RESUMO EXPANDIDO (PÚBLICO GERAL/NÃO ASSOCIADOS AKB) / EXTENDED ABSTRACTS (NON AKB MEMBERS) - ÁREA 6. ECONOMIA MONETÁRIA E FINANCEIRA E DINÂMICA INFLACIONÁRIA

FINANCEIRIZAÇÃO, REDES FINANCEIRAS, INCERTEZA E LAVAGEM DE DINHEIRO: UMA ABORDAGEM COM GRAFOS FUZZY

Pedro Augusto Junqueira Silva (pedro.junqueira@sou.unifal-mg.edu.br)

Sílvio Antônio Bueno Salgado (silvio.salgado@unifal-mg.edu.br)

Bernardo Pádua Jardim De Miranda (bernardo.miranda@unifal-mg.edu.br)

Danilo Machado Pires (danilo.pires@unifal-mg.edu.br)

As crescentes sofisticações dos fluxos financeiros globais têm ampliado os desafios associados à detecção e prevenção da lavagem de dinheiro, especialmente diante da evolução dos mecanismos de ocultação de recursos ilícitos e da expansão das transações transnacionais (UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME, 2011; FINANCIAL ACTION TASK FORCE, 2024; UNGER, 2004). Estimativas indicam que tais práticas podem representar entre 2% e 5% do PIB mundial, evidenciando sua relevância econômica e institucional (FERWERDA; DELEANU; UNGER, 2022). Nesse contexto, a modelagem por grafos tem se mostrado particularmente útil para representar relações entre agentes econômicos e detectar padrões estruturais complexos em redes financeiras (AKOGLU; TONG; KOUTRA, 2015).

Nos últimos anos, métodos baseados em redes complexas e aprendizado de máquina vêm demonstrando elevada capacidade de identificar padrões ocultos em sistemas financeiros, superando limitações de abordagens tradicionais (WU

et al., 2021). Em especial, a análise estrutural de redes transnacionais permite detectar agrupamentos suspeitos e padrões característicos de lavagem de dinheiro, mesmo diante de informações incompletas (FERWERDA; DELEANU; UNGER, 2022). Modelos recentes incorporam grafos direcionados, dinâmicos e multi relacionais para lidar com a complexidade temporal desses sistemas (WEBER et al., 2019), enquanto abordagens baseadas em Graph Neural Networks vêm sendo aplicadas ao contexto de anti-money laundering com resultados promissores (QI et al., 2023).

O avanço desse fenômeno está diretamente relacionado ao processo de financeirização da economia. A criação de novos produtos financeiros, a securitização e a intensificação da acumulação de capital ampliam as possibilidades de ocultação da origem de recursos ilícitos (FEHER, 2021; FIX; PAULANI, 2019; BAYONA, 2019). Além disso, a crescente demanda por ativos financeiros orienta-se frequentemente por motivações especulativas, em que decisões são guiadas pela maximização de lucros e retornos de curto prazo, assumindo estruturas financeiras de natureza especulativa e Ponzi, conforme descrito por Minsky (2000). Nessa perspectiva, a financeirização constitui uma nova forma de regulação econômica (BOYER, 2000), subordinando progressivamente as atividades produtivas à lógica financeira (O'SULLIVAN, 2002) e incentivando a busca por ativos líquidos e arriscados capazes de proporcionar retornos elevados em horizontes temporais reduzidos. Tal dinâmica amplia a opacidade das redes financeiras e favorece práticas associadas à lavagem de dinheiro.

Entretanto, tais transações envolvem níveis elevados de incerteza. Inspirando-se na tradição pós-keynesiana da incerteza fundamental, segundo a qual sistemas monetários operam sob condições de não ergodicidade e conhecimento necessariamente incompleto do futuro (KEYNES, 1937; DAVIDSON, 1991; DEQUECH, 2000; LAWSON, 1988), torna-se insuficiente recorrer exclusivamente a abordagens probabilísticas clássicas. Nessa perspectiva, a lógica fuzzy oferece instrumentos adequados para representar imprecisão e subjetividade sem impor distribuições probabilísticas prévias, tendo sido continuamente refinada em formulações matemáticas contemporâneas (ZADEH, 1965; SALGADO et al., 2023).

Este trabalho propõe a utilização de grafos fuzzy (ROSENFELD, 1975) para modelar redes de transações financeiras sob incerteza, buscando identificar padrões potencialmente associados à lavagem de dinheiro. Ao integrar teoria de grafos, lógica fuzzy e análise econômica sob incerteza, pretende-se

contribuir para o aprimoramento de metodologias quantitativas aplicadas ao monitoramento de sistemas financeiros complexos.

O objetivo consiste em desenvolver uma abordagem baseada em grafos fuzzy para modelar e analisar redes de transações financeiras, incorporando graus de pertinência associados ao valor, frequência e comportamento temporal das operações. Busca-se adaptar métricas clássicas da teoria de grafos ao ambiente fuzzy, permitindo identificar padrões como circuitos fechados e estruturas em camadas, além de avaliar o potencial dessa representação como ferramenta de apoio ao monitoramento financeiro sob incerteza não probabilística e uma economia financeirizada.

O estudo funciona como um mapa de conexões (um grafo), em que cada ponto representa uma pessoa ou empresa e as linhas mostram o dinheiro circulando entre elas. Para cada transferência, o sistema atribui um grau de pertinência associado a suspeição que vai de 0 a

1. Essa nota é calculada observando cinco pontos principais:

Valor (x_1): Verifica se a quantia é estranha para aquele perfil ou se o dinheiro foi dividido em pequenas quantidades para fugir dos radares (o chamado smurfing).

Repetição (x_2): Checa se as mesmas pessoas estão trocando dinheiro o tempo todo, o que pode indicar uma tentativa de ocultar a origem dos recursos.

Tempo (x_3): Observa se as transações são rápidas demais, o que sugere o uso de robôs ou pressa para ocultar a origem ilícita dos recursos.

Caminho em círculos (x_4): Nota se o dinheiro forma ciclos transacionais e acaba voltando para quem enviou no início, uma tática clássica para camuflar o patrimônio.

Mudança de hábito (x_5): Compara o que a pessoa está fazendo agora com o que ela costumava fazer. Se o comportamento mudou bruscamente, indica comportamento atípico.

Na prática, o sistema soma esses cinco pontos dando um peso de importância para cada um. Formalmente, o resultado final da pontuação (μ) é dado por:

. $\mu(e_{ij})=?_{(k=1)}^{5} w_k \mu_k (x_k),$ com $?_{(k=1)}^{5} w_k=1.$ (1)

A metodologia propõe validar a sensibilidade do modelo sob incerteza não probabilística através de uma simulação de dados, fundamentada no refinamento de cinco pilares: a definição de funções de pertinência (μ_k) para normalização das variáveis, a calibração de pesos (w_k) por relevância analítica, e o uso de visualização gráfica para auxílio regulatório. Ao aplicar extensões fuzzy de métricas de redes o modelo busca superar abordagens determinísticas na identificação de sub estruturas típicas de lavagem de dinheiro, como smurfing, circuitos fechados e camadas de redistribuição financeira, garantindo um monitoramento robusto e confiável.

A abordagem também incorpora a evolução temporal das relações, permitindo representar dinâmicas adaptativas sem recorrer a distribuições probabilísticas pré-definidas. Para validação, será simulada uma rede financeira contendo padrões típicos de lavagem de dinheiro, possibilitando avaliar o desempenho do modelo em ambiente controlado sob incerteza keynesiana.

Espera-se que o uso de grafos fuzzy proporcione representação mais flexível e realista das redes financeiras, permitindo identificar padrões atípicos frequentemente negligenciados por modelos determinísticos ou estritamente probabilísticos. Sob perspectiva econômica, a incorporação explícita da incerteza tende a produzir interpretações mais consistentes com sistemas nos quais a informação é incompleta e estratégica. Como consequência, a proposta pode contribuir para o desenvolvimento de instrumentos mais robustos de monitoramento e regulação, fortalecendo a articulação entre teoria econômica, lógica fuzzy e análise de redes complexas.

Acknowledgements

This research was partially supported by FAPEMIG under grant no. APQ-02561-25 (S.A.B. Salgado).

Referências

AKOGLU, L.; TONG, H.; KOUTRA, D. Graph based anomaly detection and description: a survey. Data Mining and Knowledge Discovery, v. 29, n. 3, p. 626–688, 2015.

DAVIDSON, P. Is probability theory relevant for uncertainty? A post Keynesian pers-pective. Journal of Economic Perspectives, v. 5, n. 1, p. 129–143, 1991.

DEQUECH, D. Fundamental uncertainty and ambiguity. Eastern Economic Journal,

v. 26, n. 1, p. 41–60, 2000.

FINANCIAL ACTION TASK FORCE (FATF). Annual report 2023–2024. Paris: FATF/OECD,

2024.

FERWERDA, J.; DELEANU, I.; UNGER, B. Estimating money laundering flows with a gravity model-based simulation. EPJ Data Science, v. 11, n. 1, p. 1–19, 2022.

ROSENFELD, A. Fuzzy graphs. In: ZADEH, L. A.; FU, K. S.; SHIMURA, M. (ed.).

Fuzzy sets and their applications. New York: Academic Press, 1975. p. 77–95.

KEYNES, J. M. The general theory of employment. The Quarterly Journal of Econo-mics, v. 51, n. 2, p. 209–223, 1937.

LAWSON, T. Probability and uncertainty in economic analysis. Journal of Post Key-nesian Economics, v. 11, n. 1, p. 38–65, 1988.

QI, B.; XIAO, Y.; QIN, J.; WANG, Y. Anti-money laundering through graph learning: a survey. IEEE Access, v. 11, p. 59001–59020, 2023.

SALGADO, S. A. B.; ESMI, E.; SOUZA, S. M.; ROJAS, O.; BARROS, L. C. Fuzzy

stationary Schrödinger equation with correlated fuzzy boundaries. Soft Computing, 2023.

UNITED NATIONS OFFICE ON DRUGS AND CRIME. Estimating illicit financial flows resulting from drug trafficking and other transnational organized crimes. Vienna: United Nations, 2011.

UNGER, B. Money laundering: a global obstacle. Research in International Business and Finance, v. 18, n. 2, p. 163–181, 2004.

WEBER, M. et al. Anti-money laundering in Bitcoin: experimenting with graph convolutional networks for financial forensics. In: Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM, 2019.

WU, Z. et al. A comprehensive survey on graph neural networks. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, v. 32, n. 1, p. 4–24, 2021.

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

BAYONA, J. Financeirização, coalizão de interesses e taxa de juros no Brasil. Texto para Discussão IE/UFRJ, n. 22, 2019.

BOYER, R. Is a finance-led growth regime a viable alternative to Fordism? A regulation school approach. Economy and Society, v. 29, n. 1, p. 111-145, 2000.

FEHER, M. Classified: The Power of Rating and the Property of Speculation. In: The Routledge Handbook of Financialization. Routledge, 2021.

FIX, M.; PAULANI, L. M. Considerações teóricas sobre a terra como puro ativo financeiro e o processo de financeirização. Revista de Economia Política, v. 39, n. 4, p. 638-657, 2019.

MINSKY, H. P. The Financial Instability Hypothesis. Working Paper n. 74, Jerome Levy Economics Institute of Bard College, 1992 (Republicado/Referenciado em discussões sobre estruturas Ponzi em 2000).

O’SULLIVAN, M. The Innovative Enterprise and Corporate Governance. Cambridge Journal of Economics, v. 24, n. 4, p. 393-416, 2002.

Palavras-chave: financeirização; grafos fuzzy; lavagem de dinheiro.