

# MAPEAMENTO INTERNACIONAL DE TÉCNICAS COMPUTACIONAIS APLICADAS NO CONTEXTO FINANCEIRO

## INTERNATIONAL MAPPING OF COMPUTATIONAL TECHNIQUES APPLIED IN THE FINANCIAL CONTEXT

### Finanças: mercados e instituições financeiras

Wagner Igarashi, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, [wigarashi@uem.br](mailto:wigarashi@uem.br)

Deisy Cristina Corrêa Igarashi, Universidade Estadual de Maringá, Brasil, [dccigarashi@uem.br](mailto:dccigarashi@uem.br)

### Resumo

A adoção de novas tecnologias auxiliou a integração entre mercados de capitais, distribuídos em bolsas de valores de países distintos, como a NYSE (New York Stock Exchange) e a BM&FBovespa. Por outro lado, a análise de tais mercados se torna cada vez mais complexa, de modo que a utilização de técnicas computacionais no contexto financeiro tenta minimizar tal complexidade. Neste contexto, o presente estudo visa mapear quais direções as pesquisas estão tomando, no sentido de identificar, possibilidades de estudos a serem desenvolvidos no contexto nacional (brasileiro) a partir de estudos do contexto internacional, no período de 2013 a 2017. Para tal, foi realizada uma revisão sistemática na base IEEE Xplore®, a partir da palavra chave “Financial” e da utilização de diversos critérios de seleção, como serem oriundos de periódicos, ter pontuação JCR (Journal Citation Reports), a análise do conteúdo dos artigos. Como resultado, destaca-se redução de estudos em áreas mais elementares da computação; a área de computing methodologies teve uma queda de citação de 95% para 66%. Por outro lado, em áreas mais emergentes da computação, como inteligência artificial e aprendizagem de máquina houve um aumento significativo de citações ao termo chegando a um total de 61% de citações nos estudos.

**Palavras-chave:** Contexto Financeiro; Ciência da Computação; Revisão Sistemática.

### Abstract

The adoption of new technologies helped the integration between capital markets, distributed on stock exchanges in different countries, such as the NYSE (New York Stock Exchange) and BM&FBovespa. On the other hand, the analysis of such markets becomes more and more complex, so that the use of computational techniques in the financial context tries to minimize such complexity. In this context, the present study aims to map which directions research is taking, in order to identify, possibilities of studies to be developed in the national (Brazilian) context from studies of the international context, in the period from 2013 to 2017. To this end, a systematic review was carried out on the IEEE Xplore® database, based on the keyword “Financial” and the use of various selection criteria, such as being from journals, having JCR (Journal Citation Reports) scores, and analyzing the content of the articles. As a result, there is a reduction in studies in more elementary areas of computing; in the area of computing methodologies, there was down in citation from 95% to 66%. On the other hand, in more emerging areas of computing, such as artificial intelligence and machine learning, there was a significant increase in citations to the term reaching a total of 61% of citations in the studies.

**Keywords:** Financial Context; Computer science; Systematic review.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da avaliação de risco financeiro tem atraído a atenção mundial em virtude de fraudes e da crise financeira observada nos últimos anos em diversos países do mundo. Deste modo, a análise precisa do risco e a previsão de insucesso ou fraude empresarial têm desempenhado papel fundamental tanto na economia como na sociedade. Por esta razão, diversos algoritmos, métodos, simulações e técnicas computacionais vem sendo desenvolvidos e aplicados nos últimos anos. (Liang, 2020, Fernández-Gámez, García-Lagos & Sánchez-Serrano, 2015, Chen, Ribeiro & Chen, 2015).

Do ponto de vista da área financeira, os resultados de pesquisa preliminar realizada no contexto internacional, com base em artigos provindos da base IEEE Xplore® no período de 2008 a 2012, observou-se que as ferramentas de intervenção utilizadas de modo mais recorrente no contexto financeiro foram: custo, investimento, risco financeiro, dados financeiros, séries temporais, fluxo de caixa, valor presente líquido, ações, retorno financeiro, preços de ações, preço marginal local, micro pagamentos, capital de investimento. Os resultados preliminares indicaram que 33% dos estudos enfocaram aspectos relativos aos usuários externos e 37% usuários internos.

A pesquisa preliminar evidenciou alinhamento das áreas computacional e financeira (com destaque à subárea de Inteligência Artificial) que, a partir de uma adaptação do sistema de classificação de subáreas da Ciência da Computação, proposto pela *Association for Computing Machinery* – ACM (2012), permitiu constatar que 41% dos estudos aplicaram conceitos de Inteligência Artificial, 14% de Teoria da Computação, 12% de Sistemas de informação e de Matemática da computação, 6% de Engenharia de Software e de Hardware, 5% de Redes, 2% de Segurança e privacidade, 1% de Tópicos Profissionais e Sociais e de Computação Centrada no Ser Humano.

Com base nos resultados da pesquisa preliminar verifica-se a inserção da ciência da computação de modo recorrente no âmbito financeiro internacional, e que a disseminação de tais pesquisas pode contribuir no desenvolvimento de pesquisas similares, bem como no aperfeiçoamento de profissionais no contexto nacional. Neste sentido, foi dada continuidade à pesquisa preliminar (2008-2012), abrangendo o período de 2013 a 2017, para analisar as contribuições científicas e tecnológicas abrangendo a produção científica do cenário internacional da área “Ciências da Computação” vinculada à temática “financeira”.

A continuidade da pesquisa se justifica devido a intenção de mapear quais direções as pesquisas estão tomando, no sentido de identificar possibilidades de estudos a serem desenvolvidos no contexto brasileiro a partir de estudos internacionais. Tal percepção se confirma ao observar a evolução das práticas vinculadas as questões financeiras, as quais desde a crise de 1929 até a presente data, quer seja no contexto nacional, ou internacional passaram por um processo de evolução conceitual e teórica, a fim de acompanhar as mudanças nos cenários econômicos (Assaf Neto, 2011). Bem como se observa um aumento no número de artefatos tecnológicos que estão revolucionando a forma como empresas e indústrias operam (Kumaraswamy, Garud & Ansari, 2018).

Em tais estudos e artefatos estão cada vez mais frequentes as técnicas computacionais, como pode ser identificado nos estudos de: Yu, Wang e Lai (2009) ao utilizar métodos computacionais na previsão de séries temporais financeiras; Mehlawat e Gupta (2014) ao relatar que devido ao ambiente de investimento ser caracterizado por informações incompletas; as decisões neste ambiente são tomadas apesar de sujeitas a incertezas, as quais podem ser modeladas pela teoria de conjuntos difusos; Huang, Wang, Tao e Li (2015) realizaram pesquisas sobre o mercado de ações usando técnicas de mineração de dados e inteligência artificial, as quais apresentam resultados positivos, dentre elas: algoritmo genético (AG), redes neurais artificiais (RNA) e correspondência de modelos; Sanz, Bernardo, Herrera, Bustince e Hagrás (2015) ao considerar que em aplicações financeiras, como em vários problemas reais, os dados são altamente desequilibrados; o que possibilita sistemas inteligentes de aprendizagem serem capazes de se adaptar a este contexto.

Identificou-se estudos como os de: Cheng e Hoang (2015) em que modelos de predição baseados em técnicas de IA foram provados como uma alternativa viável e confiável também para o problema de avaliação da saúde financeira de empresas; Han, Zhang e Wang (2016) relatam que a utilização de métodos de Monte Carlo torna-se cada vez mais populares para a estimativa e identificação do modelo devido à sua precisão e flexibilidade de manipulação de modelos complicados; Lakshmi, Martin e Venkatesan (2016) destacam que ao longo dos últimos 25 anos, o algoritmo genético é amplamente aplicado a domínios em que modelos precisos são impraticáveis com diferentes resoluções e estruturas; Antonelli, Bernardo, Hagrás e Marcelloni (2017) afirmam que a aprendizagem de máquinas em aplicações financeiras difere de outros domínios em como a qualidade de um modelo é avaliada, pois na maioria das aplicações, a precisão da predição é, muitas vezes, a única métrica utilizada, interpretabilidade e transparência também são importantes e às vezes um requisito.

No contexto de pesquisa apresentado, foi estabelecido como objetivo mapear quais direções as pesquisas estão tomando, no sentido de identificar, possibilidades de estudos a serem desenvolvidos no contexto nacional (brasileiro) a partir de estudos do contexto internacional financeiro. Sendo assim, foi realizado um mapeamento bibliográfico longitudinal com base em artigos do período de 2013 a 2017, sobre ferramentas, sistemáticas, modelagens ou sistemas computacionais utilizados para apoiar ou resolver problemas financeiros.

## **2. METODOLOGIA**

Para que uma pesquisa se desenvolva é necessário planejamento, de modo a identificar cada fase de sua aplicação, de modo a sistematizá-la e torná-la replicável (Fachin, 1993). Além disso, destaca-se que a pesquisa científica tem se preocupado com os diferentes elementos necessários para a construção e compartilhamento de conhecimento.

Baseado nesses preceitos, foi realizado o levantamento de informações científicas vinculadas ao portal de pesquisa IEEE Xplore®: relativo ao contexto internacional, para o período de 2013-2017. A partir do levantamento é realizada uma análise, a partir da qual são identificadas características gerais: quais periódicos e respectivas áreas publicaram sobre o tema objeto desta pesquisa, quantificar e delinear a evolução das publicações nos respectivos

periódicos, o total de autores e uma ordenação sobre o total de publicações por autor de modo a identificar os que mais publicaram, bem como outros aspectos descritos na sequência.

A fim de se atingir o objetivo da pesquisa foram utilizadas as seguintes estratégias de pesquisa: (a) descritiva e explicativa, pois descreve e explica as características de determinada população; (b) quanto à natureza ela é considerada aplicada, uma vez que foi feita a análise da produção científica vinculada ao contexto internacional, em um período específico (pesquisa longitudinal abrangendo 5 anos), delineando as concepções teóricas dos autores pesquisados (a quem se destina, a finalidade, os benefícios, as limitações da pesquisa), vinculada com a temática “ferramentas computacionais aplicadas no contexto financeiro”; (c) quanto à abordagem do problema e a natureza das variáveis, a pesquisa é qualitativa, pois realiza interpretações do conteúdo publicado, contudo, em determinadas situações é necessário quantificá-los; (d) quanto aos procedimentos, a pesquisa é do tipo bibliográfica, pois abrange os periódicos e os artigos científicos, sobre a temática; (e) quanto ao método de abordagem, utiliza-se o dedutivo, uma vez que o estudo parte de um contexto amplo para se chegar a formulações específicas sobre a população analisada.

Além das estratégias de pesquisa elencadas, foi utilizada a técnica de Revisão Sistemática proposta Denyer e Tranfield (2009), detalhado no *Handbook of Cochrane Collaboration* (Higgins e Green, 2011). Segundo Sampaio e Mancini (2007) “Uma revisão sistemática, assim como outros tipos de estudo de revisão, é uma forma de pesquisa que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Denyer e Tranfield (2009) ainda destacam que “Estudos individuais que contribuem para uma revisão sistemática são chamados de estudos primários; uma revisão sistemática é uma forma de estudo secundário.”

Sampaio e Mancini (2007) complementam a definição de revisão sistemática afirmando que esse tipo de investigação disponibiliza um resumo das evidências relacionadas a uma estratégia de intervenção específica, mediante a aplicação de métodos explícitos e sistematizados de busca, apreciação crítica e síntese da informação selecionada. Muitas vezes servindo de base para nortear o desenvolvimento de projeto ao indicar insights para futuras investigações e ao identificar quais métodos de pesquisa foram utilizados em uma determinada área.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Em 2016 foi realizada a busca de artigos com a palavra “financeira”, refinada por conteúdo “*Journals & Magazines*” e período de 2013 a 2015, resultando em 341 artigos. Em 2018 foi realizada busca complementar referente a 2016 e 2017, com a mesma string de busca resultando em 326 artigos. No total foram encontradas 667 ocorrências, distribuídas em 147 meios de divulgação (“*Journals & Magazines*”), e a pesquisa se desenvolveu a partir da técnica de revisão sistemática.

De acordo com Higgins e Green (2011) no processo de elaboração de uma revisão sistemática se faz necessário seguir oito etapas. Na etapa inicial é formulada a pergunta da revisão e desenvolvido o critério de inclusão de estudos. Na segunda etapa são localizados os estudos. Na terceira etapa são selecionados os estudos (artigos, textos) e coletados os dados. Na quarta etapa são avaliados os riscos de vieses nos estudos incluídos. Na quinta etapa é realizada a

análise e meta-análise dos dados. Na sexta etapa é realizado o tratamento dos vieses em relação ao relatório. Na sétima etapa são apresentados os resultados e tabelas sumarizadas com os resultados. Por fim, na oitava etapa são apresentadas as considerações sobre as interpretações de resultados e extração de conclusões.

As oito etapas do *Handbook da Cochrane Collaboration* (Higgins & Green, 2011) foram seguidas e são descritas na sequência: 1ª Etapa, formular pergunta da revisão sistemática - para atender a 1ª etapa da revisão sistemática, o objetivo geral desta pesquisa foi convertido em pergunta e está expresso do seguinte modo: Quais as contribuições científicas e tecnológicas abrangendo a produção científica do cenário internacional da área de “Ciências da Computação” vinculada à temática “financeira”?; 2ª Etapa, localizar estudos - os 667 artigos referentes a busca foram extraídos do site da IEEE Xplore®, os quais foram enquadrados de acordo com a revista, área, JCR e o total de artigos encontrados. O enquadramento é ilustrado no Quadro 1.

N	REVISTA	ÁREA	JCR	TOTAL
1	<i>IEEE Transactions on Power Systems</i>	sistemas elétricos	3,3420	31
2	<i>IEEE Latin America Transactions</i>	tópicos em engenharia	0,0005	28
3	<i>Engineering &amp; Technology</i>	tópicos em engenharia	0,0000	27
4	<i>IEEE Transactions on Smart Grid</i>	sistemas elétricos	3,1900	24
...	...	...	...	...
147	<i>Journal of Microelectromechanical Systems</i>	Eletrônica	1,9390	1
TOTAL				667

Quadro 1 – Ilustração de periódicos da IEEE Xplore® com artigos vinculados à temática “financeira”

Os artigos 147 artigos estão distribuídos “Journals & Magazines”, e apresentaram aumento de 37% no número de revistas em relação à pesquisa preliminar. Identificou-se que a maioria dos textos estão distribuídos em 10 subáreas: eletrônica (24 revistas e 65 artigos); tópicos em engenharia (22 revistas e 139 artigos); sistemas elétricos (17 revistas e 130 artigos); comunicação (14 revistas e 49 artigos); inteligência artificial (11 revistas e 47 artigos); tópicos em computação (10 revistas e 24 artigos); rede (8 revistas e 27 artigos); computação (6 revistas e 30 artigos); processamento de sinais (4 revistas e 29 artigos); e cibernética (3 revistas e 11 artigos). Além de outras áreas como: software, segurança, aplicações, sistemas de controle, automação, processamento de imagem, matemática, computação gráfica, banco de dados, robótica, sistemas, etc (juntas totalizando 114 artigos em 59 outros periódicos).

Nº	Título do artigo	Periódico	Autoria e ano	Termos de busca nos elementos pretextuais
1	<i>Financial analysis of photovoltaic configurations for Colombian households</i>	<i>IEEE Latin America Transactions</i>	Cadavid Jimenez e Franco (2015)	Título, Resumo
2	<i>Multilevel Process Mining for Financial Audits</i>	<i>IEEE Transactions on Services Computing</i>	Werner et al. (2015)	Título, Resumo, Palavras chave

3	<i>It's All Over but the Crying: The Emotional and Financial Impact of Internet Fraud</i>	<i>IEEE Security &amp; Privacy</i>	Modic e Anderson (2015)	Título, Resumo
4	<i>Simultaneous Planning of PEV Charging Stations and DGs Considering Financial, Technical, and Environmental Effects</i>	<i>Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering</i>	Pazouki, Mohsenzadeh, Ardalan e Haghifam (2015)	Título, Resumo
5	<i>Clabacus: A Risk-Adjusted Cloud Resources Pricing Model Using Financial Option Theory</i>	<i>IEEE Transactions on Cloud Computing</i>	Sharma et al. (2015)	Título, Resumo, Palavras chave
...	...	...	...	...

Quadro 2: Ilustração de artigos identificados na 3ª etapa

Na 3ª Etapa, selecionar estudos e coletar dados - uma segunda análise foi realizada aos 667 textos. Apesar da seleção do filtro “journals & magazines” observou-se que foram recuperados alguns outros tipos de documentos: 4 eram tutoriais e estudos, 2 eram oriundos de anais, 35 de fóruns científicos, 16 de cartas, 2 tinham acesso bloqueado, 173 eram textos de magazine. Resultando em 436 textos de periódicos (“journals”), distribuídos em 88 periódicos. Ilustrado no quadro 2 pelos primeiros artigos identificados na 3ª etapa. Selecionados os textos, foi encerrada a 3ª etapa e iniciou-se a 4ª etapa, avaliar riscos de vieses nos estudos incluídos. A fim de cumprir a 4ª etapa, as revistas resultantes da busca dos textos foram analisadas pelo fator de impacto de Journal Citation Reports (JCR), quadro 1. Considerou-se que a análise pelo JCR mitiga problemas de avaliação de riscos de vieses nos estudos que incluem esta revisão sistemática. Por isso optou-se por excluir da amostra os artigos de 16 revistas que não apresentavam JCR.

Deste modo, buscou-se concentrar a pesquisa em periódicos com reconhecimento internacional quanto a seu valor e rigor científico. Tal opção de pesquisa está alinhada a percepção de Higgins, Altman e Sterne (2011) ao considerar que as diferenças nos riscos de vieses podem auxiliar a explicar a variação nos resultados dos estudos incluídos em uma revisão sistemática. Assim, ao manter a seleção de estudo mais homogênea (periódicos com JCR) considera-se que o risco de viés nos estudos objeto de análise fica reduzido. Ação que resultou na exclusão de 39 textos, remanescendo 397 como objeto de análise na 5ª etapa.

Na 5ª Etapa, analisar os dados - foi realizada a análise macro dos textos. Ou seja, buscou-se identificar a distribuição dos textos quanto a sua publicação sob diversas óticas, como por exemplo: ano de autoria, revista com maior volume de publicação, Autores, instituições de origem, tendência metodológica dos textos, dentre outros aspectos (Quadro 3).

Revista	2013	2014	2015	2016	2017	Total
<i>IEEE Access</i>	2	2	0	4	11	19
<i>IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics</i>	0	2	0	0	1	3
<i>IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing</i>	0	0	2	9	1	12
<i>IEEE Latin America Transactions</i>	2	3	7	5	10	27
<i>IEEE Systems Journal</i>	1	1	2	2	9	15
<i>IEEE Transactions on Automatic Control</i>	1	0	3	0	2	6

...	...	...	...	...	...	...
Total	69	68	65	83	112	397

Quadro 3: Ilustração de periódicos e ano de publicação dos artigos

Ao analisar a distribuição dos artigos ao longo dos 5 anos observou-se nos 3 primeiros anos uma mediana de 68 artigos por ano, com um desvio padrão baixo de 2,08. Entretanto, houve um crescimento de 22,05% em 2016 em relação a mediana dos anos anteriores e de 34,94% no ano de 2017 em relação ao ano de 2016 de artigos publicados em periódicos com pontuação JCR e citando o termo “financeiro”.

De modo geral, considerando todos os anos (2013-2017), a mediana foi de 69 artigos, com desvio padrão amostral em 19,50. Observou-se, também, que 5 periódicos apresentaram maior volume de publicação sobre o objeto de pesquisa a saber: *IEEE Transactions on Power Systems* (30); *IEEE Latin America Transactions* (27); *IEEE Transactions on Smart Grid* (24); *IEEE Access* (19); e *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* (18).

Neste momento identificou-se que dos 397 textos, 13 textos eram documentos sem autoria, e não apresentavam elementos de artigo científico (resumo, introdução, método, conclusão). Tais textos foram considerados como descritivo de periódicos, e neste momento foram eliminados da análise resultando 384 artigos.

Outra análise realizada refere-se ao número de autores que participaram das publicações. Verificou-se que 69,5% dos textos tem a participação de 3 ou mais autores. Percentual que denota um aumento de 6,5% na coautoria em relação à pesquisa preliminar.

Em relação à quantidade de publicações por autor, verifica-se que a maioria dos autores teve apenas uma publicação (993 autores) no tema financeiro, sendo que de modo recorrente verificou-se 20 autores que publicaram mais de uma vez no tema. Ao limitar a análise de autoria aos autores recorrentes observou que há autores que denotam estar consolidando suas pesquisas na área financeira, pois: 94 autores publicaram 2 artigos no tema, 25 autores publicaram 3 artigos, 14 autores publicaram 4 artigos, 5 publicaram 5 artigos e 3 autores publicaram 6 artigos sobre o tema. Pode-se afirmar que 12,43% dos autores publicaram de 2 a 6 artigos no período, do total de 141 artigos ou seja, 36,72% do total de artigos.

Quanto ao vínculo dos autores foram citadas 322 instituições. As 6 instituições que mais publicaram sobre o tema foram: *Tsinghua University* (8 artigos); *Princeton University* (7 artigos); Universidade de São Paulo (6 artigos); *University of Texas at Arlington* (6 artigos); *Sharif University of Technology* (5 artigos); e *Hong Kong University of Science and Technology* (4 artigos). Para chegar a tais valores foi necessário normalizar os nomes das instituições, pois houve casos de uma mesma instituição apresentar mais de uma denominação na base da IEEE Xplore® (ex.: Univ. de São Paulo, *University of São Paulo*).

Em relação aos 10 países de origem de autoria, que mais publicaram sobre o tema, obtém-se um total de 256 participações, totalizando 79,75% do total de artigos. O Brasil ficou em terceiro lugar, na classificação, atrás da China e dos Estados Unidos. Enquanto 65 outras participações em artigos (20,25%) foram realizadas pelos demais países (outros 30 países).

Outra análise realizada refere-se à identificação do termo de busca (financeiro) junto a um dos seguintes elementos: Título (T), Resumo (R) e Palavras chave (P), as combinações destes elementos e a situação de não encontrado (NE). Observou-se que 61,5% dos textos da pesquisa atual (60% na pesquisa anterior) fizeram menção ao termo de busca somente no resumo e que 24,2% dos textos da pesquisa atual (23% na pesquisa anterior) não fizeram menção aos termos de modo individual ou conjugado nenhuma vez.

Verifica-se que 61,5% dos textos têm maior probabilidade de estarem relacionados ao contexto financeiro. Uma vez realizada a análise dos aspectos gerais dos 384 textos selecionados, passou-se a 6ª da revisão sistemática, tratar os vieses dos relatórios selecionados. A Análise indica que os textos selecionados são oriundos de revistas de diversas áreas de conhecimento. Além disso, observou-se que o periódico que mais apresentou textos responde por 7,6% dos textos analisados (redução de 10,4%, na pesquisa anterior eram 18%). Outro aspecto que pode ser retomado refere-se aos países de origem, observa-se que apesar de os artigos selecionados serem em língua inglesa, os textos são oriundos de diversas regiões do globo, com representação de diversos países: China, Estados Unidos, Brasil, Canadá, Austrália, Coreia do Sul, Reino Unido, Índia e Taiwan.

Todavia, ao se realizar análise mais detalhada dos textos selecionados observou-se que alguns deles não atendiam ao pressuposto desta pesquisa (objetivo geral) de “analisar as contribuições científicas e tecnológicas abrangendo a produção científica do cenário internacional da área “Ciências da Computação” vinculado à temática “financeira”, visto que muitos textos não apresentavam de modo concomitante conceitos teóricos vinculados às duas áreas. Além disso, vários artigos se relacionavam a periódicos de JCR baixo (menor do que 1). Neste sentido, buscando minimizar os vieses dos relatórios, 89 textos foram excluídos por possuírem JCR menor do que 1 e 258 por não estarem relacionados concomitantemente a área financeira e de computação, devido a possibilidade de gerarem viés de direcionamento da pesquisa para apenas uma das duas áreas em foco. Como resultado obteve-se um total de 37 artigos, os quais são analisados de modo mais detalhado na 7ª Etapa, apresentar os resultados.

Os 37 textos resultantes da etapa anterior foram analisados detalhadamente, quanto ao problema de pesquisa (teórico e empírico) e quanto a abordagem (qualitativa e quantitativa). Na pesquisa anterior, 14% dos textos eram teóricos, 85% teórico-empírico, e 1% apenas empíricos, contrastando com o quadro atual em que 2,7% são teóricos, 94,6% teórico-empírico e 2,7% são totalmente empíricos. Isto reforça a importância da pesquisa teórica em conjunção com a pesquisa empírica, com destaque ao aumento da pesquisa puramente empírica. Quanto a abordagem de pesquisa: 8,1% dos textos são qualitativos, 89,2% são qualitativos e quantitativos, e uma minoria são apenas quantitativos (2,7%). Outro indício da força que as pesquisas empíricas exerceram nos últimos anos.

Em relação aos métodos de pesquisa utilizados e descritos pelos autores nos textos pesquisados, dos métodos mais utilizados para os menos citados foram: comparação de técnicas, modelo, algoritmo, simulação do modelo, estudo multicaso, comparação de modelos, simulação, análise de séries temporais, estudo de caso, experimento. Destaca-se que na pesquisa anterior o experimento foi classificado em sexto lugar, e agora está em primeiro como método mais citado.

No quadro 4 são ilustrados alguns dos 37 estudos que apresentaram ao mesmo tempo indícios de concepções teóricas vinculadas às duas áreas de conhecimento (computacional e finanças).

<b>Autor (ano)</b>	<b>Computação - Concepções teóricas</b>	<b>Finanças - Concepções teóricas</b>
Li, Chiang (2013)	Os modelos ARIMA são bons para modelagem linear de séries temporais, enquanto o CNFS usando CFSs é bom para mapeamento de funções não-lineares.	Utilização de métodos computacionais na previsão de séries temporais financeiras (YU; WANG; LAI, 2009)
Mehlawat, Gupta (2014)	O ambiente de investimento do mundo real é caracterizado por informações incompletas; assim, as decisões são tomadas sob incerteza, a qual pode ser modelada pela teoria de conjuntos difusos.	Markowitz (1952) fornece a primeira formulação matemática sobre a seleção de portfólio, no qual o retorno do portfólio é medido pelo valor esperado da média ponderada dos retornos dos ativos e o risco é medido pela variância do retorno da carteira.
Sanz, Bernardo, Herrera, Bustince e Hagra (2015)	Técnicas de subamostragem e sobreamostragem, podem adicionar ruído aos dados de entrada originais (WANG et al., 2006). Árvores de decisão e sistemas baseados em regras difusas (FRBSs) são exemplos de modelos transparentes que foram aplicados em várias aplicações financeiras (NOGUEIRA; VIEIRA; SOUSA, 2005).	Em aplicações financeiras, os dados são altamente desequilibrados. Por exemplo, em um aplicativo de cartão de crédito, o número de clientes bons é muito maior que o dos clientes ruins e na detecção de fraude, a maioria dos dados são transações normais, enquanto apenas algumas são transações fraudulentas.
Antonelli, Bernardo, Hagra e Marcelloni (2017)	Além disso, a transparência de um modelo é importante para entender a associação de dados. Técnicas de sobreamostragem podem adicionar ruído para os dados de entrada originais. Em aplicações financeiras, não é desejável pré-processar ou provar os dados, pois isso pode causar problemas.	E aplicações financeiras, interpretabilidade e transparência também são importantes e às vezes um requisito no processo de modelagem do problema.
Wu, Chen, Zhang (2017)	O modelo Fuzzy Takagi-Sugeno (T-S) tem sido amplamente utilizado para aproximar eficientemente os sistemas não-lineares (ZAK, 2003; TSENG; HWANG, 2007), e um controlador Fuzzy T-S também foi aplicado com sucesso no projeto de controle de estabilização para sistemas não-lineares.	Poucos estudos discutem o MOP dinâmico do sistema para o sistema financeiro estocástico não linear, no qual a estabilidade robusta deve ser garantida de antemão. Mais esforços ainda são necessários para aplicar o MOEA para resolver o MOP para política de investimento multiobjetivo $H_2 / H_\infty$ de sistemas financeiros estocásticos não-lineares.
Xu, Zeng, Xu, e Zhang (2017)	O conceito de conjuntos difusos de tipo 2 (T-2 FSs) foi introduzido por Zadeh (ZADEH, 1975) como uma extensão do conceito de conjuntos difusos de tipo 1 (T-1 FSs). Os T-2 FSs são úteis em circunstâncias em que é difícil especificar uma função de pertinência ( <i>membership function</i> - MF) com precisão (MENDEL; LIU, 2013) e têm o potencial de superar os T-1 FSs (MENDEL; JOHN, 2002)	A alta volatilidade dos fluxos internacionais de capitais nos mercados financeiros e a capacidade estreita para lidar com essa volatilidade pelos mercados tornam o país "beneficiário" do contágio vulnerável a choques e crises excessivamente grandes, com frequência e de forma perturbadora (VILAG et al., 2009)
...	...	...

Quadro 4: Ilustração de concepções teóricas vinculadas às áreas de computação e finanças

Ao considerar os 37 textos que abordaram concomitantemente as concepções teóricas vinculadas às duas áreas, computação e financeira, procedeu-se a 8ª Etapa, interpretar os resultados e extrair conclusões. Observou-se em relação a área financeira que eles abordaram temas como: modelos de falha, de mercado, problemas de classificação relativa à diversificação de portfólio, índices de retorno, índices de risco, análise técnica, análise fundamentalista; questões relacionadas à precificação e retorno financeiro; índices financeiros como liquidez, alavancagem, rentabilidade, custos de redução de emissão de carbono; custos de transação, e custos de transmissão de energia.

A partir do levantamento das técnicas computacionais utilizadas nos artigos analisados, com base em uma adaptação do sistema de classificação de áreas da Ciência da Computação, proposto pela ACM e revisado em 2012, têm-se que foram citadas várias técnicas. Observou-se que grandes áreas da computação citadas na fase 1 da pesquisa, em contrapartida com a fase atual da pesquisa (fase 2), apresentaram variação de um período para outro, com destaque à área de *computing methodologies*, a qual apresentou queda de citação de 95% para 66%. Na área de *mathematics of computing* houve um incremento de 2%. Verificou-se, também, a citação de termos mais recentes, classificadas em outras áreas, com um total de 6% (*deep learning*, *dissimilarity*, *numerical computation of stochastic differential*). No caso de *deep learning* é justificado por ser uma técnica recentemente trabalhada e não contemplada no sistema de classificação da ACM que é de 2012, ao passo que *dissimilarity* e *numerical computation of stochastic differential* não foram citadas na classificação da ACM.

Em uma análise mais detalhada, as subáreas citadas em *computing methodologies* são: *artificial intelligence* (38%), *machine learning* (23%) e *modeling and simulation* (6%); nas quais as técnicas citadas em número de ocorrências foram: *vagueness and fuzzy logic* (12), *genetic algorithm* (7), *multi-agent systems* (1), *neural networks* (3), *maximum entropy modeling* (1), *Bayesian network models* (2), *classification and regression trees* (1), *support vector machines* (1), *reinforcement learning* (2), *q-means* (2), *agent / discrete models* (3).

Na área de *information systems* foram citadas as técnicas em número de artigos: *nearest-neighbor search* (3), *similarity measures* (1). Na área de *theory of computation* foram citadas as técnicas: *Dynamic programming* (3), *Integer programming* (1). Na área de *mathematics of computing* foram citadas as técnicas: *Markov-chain Monte Carlo methods* (4), *Dimensionality reduction* (1), *Cluster analysis* (1), *Markov processes* (1).

De maneira geral, pôde-se verificar que as subáreas citadas de computação foram: 38% de inteligências artificial, 23% de aprendizagem de máquina, 6% de modelagem e simulação, 6% de aplicações de sistemas de informações, 2% de recuperação de informação, 8% de projeto e análise de algoritmos, 13% de probabilidade e estatística e 6% de outras áreas, indicando um crescimento em áreas emergentes da computação. Caso seja considerado inteligência artificial conjuntamente com aprendizagem de máquina têm-se um total de 61% das citações.

Ao final da etapa 8 foi estruturado o quadro 5, o qual ilustra o foco dos estudos, bem como as tendências observadas.

Autor (Ano)	Foco do estudo	Tendências observadas
Nuij, Milea, Hogenboom, Frasincar e Kaymak (2014)	O estudo apresenta um framework para a exploração automática de notícias em estratégias de negociação de ações. Os eventos são extraídos de mensagens de notícias apresentadas em texto livre sem anotações. O framework é testado obtendo estratégias de compra e venda baseadas em indicadores técnicos e impactos dos eventos extraídos de empresas listadas no FTSE350.	Os resultados indicam que os impactos atribuídos se correlacionam bem com os retornos gerados por esses eventos quando testados em relação a dados reais com base em ações do FTSE350. Os resultados indicam que adicionar a variável de notícias a cada um dos indicadores gera retornos mais altos do que quando cada uma das variáveis é considerada isolada.
Sanz, Bernardo, Herrera, Bustince e Hagrás (2015)	O artigo apresenta um sistema compacto de classificação com base em regras difusas evolutivas e escalonadas, com ajuste de valor de intervalo e seleção de regras para a previsão de aplicações financeiras.	Enfatiza abordagens transparentes para a redução de risco. O sistema proposto lida com os conjuntos de dados financeiros desequilibrados sem necessidade de qualquer método de pré-processamento ou amostragem, para evitar a introdução acidental de ruído.
Lakshmi, Martin e Venkatesan (2016)	É proposta uma ferramenta de análise de índice de falência usando o algoritmo genético real para encontrar os índices de influência. Esta ferramenta analisa a relação não linear entre os índices financeiros dos modelos de falência e classifica-os em índices de influência e não influenciadores.	A ferramenta genética de análise de índice de falência ( <i>genetic bankrupt ratio analysis too - GBRAT</i> ) selecionou oito recursos financeiros e fornece uma precisão de previsão de 89,75% que é maior do que a obtida pelas outras técnicas de seleção de características aplicadas em CBR simples.
Antonelli, Bernardo, Hagrás e Marcelloni (2017)	O estudo apresenta um método inovador para lidar com a classificação de dados financeiros, adotando classificadores baseados em regras difusas do tipo 2 ( <i>fuzzy rule-based classifiers - FRBCs</i> ) gerados a partir de dados por um algoritmo multiobjetivo evolutivo (MOEA) com o objetivo de alcançar altas precisões, preservando a interpretabilidade e gerenciando dados incertos e desequilibrados.	O estudo realizou a classificação de dados financeiros através da adoção de classificadores baseados em regras gerados por um MOEA. Esses classificadores provaram ser eficazes em termos de precisão. Além disso, eles geralmente são caracterizados por um baixo número de regras e TRL, e uma boa integridade das partições, tornando-as interpretáveis.
Nowak, Pawlowski (2017)	Este artigo é dedicado à precificação de opções europeias sob a suposição de que o ativo subjacente segue um processo geométrico de Levy. Para tal, é aplicada a análise estocástica, especialmente a mudança de técnicas de medida de probabilidade, bem como a teoria dos conjuntos fuzzy.	Aplicando a teoria dos conjuntos fuzzy, também obtivemos contrapartes fuzzy das fórmulas precisas de precificação, levando em conta a incerteza dos parâmetros do modelo.
Yaakob (2017)	Este artigo apresenta uma nova extensão da técnica de ordenação de preferência por meio de método de solução ideal (TOPSIS) e usa redes difusas para resolver problemas de tomada de decisão multicritérios onde os critérios de benefício e custo são apresentados como subsistemas.	Esta abordagem melhora significativamente a transparência dos métodos TOPSIS, ao mesmo tempo que garante uma eficácia elevada em comparação com as abordagens estabelecidas. Com base no estudo de caso, o método proposto supera as abordagens TOPSIS existentes em termos de desempenho de classificação.
...	...	...

Quadro 5: Foco de estudo, resultados e tendências observadas

Em relação aos 37 artigos relacionados ao foco da presente pesquisa, o tema de otimização foi bastante citado, sendo trabalhado nas seguintes temáticas: geração de energia mista com emissão de carbono ao custo mínimo; expansão de rede de transmissão que considera o custo de investimento; lucro a curto prazo; pesos do portfólio; retorno máximo (em curto prazo e longo prazo) e liquidez do portfólio; política de investimento multiobjetivo; negociação com base em sinais financeiros em alta frequência em tempo real.

Um dos temas mais citados depois do tema de otimização foi o de previsão, envolvendo as seguintes temáticas: preço de ações; análise de séries temporais financeiras; volatilidade de ativos financeiros; modelo orientado para o ecossistema bancário; variação variável no tempo de dados de séries temporais financeiras; pontos de inflexão em redes financeiras; grau probabilístico de verdade para avaliar resumos linguísticos de séries temporais de preço de petróleo.

Outro tema abordado foi o de séries temporais envolvendo as seguintes temáticas: financeira; descobrir padrões de negociação técnica eficazes que contenham uma combinação de indicadores financeiros; retorno financeiro; previsão do grau probabilístico de verdade para avaliar resumos linguísticos de preço de petróleo.

Na linha de precificação foram estudados os seguintes temas: ativos financeiros; modelagem e a experimentação de novos derivativos financeiros; dados históricos financeiros. Já o tema de indicadores apresentou as seguintes temáticas: incerteza do retorno como risco de um portfólio difuso; estresse financeiro durante episódios de crise. O tema de negociação foi trabalhado como: ativos com base em sinais financeiros em tempo real; estratégias de negociação de ações. O tema de tomada de decisão foi trabalhado com: processamento de sinais financeiros baseados em agentes; problemas multicritérios.

De modo isolado foram trabalhadas as seguintes temáticas: classificação de dados financeiros; análise da volatilidade dos fluxos de capital internacionais; problemas financeiros e econômicos complexos; modelos de financiamento comportamental; detecção de potenciais atividades comerciais de lavagem envolvidas em um instrumento financeiro; análise de índice de falência; melhorar a precisão de classificação de dívida financeira de um país; avaliação de níveis de risco de mercado e liquidez de financiamento; cluster de ativos financeiros; previsão padrão do empreiteiro com base em seu desempenho financeiro passado.

#### **4. CONCLUSÕES**

A investigação, para alcance dos objetivos deste estudo, foi dividida em oito etapas conforme a proposta de revisão sistemática da Cochrane. Inicialmente a pesquisa delimitou os periódicos a serem analisados e a partir do portal de busca recuperou os trabalhos que apresentavam o termo “financeiro”.

Como resultado do mapeamento inicial foram encontrados 667 artigos, os quais foram analisados e enquadrados de acordo com a revista, área, JCR (quadro 1). Uma segunda análise foi realizada aos 667 textos e observou-se que: 4 eram de tutoriais e estudos, 2 textos eram oriundos de anais, 35 de fóruns científicos, 16 de cartas, 2 tinham acesso bloqueado e 173 eram textos de magazine. Resultando em 436 textos distribuídos em 88 periódicos.

Na 4ª etapa, 16 periódicos foram excluídos por não apresentarem JCR, de modo a identificar estudos publicados em periódicos com relevante impacto na comunidade científica. Nesta fase a pesquisa identificou um montante de 397 artigos, com uma mediana 69 artigos por ano, e desvio padrão amostral de 19,50.

Na Etapa 5 a mediana ficou em 69 artigos por ano, e desvio padrão amostral em 19,50. Em relação a autoria, identificou-se que 42,2% das publicações possuíam 4 ou mais autores; e de modo recorrente verificou-se que 20 autores publicaram mais do que uma vez no tema financeiro.

Ainda foram encontrados 13 documentos sem autoria, que na verdade não eram artigos, e sim algum outro descritivo de periódicos, resultando em 384 artigos.

Em relação às instituições, 6 foram as que mais publicaram sobre o tema: *Tsinghua University* (8 artigos); *Princeton University* (7 artigos); Universidade de São Paulo (6 artigos); *University of Texas at Arlington* (6 artigos); *Sharif University of Technology* (5 artigos); e *Hong Kong University of Science and Technology* (4 artigos). Os países que mais publicaram foram: China com 74; Estados Unidos com 71 artigos; e o Brasil com 23 artigos.

Na sexta etapa da revisão sistemática, a qual prevê tratar os vieses dos relatórios, observou-se que apesar de os textos serem oriundos de revista informadas por diversas áreas de conhecimento, tem sido produzidos por diferentes autores, serem oriundos de diversas regiões do globo, foi identificada um viés nos relatórios o qual fazia com que alguns textos deixassem de atender ao pressuposto desta pesquisa de “analisar as contribuições científicas e tecnológicas abrangendo a produção científica do cenário internacional da área “Ciências da Computação” vinculado à temática “financeira”, visto que muitos textos não apresentavam de modo concomitante conceitos teóricos vinculados as duas áreas. Neste sentido, buscando minimizar os vieses dos relatórios, 89 textos foram excluídos por possuírem JCR menor do que 1 e 258 por não estarem relacionados concomitantemente a área financeira e de computação, resultando em 37 textos, quadro 5.

Deste modo, na sétima etapa foi realizada novamente a leitura completa dos 37 textos e se procedeu a análise a fim de apresentar os resultados identificados, quadro 5.

Na pesquisa anterior, 14% dos textos eram teóricos, 85% teórico-empírico, e 1% apenas empíricos, contrastando com o quadro atual em que 2,7% são teóricos, 94,6% teórico-empírico e 2,7% são totalmente empíricos. Isto reforça a importância relacionada de que cada vez mais a pesquisa teórica em conjunção com a pesquisa empírica, com destaque ao aumento da pesquisa puramente empírica. Quanto a abordagem de pesquisa: 8,1 % dos textos são qualitativos, 89,2% são qualitativos e quantitativos, e uma minoria são apenas quantitativos (2,7%). Em relação aos métodos gerais de pesquisa, os mais utilizados foram: experimento, análise de séries temporais, comparação de modelos, simulação de modelos e modelagem. O experimento na pesquisa anterior tinha obtido o sexto lugar como método mais utilizado.

Por fim, na oitava etapa da revisão sistemática, na área de *computing methodologies* houve uma queda de citação de 95% para 66%. Na área de *mathematics of computing* houve um incremento de 2% e verificou-se a citação de termos mais recentes, classificadas em outras

áreas, com um total de 6%: *deep learning*, *dissimilarity*, *numerical computation of stochastic differential*.

De maneira geral, pôde-se verificar que as subáreas citadas de computação foram: 38% de inteligência artificial, 23% de aprendizagem de máquina, 6% de modelagem e simulação, 6% de aplicações de sistemas de informações, 2% de recuperação de informação, 8% de projeto e análise de algoritmos, 13% de probabilidade e estatística e 6% de outras áreas, indicando um crescimento em áreas emergentes da computação.

Ao analisar os resultados obtidos junto às produções científicas, é possível afirmar que, o estudo gera contribuição, pois evidencia que as pesquisas na área financeira, aliada às técnicas computacionais, tem buscado entender o comportamento atual e futuro de empresas, organizações e estados, de modo a tomar melhores decisões e torná-las mais transparentes.

A partir desta pesquisa considera-se que há possibilidade de estudos a serem desenvolvidos no contexto nacional (brasileiro) enfocando por exemplo: lógica difusa (transparência na resolução de problemas financeiros, em métodos para lidar com dados financeiros desbalanceados; algoritmo genético para definição de portfólio; classificadores financeiros multiobjetivo; precificação de opções; previsão de volatilidade de ativos financeiros; problemas de tomada de decisão multicritério); modelos de interpretação de dados financeiros desequilibrados; análise de índice de falência usando o algoritmo genético; aprendizagem profunda na negociação de sinais financeiros sem utilizar indicadores técnicos; exploração automática de notícias em estratégias de negociação de ações.

## REFERÊNCIAS

- Antonelli, M.; Bernardo, D.; Hagrass, H.; Marcelloni, F. (2017). Multi-objective Evolutionary Optimization of Type-2 Fuzzy Rule-Based Systems for Financial Data Classification. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, (25:2), pp. 249-264, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2578341.
- Assaf Neto, A. (2011). *Mercado financeiro*. 10. ed. São Paulo: Editora Atlas.
- Cadavid, L.; Jimenez, M.; Franco, C. J. (2015). Financial analysis of photovoltaic configurations for Colombian households. *IEEE Latin America Transactions*. Dec; (13:12), pp.3832-3837.
- Chen, N.; Ribeiro, B.; Chen, A. (2015). Financial credit risk assessment: a recent review. *Computer Science*, Published in *Artificial Intelligence*, Oct., (45:1). DOI:10.1007/s10462-015-9434-x.
- Cheng, M.; Hoang, N. (2015). Evaluating contractor financial status using a hybrid fuzzy instance based classifier: Case study in the construction industry. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Feb 5; (62:2), pp. 184-192.
- Denyer, D.; Tranfield, D. (2009). Producing a systematic review. In: BUCHANAN, D. A.; BRYMAN, A. (Ed.). *The SAGE handbook of organizational research methods*. Los Angeles; London: SAGE.
- Fachin, O. (1993). *Fundamentos de Metodologia*, São Paulo, Atlas.
- Fernández-Gámez, M. A., García-Lagos, F., Sánchez-Serrano, J. R. (2016). Integrating corporate governance and financial variables for the identification of qualified audit opinions with neural networks. *Neural Computing and Applications*, Jul., (27:5), pp 1427–1444.

- Han, J.; Zhang, X.; Wang, F. (2016). Gaussian Process Regression Stochastic Volatility Model for Financial Time Series. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Set., (10:6), pp. 1015-1028, doi: 10.1109/JSTSP.2016.2570738.
- Higgins, J. P. T; Green, S. (editors). (2011). *Cochrane Handbook of Systematic Reviews of Intervention*. Version 5.1.0 [atualizado em março de 2011]. London: The Cochrane Collaboration.
- Huang, Q.; Wang, T.; Tao, D.; Li, X. (2015). Biclustering Learning of Trading Rules. *IEEE Transactions on Cybernetics*, Oct., (45:10), pp. 2287-2298, doi: 10.1109/TCYB.2014.2370063.
- Kumaraswamy, A.; Garud, R.; Ansari, S. (2018). Perspectives on Disruptive Innovations. *J. Manage. Stud.*, 55 (7), pp. 1025-1042, doi: 10.1111/joms.12399
- Lakshmi, M.; Martin, A.; Venkatesan, V. P. (2016). A Genetic Bankrupt Ratio Analysis Tool Using a Genetic Algorithm to Identify Influencing Financial Ratios. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Fev., (20:1), pp. 38-51, doi: 10.1109/TEVC.2015.2424313.
- Li, C.; Chiang, T. (2013). Complex Neurofuzzy ARIMA Forecasting - A New Approach Using Complex Fuzzy Sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Jun., (21:3), pp. 567-584, doi: 10.1109/TFUZZ.2012.2226890.
- Liang, Y., Quan, D., Wang, F., Jia, X., Li, M., Li, T.. (2020). Financial Big Data Analysis and Early Warning Platform: A Case Study, in *IEEE Access*, (8), pp. 36515-36526, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2969039.
- Mehlawat, M. K.; Gupta, P. (2014). Fuzzy Chance-Constrained Multiobjective Portfolio Selection Model. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Jun., (22:3), pp. 653-671, doi: 10.1109/TFUZZ.2013.2272479.
- Modic, D.; Anderson, R. (2015). It's All Over but the Crying: The Emotional and Financial Impact of Internet Fraud. *IEEE Security & Privacy*. Oct., (13:5), pp. 99-103, doi: 10.1109/MSP.2015.107.
- Nowak, P.; Pawlowski, M. (2017). Option pricing with application of levy processes and the minimal variance equivalent martingale measure under uncertainty. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Apr. (25:2), pp. 402-416, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2637372.
- Nuij, W.; Milea, V.; Hogenboom, F.; Frasinca, F.; Kaymak, U. (2014). An automated framework for incorporating news into stock trading strategies. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Apr., (26:4), pp. 823-835, doi: 10.1109/TKDE.2013.133.
- Pazouki, S.; Mohsenzadeh, A.; Ardalan, S.; Haghifam, M. (2015). Simultaneous planning of PEV charging stations and DGs considering financial, technical, and environmental effects. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, Sep (38:3), pp.238-245, doi: 10.1109/CJECE.2015.2436811.
- Sampaio, R. F.; Mancini, M. C. (2007). Estudos de Revisão Sistemática: Um Guia para Síntese Críteriosa da Evidência Científica. *Rev. Bras. Fisioterapia*. São Carlos, Jan. /Fev., (11:1), pp 83-89.
- Sanz, J. A.; Bernardo, D.; Herrera, F.; Bustince, H.; Hągras, H. (2015). A compact evolutionary interval-valued fuzzy rule-based classification system for the modeling and prediction of real-world financial applications with imbalanced data. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Aug., (23:4), pp. 973-990, doi: 10.1109/TFUZZ.2014.2336263.
- Sharma, B., Thulasiram, R.K., Thulasiraman, P., Buyya, R. (2015). Clabacus: A Risk-Adjusted Cloud Resources Pricing Model Using Financial Option Theory, in *IEEE Transactions on Cloud Computing*, Jul.-Sep., (3: 3), pp. 332-344, 1 doi: 10.1109/TCC.2014.2382099.

- Werner, M.; Gehrke, N. (2015). Multilevel process mining for financial audits. *IEEE Transactions on Services Computing*, Nov.-Dec. (8:6), pp.820-832, doi: 10.1109/TSC.2015.2457907.
- Wu, C.; Chen, B.; Zhang, W. (2017). Multiobjective Investment Policy for a Nonlinear Stochastic Financial System: A Fuzzy Approach. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Apr., (25:2), pp. 460-474, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2574926.
- Xu, X.; Zeng, Z.; Xu, J.; Zhang, M. (2017). Fuzzy Dynamical System Scenario Simulation-Based Cross-Border Financial Contagion Analysis: A Perspective From International Capital Flows. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Apr. (25:2), pp. 439-459, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2574928.
- Yaakob, A. M.; Serguieva, A.; Gegov, A. (2017). FN-TOPSIS: Fuzzy Networks for Ranking Traded Equities. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Apr., (25:2), pp. 315-332, doi: 10.1109/TFUZZ.2016.2555999.
- Yu, L.; Wang, S.; Lai, K. K. (2009). A neural-network-based nonlinear metamodeling approach to financial time series forecasting. *Computer Science. Published in Applied Soft Computing*, Mar. (9:2) pp. 563-574, doi: 10.1016/j.asoc.2008.08.001.