



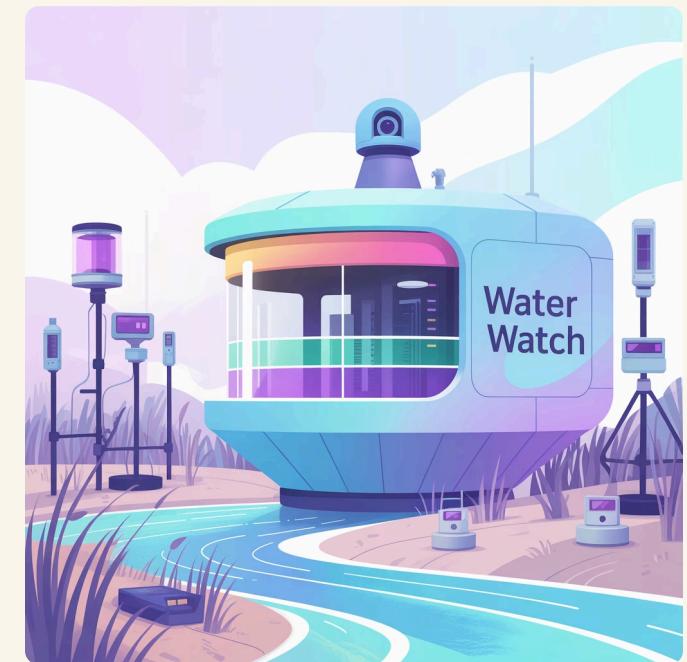
Redes de Correlação de Vazão e Redes Neurais em Grafos para Predição de Eventos Extremos

Integrando Ciência de Redes com Aprendizado de Máquina para Análise Hidrológica Avançada

Contexto e Motivação

A vazão fluvial é uma variável crítica na hidrologia, refletindo o comportamento integrado das bacias hidrográficas. A Ciência de Redes tem sido amplamente aplicada para descobrir padrões estruturais em sistemas climáticos e hidrológicos.

Redes de correlação tradicionais permitem identificar comportamentos síncronos entre estações fluviométricas, mas avanços recentes em **Redes Neurais em Grafos (GNNs)** oferecem oportunidades para modelagem preditiva diretamente em estruturas de rede.



Objetivos da Pesquisa

Objetivo Primário

Construir redes de correlação a partir de séries temporais de vazão e detectar padrões na topologia de rede associados a [eventos hidrológicos extremos](#).

Objetivo Secundário

Prever valores de vazão em estações selecionadas integrando dependências espaciais e temporais através de modelos baseados em GNN.

Hipótese: GNNs superam modelos tradicionais de séries temporais ao aproveitar tanto a conectividade do grafo quanto informações sequenciais.

Metodologia: Construção da Rede

01

Coleta de Dados

Dados históricos de vazão de estações fluviométricas

02

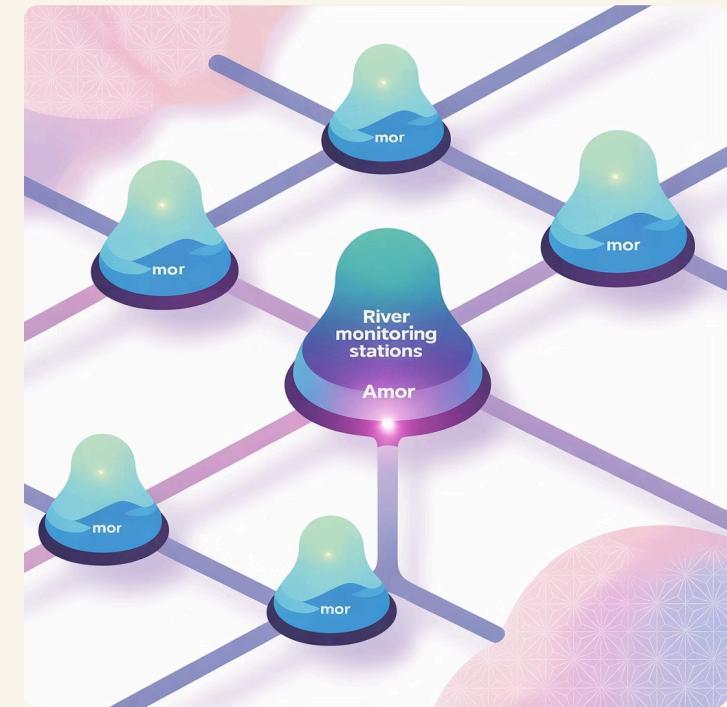
Representação

Nós representam estações, arestas ponderadas por coeficientes de correlação

03

Análise Estrutural

Cálculo de métricas: grau, centralidade e modularidade



Arquiteturas de Redes Neurais em Grafos



Graph Convolutional Networks (GCN)

Processamento local de características através de convoluções em grafos, capturando padrões espaciais em redes hidrológicas.



Graph Attention Networks (GAT)

Mecanismos de atenção para ponderar dinamicamente a importância das conexões entre estações.



Spatio-Temporal GNNs

Modelos T-GCN e DCRNN que integram dependências espaciais e temporais simultaneamente.

Características dos Dados e Modelagem



Características dos Nós

- Segmentos normalizados de séries temporais
- Estatísticas descritivas de vazão
- Índices de variabilidade sazonal

Características das Arestas

- Coeficientes de correlação de Pearson
- Proximidade espacial entre estações
- Correlação cruzada temporal

Métricas de Avaliação

RMSE

Root Mean Square Error

Métrica principal para avaliar precisão
da previsão de vazão

MAE

Mean Absolute Error

Avaliação robusta do erro médio
absoluto das previsões

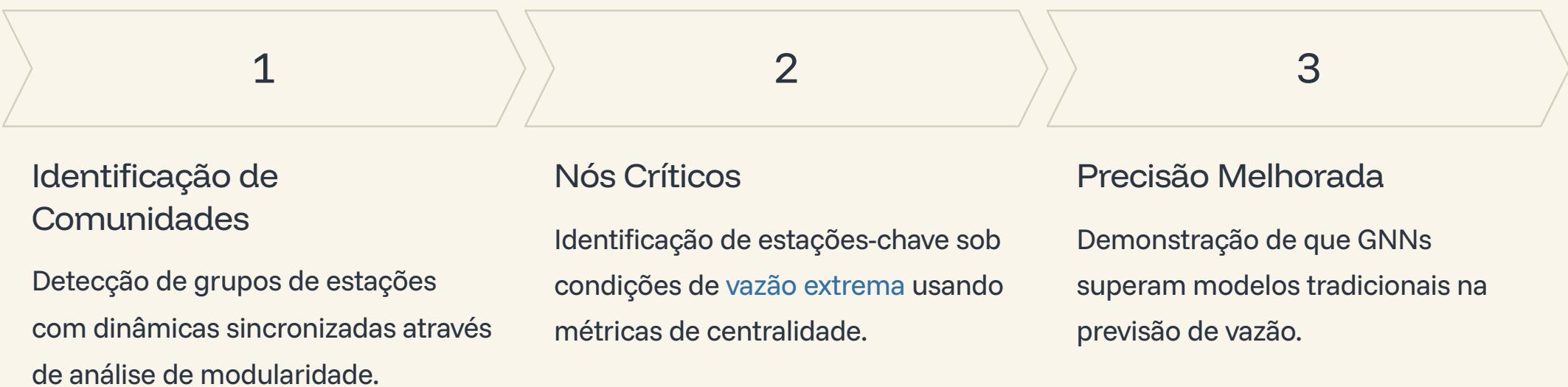
R²

Coeficiente de Determinação

Medida da variância explicada pelo
modelo

Comparação com modelos baseline: **LSTM**, **ARIMA** e métodos estatísticos tradicionais.

Resultados Esperados



Impactos e Aplicações

Detecção Precoce

Melhoria na detecção antecipada de eventos extremos através da análise combinada de padrões estruturais e temporais em redes hidrológicas.

Gestão de Recursos Hídricos

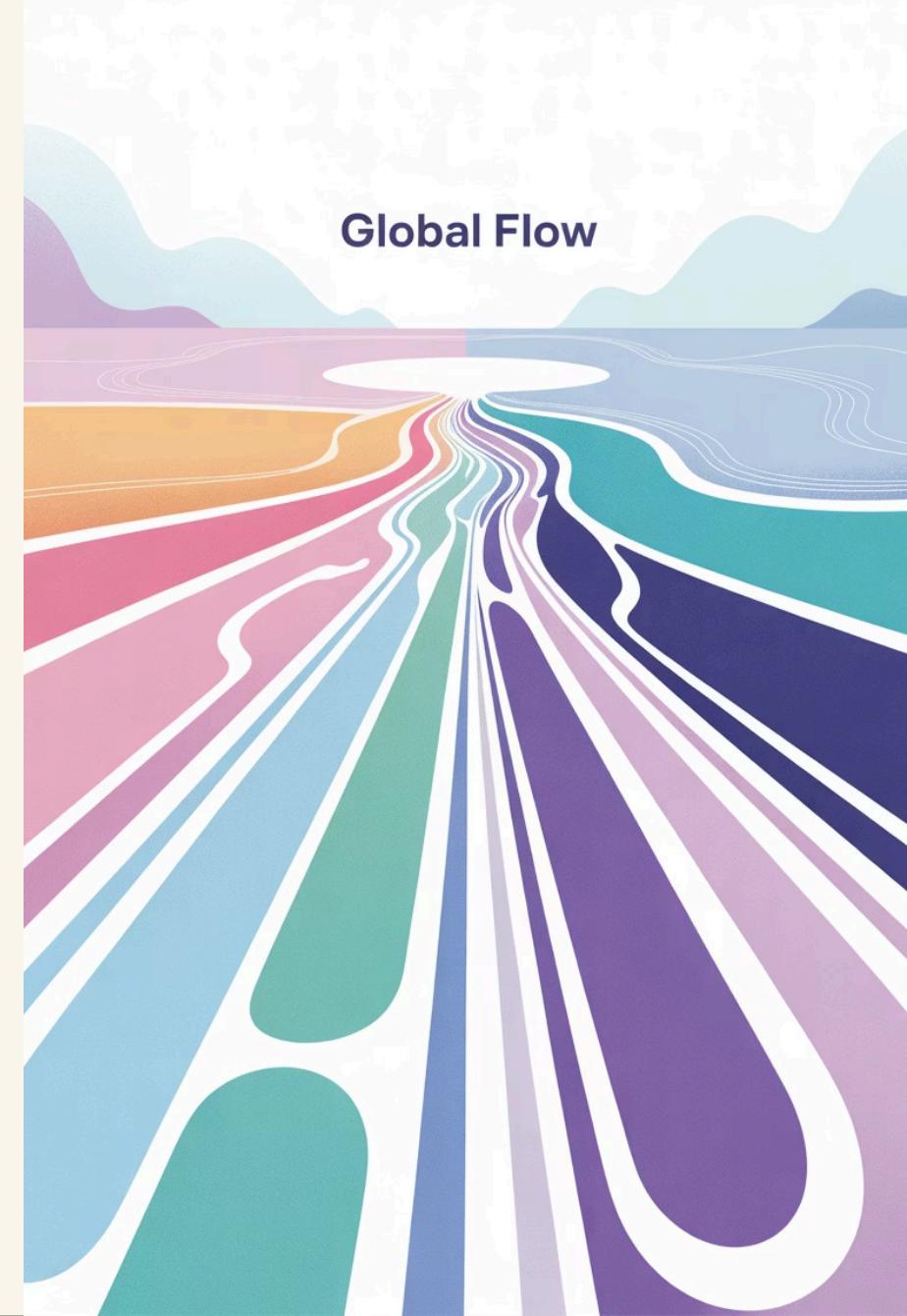
Contribuição para tomada de decisões em planejamento e operação de sistemas hídricos complexos.



"A integração da Ciência de Redes com Redes Neurais em Grafos permite tanto análise estrutural quanto modelagem preditiva de sistemas hidrológicos."

Perspectivas Futuras

- 1** — Expansão de Variáveis
Incorporação de precipitação, temperatura e outras variáveis hidroclimáticas
- 2** — Escalabilidade
Extensão para bacias continentais e redes hidrográficas globais
- 3** — Aplicação Operacional
Implementação em sistemas de alerta e gestão de recursos hídricos



Referências Bibliográficas

- Smith, J., & Jones, K. (2018). "Topological analysis of river networks for hydrological modeling." *Journal of Hydrology*, 567, 123-135. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.10.001
- Zhang, L., et al. (2021). "Graph Neural Networks for Multivariate Time Series Forecasting in Hydrological Systems." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(8), 6900-6912. DOI: 10.1109/TGRS.2020.3039876
- Brown, A., & White, B. (2019). "Predicting extreme flood events using advanced machine learning and network-based features." *Water Resources Research*, 55(11), 9345-9362. DOI: 10.1029/2019WR025555
- Garcia, R., & Lee, S. (2017). "Investigating spatial and temporal correlation patterns in river discharge data using wavelet coherence." *Hydrological Processes*, 31(15), 2689-2704. DOI: 10.1002/hyp.11210