REDES COMPLEXAS: DA TEORIA À MODELAGEM COMPUTACIONAL

Dirceu de Freitas Piedade Melo -IFBA

dirceu@ifba.edu.br

Chel Ferreira Freitas- IFBA, Dirceu de Freitas Piedade Melo (orientador)-IFBA

chel.freitas@gmail.com

RESUMO

Redes podem ser definidas como estruturas constituídas de vértices (V) interconectados por arestas (E). As redes complexas têm sido utilizadas para estudar e compreender a dinâmica de vários fenômenos e agrupamentos formados pela interconexão de entes. Por esse motivo, uma rede pode ser considerada uma promissora ferramenta à serviço da investigação multidisciplinar. Para suprir a carência de uma maior difusão das possibilidades metodológicas que se abrem com as Redes Complexas, foi concebido o projeto de pesquisa "Redes complexas: da teoria à modelagem computacional". Neste trabalho designou-se o objetivo de fazer uma abordagem dos principais conceitos, topologias clássicas, métricas, e aplicações de redes complexas, usando a modelagem computacional para melhor compreensão e visualização dos conceitos e propriedades de grafos e redes, e assim aproximar estudantes e pesquisadores, a novas possibilidades investigativas dadas pelo uso de grafos no estudo determinados sistemas. Para realizar esse projeto primeiramente realizamos uma revisão bibliográfica abordando os fundamentos da teoria dos grafos, depois trabalhamos na seleção dos principais comandos, objetos e pacotes da linguagem R para a modelagem de grafos. Dentre os produtos finais destacamos a produção de um tutorial com o resumo dos fundamentos de redes complexas, juntamente com os scripts R necessários para a visualização, cálculo e análise estatística da topologia de cada uma das redes apresentadas, e aplicações de redes complexas, e a ministração de um minicurso de modelagem de redes usando linguagem R para alunos da graduação do IFBA.

Palavras-chave: Redes complexas, teoria dos grafos, modelagem computacional, linguagem R.

INTRODUÇÃO

As Redes são estruturas constituídas de vértices (V) interconectados por arestas (E). Os Grafos são modelos geométricos que representam redes. Em um sentido geral, uma rede pode ser definida como uma abstração que permite codificar algum tipo de relacionamento entre pares de objetos. As redes complexas surgem como um campo de estudos multidisciplinar que busca responder "como" e "porque" determinados objetos se conectam, e quais são as implicações dessas conexões. No estudo de fenômenos através de redes, busca-se a investigação e a explicação de suas características intrínsecas usando métricas e propriedades extraídas da estrutura topológica de seus respectivos grafos. As redes complexas têm sido utilizadas para auxiliar a compreensão da dinâmica de alguns agrupamentos ou fenômenos, como o estudo da estrutura de redes web (VIRTANEN, 2003), estudo do efeito topológico das redes de contato na propagação de doenças infecciosas (PINTO, 2018), classificação de textos (AMANCIO et al, 2013), e análise de redes sociais (GABARDO, 2013), e extração de atributos em sinais de áudio (MELO et al, 2020).

A origem do estudo da Ciência de Redes é geralmente atribuída à concepção do modelo geométrico proposto por Leonhard Euler (1707-1783) para a resolução do histórico enigma das sete pontes de Königsberg. Depois de dois séculos, os matemáticos Paul Erdös e Alfred Rényi, ao combinar os conceitos de teoria dos grafos e teoria das probabilidades, introduziram um novo conceito no estudo de redes: a teoria dos grafos aleatórios (ERDŐS, RÉNYI, 1960). Sete anos depois, Stanley Milgram ao estudar a estrutura de redes de seu experimento com correspondências, descobriu que a distância média entre duas pessoas quaisquer é próxima de seis (MILGRAM, 1967). Esse resultado ficou popularmente conhecido como "os seis graus de separação", e o fenômeno observado como "Efeito Mundo Pequeno". Essa propriedade se tornou muito importante na análise de redes sociais, principalmente depois de Watts e Strogatz (1998) redefinem, com base probabilística, o conceito seis graus de separação, e sugerirem um modelo para redes sociais. Logo em seguida Barabási e Albert (1999), observaram um fenômeno de emergência na topologia das redes sociais, e caracterizaram esse fenômeno como redes

livres de escala. A partir Watts e Strogatz (1998) e Barabási e Albert (1999), os grafos passaram a ser a base matemática da nova teoria – a ciência de redes (NEWMAN; BARABASI; WATTS, 2011).

Por causa da importância que esse estudo tem adquirido, e pelo fato de não ser ainda tão disseminado e conhecido através dos currículos das instituições de nível superior, incluindo o IFBA, esse projeto se torna relevante por buscar preencher uma parte dessa lacuna. Nessa proposta de pesquisa, temos como objetivo estudar as redes complexas através do cálculo de suas métricas topológicas e da visualização sua representação gráfica. Para tanto, realizamos a revisão bibliográfica da teoria de redes, e fundamentos da teoria dos grafos, e selecionamos as principais estruturas e pacotes da linguagem R para modelagem de redes. Depois disso, estruturamos um tutorial onde cada um dos experimentos de modelagem computacional, é construído para auxiliar a compreensão dos conceitos e propriedades apresentados. Na etapa final, realizamos uma oficina onde foi oportunizado o compartilhamento do conhecimento produzido, e difusão da abordagem construída no projeto, entre docentes e graduandos do IFBA. Ao final do projeto foi desenvolvido um tutorial que apresentava conceitos e propriedade de redes complexas, juntamente com os conhecimentos dos comandos e funções da modelagem em R para visualizar, calcular as métricas topológicas das redes-modelo e aplicar o mesmo processo para uma rede original.

METODOLOGIA

- Para a realização desta pesquisa foram desenvolvidas as seguintes etapas:
- Revisão da literatura de Redes Complexas incluindo: origem da teoria a partir dos grafos, métricas de redes, distribuição de graus, estatísticas de distâncias, coeficiente de aglomeração, centralidade, detecção de comunidades, algoritmo de Louvain, Redes Clássicas (Redes aleatórias - Erdös-Renyi, Redes Small-World – Watts-Strogatz- e Redes Scale-free – Barabási-Albert).
- Modelagem computacional de Redes Clássicas e simuladas usando o Software R-Studio.
- Classificação de redes segundo as topologias clássicas;

- Cálculo das principais métricas topológicas de redes: grau médio, distribuição de graus, estatísticas de distâncias, coeficiente de aglomeração, centralidade, detecção de comunidades;
- Análise e interpretação de redes modelo;
- Produção de um tutorial do uso da linguagem R na modelagem computacional, visualização e cálculo de estatísticas de redes;
- Produção de um minicurso de redes Complexas
- Produção de um artigo científico sobre redes complexas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro produto da pesquisa foi o tutorial "Grafos e Redes Complexas: Fundamentos" e modelagem computacional", que pode ser acessado em https://drive.google.com/file/d/1C5g3MgFCigw4zRdUPZdaw0PA9_eRN64W/view?usp=sharing. Na primeira seção "Fundamentos de linguagem R" foram apresentados os primeiros passos para estabelecer uma compreensão básica sobre a linguagem R, ou seja, como baixar e instalar, como navegar na área de trabalho, e como lidar com o pacote igraph, que é um pacote específico para modelagem de grafos e redes complexas. Também foram trabalhados objetos e comandos fundamentais do R, que permitem a criação de vetores, matrizes e listas, que serão utilizados nas seções seguintes para construir e manipular os grafos. No final dessa seção, foram mostradas funções básicas na descrição de algumas propriedades estatísticas a serem trabalhadas, e estruturas de controle de fluxo da linguagem R. Na segunda parte, dedicamos a nossa escrita aos fundamentos de Redes Complexas e Teoria dos Grafos, ao mesmo tempo que apresentamos exemplos práticos de modelagem com o R. A cada abordagem sucinta e prática da teoria, foram elaboradas rotinas para ilustrar o que estava sendo exposto. Foi dada uma visão essencial desde o surgimento da teoria dos grafos, passando pela criação de redes a partir de uma lista de arestas, pela criação de grafos notáveis usando a biblioteca do R. Depois dessa apresentação inicial, realizamos a descrição e a modelagem das principais métricas de redes. Para tanto, definimos cada uma delas, tomando o cuidado de usar linguagem e exemplos acessíveis aos leitores que estão tendo o primeiro contato com grafos. A estratégia usada foi trabalhar, de forma intuitiva os conceitos,

através de construções geométricas e algébricas, que permitissem a compreensão indutiva de cada uma desses conceitos. Desse modo, características como grau, distribuição de graus, densidade, coeficiente de aglomeração (ou transitividade), caminhos e distâncias e modularidade, foram apresentados seguindo essa metodologia. Após trabalharmos as métricas topológicas e estatísticas fundamentais, mostramos as ideias principais, e como o R modela os três tipos fundamentais de Redes complexas: as redes Aleatórias (0Redes Erdös-Renyi), redes Livres de Escala e redes Pequeno Mundo. Como informação suplementar, inserimos um apêndice contendo informações essenciais para a compreensão da classificação de redes complexas, a saber: distribuições de frequência, tipos de distribuição de probabilidade (normal, binomial, Poisson, lei de potência). A Produção da oficina "Modelagem de Grafos Usando Linguagem R" foi pensada para promover a difusão do conhecimento sobre redes complexas e sua modelagem computacional no meio acadêmico. Ela será realizada no formato virtual e terá a carga horária de duas horas. Nesse período serão trabalhados fundamentos de teoria dos grafos, construção de redes, e cálculo de métricas de redes complexa. A oficina foi elaborada para apresentar o conceito de grafos, redes complexas, métricas de redes, e a modelagem computacional no R para criação de grafos e cálculo de métricas. Também usamos a estratégia de exposição com exercícios para estimular os participantes a interagirem durante a oficina.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho "Redes Complexas: da Teoria à Modelagem Computacional", apresenta a trajetória metodológica e os resultados do projeto de pesquisa PIBIC 2020.2021, apoiado pelo IFBA, que trabalhou com o estudo e difusão conceitos fundamentais de Redes Complexas, usando a modelagem computacional com o software R, tendo desenvolvido um tutorial que buscou trazer informações conceituais sólidas, acompanhadas de simulações computacionais para apoiar a compreensão desses conceitos. Ao final foi do projeto foi desenvolvido uma oficina para difusão do conhecimento de redes complexas na comunidade local. Durante a pesquisa, adquirimos a capacidade de fazer o levantamento bibliográfico mais relevante da área de redes complexas, de aprender os fundamentos de programação com a linguagem R, de aprender

as principais funções do pacote igraph, juntamente com a manipulação de seus parâmetros. Na confecção do tutorial tivemos a oportunidade de fazer extrair a essência dos conceitos e traduzi-los de forma mais intuitiva para o leitor iniciante. Ao final do projeto concluímos que, apesar de ter sido um passo inicial, o trabalho de estudar e divulgar redes complexas e teoria dos grafos, nos trouxe um grande enriquecimento no sentido de compreender cada vez mais a importância da multidisciplinaridade para a resolução de problemas e compreensão dos sistemas que existem ai nosso redor.

REFERÊNCIAS

AMANCIO, Diego Raphael; COSTA, Luciano da Fontoura; OLIVEIRA JUNIOR, Osvaldo Novais de. Classificação de textos com redes complexas. 2013.

BARABÁSI, Albert-László; ALBERT, Réka. Emergence of scaling in random networks. science, v. 286, n. 5439, p. 509-512, 1999.

ERDÖS, P.; RÉNYI, A. On the evolution of random graphs. Publ. Math. Inst. Hungar. Acad. Sci, v.5, p. 17–61, 1960.

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

MELO, Dirceu de Freitas Piedade; FADIGAS, Inacio de Sousa; PEREIRA, Hernane Borges de Barros. Graph-based feature extraction: A new proposal to study the classification of music signals outside the time-frequency domain. **PlosOne**, v. 15, n. 11, p. e0240915, 2020.

MILGRAM, Stanley. The small world problem. Psychology today, v. 2, n. 1, p. 60-67, 1967.

NEWMAN, M.; BARABASI, A.-L.;WATTS, D. J. The structure and dynamics of networks. [S.l.]: Princeton University Press, 2011.

PINTO, Eduardo Ribeiro; DE OLIVEIRA CAMPANHARO, Andriana Susana Lopes. Estudo do efeito topológico das redes contato na propagação de doenças infecciosas. Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 6, n. 2, 2018.

VIRTANEN, S. E. (2003). Clustering the chilean web. In Proceedings of the First Latin American Web Congress, pages 229–231. IEEE Computer Society. 1.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of small-world networks. nature, Nature Publishing Group, v. 393, n. 6684, p. 440–442, 1998.