



EIXO 4 – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AUDITORIA PÚBLICA

UTILIZAÇÃO DE R-GCN PARA IDENTIFICAÇÃO DE CONLUÍO EM AUDITORIAS DE LICITAÇÕES PÚBLICAS

Marcos Leno Ferreira Pompeu

Doutorando e Mestre em Informática Aplicada pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR. Bacharel em Ciência da Computação, Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Especialista em Engenharia de Software e Especialista em Engenharia Química pela Universidade Estácio de Sá – UNESA. Especialista em Automação Industrial pela Universidade de Fortaleza – UNIFOR e Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Engenheiro da Companhia de Água e Esgoto do Ceará.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5968571203227933>

Raimir Holanda Filho

Pós-Doutor em Computação pela Sorbonne Université-Pierre et Marie Curie, França. Doutor em Ciência da Computação pela Universitat Politècnica de Catalunya, Espanha. Mestre em Ciências da Computação e Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Professor Titular da Universidade de Fortaleza, afiliado ao Programa de Pós-Graduação em Informática Aplicada (PPGIA).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2607811863279622>

RESUMO

Este trabalho utiliza redes neurais de grafos para identificar anomalias em licitações públicas realizadas pelos municípios. A proposta é baseada na construção de um grafo heterogêneo que integra informações sobre licitantes, licitações, municípios e sócios, abrangendo múltiplos tipos de relações entre essas entidades. Os processos licitatórios são rotulados de acordo com um critério que considera suspeitos de conluio aqueles em que há um par de licitantes com alta frequência de participações anteriores. Utilizou-se o modelo R-GCN (Rede Convolucional de Grafos Relacional) para realizar a classificação binária de nós em grafos heterogêneos sob uma abordagem de aprendizado supervisionado. Observou-se que a abordagem com rede



heterogênea não direcionada alcançou resultados superiores. Os resultados obtidos alcançaram uma acurácia aproximada de 96%.

Palavras-chave: Licitação Pública. Conluio. R-GCN. Redes Neurais de Grafos.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, as licitações públicas são processos administrativos para a contratação de bens ou serviços realizados pelos municípios, que devem selecionar a melhor proposta entre aquelas apresentadas pelos fornecedores (CONSTITUIÇÃO, 1988). A melhor proposta deve atender aos critérios de preço justo, qualidade e especificação técnica.

Para que esse objetivo seja alcançado, é necessário garantir condições iguais para todos os licitantes. Essa equidade é comprometida quando há participantes que atuam em conluio, ou seja, firmam acordos entre si com o intuito de manipular o resultado da licitação. A forma mais comum de conluio é o *bid rigging* (ajuste de propostas) (Carbone; Calderoni; Jofre, 2024).

O objetivo deste trabalho é contribuir com as auditoras de licitações públicas por meio da identificação de certames licitatórios que envolvam participantes em conluio. Para isso, é utilizado um grafo heterogêneo formado pelas relações entre licitantes, sócios, municípios e licitações. Uma validação da proposta foi realizada com os 184 municípios do estado do Ceará, no período de 2010 a 2024.

2 METODOLOGIA

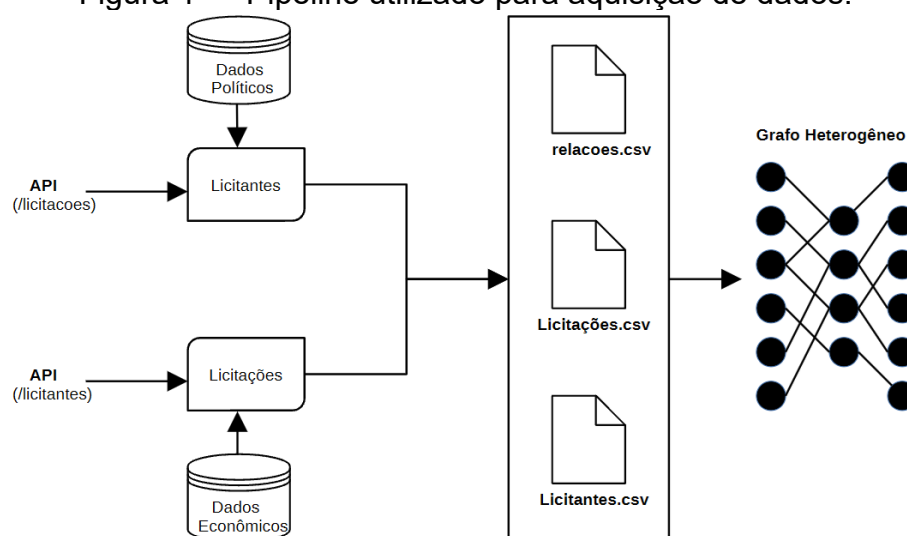
2.1 Aquisição de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram coletados do banco de dados público do Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE-CE), que disponibiliza informações sobre licitações realizadas no estado do Ceará entre 2010 e 2024 (<https://api-dados-abertos.tce.ce.gov.br/docs/>). Foram analisadas 300.819 licitações (com 716.184 propostas) envolvendo 117.286 licitantes.



Na Figura 1, é ilustrado o pipeline utilizado para aquisição dos dados.

Figura 1 — Pipeline utilizado para aquisição de dados.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As licitações foram enriquecidas com dados políticos, sociais e econômicos do município em que ocorreram, obtidos de fontes abertas como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Tribunal Regional Eleitoral do Ceará (TRE-CE). Os licitantes foram enriquecidos com dados econômicos das empresas, obtidos em fontes públicas da Receita Federal do Brasil.

Após o enriquecimento dos dados, foram gerados os arquivos de arestas (relacoes.csv), de licitações (licitacoes.csv) e de licitantes (licitantes.csv).

O arquivo relacoes.csv contém os relacionamentos entre licitações, licitantes, sócios e municípios, enquanto os arquivos licitantes.csv e licitacoes.csv contêm, respectivamente, as informações correspondentes às licitações e aos licitantes.

2.2 R-GCN (Rede Convolutacional de Grafos Relacional)

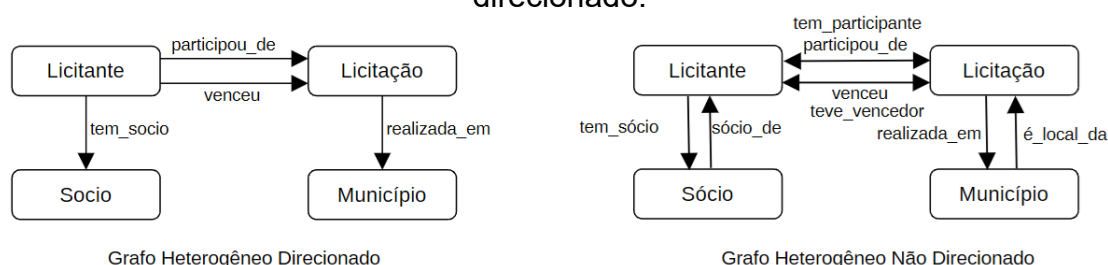
As Redes Convolucionais de Grafos Relacionais (R-GCN), propostas por (Schlichtkrull et al., 2017), são capazes de fazer previsões para links e entidades em um grafo heterogêneo.



Em um grafo heterogêneo, ao contrário de um grafo homogêneo, pode haver múltiplos tipos de entidades e relacionamentos. Essa heterogeneidade possibilita a representação de múltiplos tipos e de arestas, possibilitando maior expressividade do modelo.

A Figura 2 apresenta os diagramas dos grafos heterogêneos direcionado e não direcionado utilizados nesse trabalho.

Figura 2 — Grafos heterogêneos direcionado e não direcionado.



Fonte: Elaborado pelos Autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o *Classification Report* são apresentados na Tabela 1 para um grafo heterogêneo direcionado e na Tabela 2 utilizando um grafo heterogêneo não direcionado, em termos de métricas como accuracy, precision, recall e F1-score. A acurácia alcançada foi de 0,96 para o grafo heterogêneo direcionado e 0,97 para o grafo heterogêneo não direcionado, indicando um bom desempenho do modelo.

Os valores mais baixos de precision, recall e F1-score para a classe 1 podem ser decorrentes do desbalanceamento das classes, uma vez que houve menos licitações rotuladas como suspeitas do que como não suspeitas.

Tabela 1. Classification Report - R-GCN (Grafo direcionado)

Item	precision	recall	f1-score	support
Class 0	0.98	0.98	0.98	16314
Class 1	0.78	0.75	0.76	1356
accuracy			0.96	17670
Macro avg	0.88	0.86	0.87	17670



Weighted avg 0.96 0.96 0.96 17670

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 2. Classification Report - R-GCN (Grafo não direcionado)

Item	precision	recall	f1-score	support
Class 0	0.98	0.98	0.98	16314
Class 1	0.81	0.79	0.80	1356
accuracy			0.97	17670
Macro avg	0.90	0.89	0.89	17670
Weighted avg	0.97	0.97	0.97	17670

Fonte: Elaborada pelos autores

4 CONCLUSÃO

Este trabalho utilizou dados abertos do Tribunal de Contas do Estado do Ceará (TCE-CE) para criar dois tipos de grafos: um grafo heterogêneo direcionado e um grafo heterogêneo não direcionado, formado por licitantes, sócios, municípios, licitações e suas diversas relações.

Como não havia dados rotulados disponíveis, adotou-se uma abordagem alternativa para rotular licitantes com fortes vínculos, com base em seu histórico de participações conjuntas. Isso possibilitou a avaliação de um classificador de licitações suspeitas construído com R-GCN.

Foram obtidos melhores resultados com o grafo heterogêneo não direcionado, indicando que o fluxo de informação em ambos sentidos contribui para o enriquecimento das representações aprendidas pelo modelo.

As entidades de auditoria desempenham um papel fundamental na prevenção de fraudes em licitações. No entanto, é desafiador para essas entidades detectarem todas as possíveis irregularidades, devido ao enorme volume de processos licitatórios que ocorrem periodicamente. Ainda assim, este trabalho busca contribuir para o aprimoramento das auditorias em compras públicas e para a promoção da transparência nas licitações.

REFERÊNCIAS



CARBONE, Carlotta; CALDERONI, Francesco; JOFRE, Maria. Bid-rigging in public procurement: cartel strategies and bidding patterns. *Crime, Law and Social Change*, v. 82, n. 2, p. 249–281, 1 set. 2024.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. , 1988.

SCHLICHTKRULL, Michael *et al.* Modeling Relational Data with Graph Convolutional Networks. 26 out. 2017.