, Nikrouz. Assessing the vulnerability of supply chains using graph theory. **International journal of production economics**, v. 126, n. 1, p. 121-129, 2010.

WU, Yipeng et al. Propagation model of cascading failure based on discrete dynamical system. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 209, p. 107424, 2021.

YANG, Shenhao et al. A graph-based method for vulnerability analysis of renewable energy integrated power systems to cascading failures. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 207, p. 107354, 2021.

ZHANG, Ning; ALIPOUR, Alice. Integrated framework for risk and resilience assessment of the road network under inland flooding. **Transportation research record**, v. 2673, n. 12, p. 182-190, 2019.

ZHANG, Yang; CHENG, Tao. Graph deep learning model for network-based predictive hotspot mapping of sparse spatio-temporal events. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 79, p. 101403, 2020.