

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO – BACHARELADO

**GERAÇÃO DE REDES COMPLEXAS
COM COMUNIDADES SOBREPOSTAS E
COMUNIDADES HIERÁRQUICAS**

GUSTAVO HENRIQUE SPIESS

BLUMENAU
2022

GUSTAVO HENRIQUE SPIESS

GERAÇÃO DE REDES COMPLEXAS COM COMUNIDADES SOBREPOSTAS E COMUNIDADES HIERÁRQUICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciências da Computação no Centro de de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Ciências da Computação.

Professor Aurelio Faustino Hoppe, Mestre - Orientador

FOLHA DE ASSINATURAS

Dedico esse trabalho a minha noiva, cuja paciência em me ouvir falar desse trabalho tornou-o possível.

AGRADECIMENTOS

A meu padrinho, Maiko Rafael Spiess, pelo sempre presente incentivo ao estudo.

Ao meu orientador, Aurélio Faustino Hoppe, por acreditar na conclusão desse trabalho.

A minha família, por todos os anos de apoio que foram necessários para chegar até aqui.

Aos amigos que fiz no percurso do bacharelado, pelo apoio recebido.

Aos professores do Departamento de Sistemas e Computação da Universidade Regional de Blumenau por suas contribuições durante os semestres letivos.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros
de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Palavras-chave: Redes complexas. Geração de redes complexas. Comunidades. Comunidades sobrepostas. Comunidades hierárquicas.

ABSTRACT

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Keywords: Complex networks. Complex networks generation. Communities. Overlapping communities. Hierarchical communities

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo	16
------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo	17
------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exemplo	17
------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IE – Internet Explorer

QE – Qternet Explorer

SUMÁRIO

1	Introdução	14
1.1	Objetivos	15
1.2	Estrutura	15
2	Fundamentação teórica	16
3	Considerações finais	18
	Referências	19

1 INTRODUÇÃO

Redes complexas, como definido por [Metz et al. \(2007\)](#), são grafos com uma topologia não trivial. Isso é, são grafos onde parte ou toda a informação de interesse está contida não nos vértices e arestas individualmente, mas em propriedades do conjunto de vértices e arestas.

Como apontado por [Girvan e Newman \(2002\)](#), um dos sistemas do mundo real que se pode modelar em uma rede complexa é o conjunto de relações sociais. Uma modelagem simplista desse sistema apresenta é a representação de cada indivíduo como um vértice, e vértices adjacentes sendo pares de indivíduos que se conhecem. Nesse tipo de sistema um sub grafo completo, denominado clique ([FORTUNATO, 2010](#)), pode ser interpretada como uma propriedade relevante a indicação de que desse conjunto de indivíduos onde todos conhecem todos.

[Girvan e Newman \(2002\)](#) também aponta que outros sistemas, como cadeias alimentares, cadeias de metabolização, redes de transmissão elétrica e redes de computadores podem ser representadas como redes complexas. Muitas vezes propriedades que se observam em redes complexas de um domínio estão presentes também nas redes complexas de outros domínios, mas com interpretações distintas sobre o objeto modelado. O trabalho de [Fortunato \(2010\)](#) indica isso na discussão de múltiplas interpretações do que constitui uma comunidade em uma rede complexa, dividindo-se principalmente em características estruturais, e por semelhança de vértice.

No exemplo do trabalho desenvolvido por [Larger et al. \(2015\)](#), as duas interpretações se encontram presentes, como é característica da literatura a despeito da geração de redes complexas. [Larger et al. \(2015\)](#) descreve o que é chamado na literatura de um modelo de geração algorítmica de redes complexas onde os vértices do grafo estão dispostos em uma nuvem de ponto e a distribuição deles em diferentes comunidades leva em conta sua posição espacial, e as arestas são construídas em função desse pertencimento a uma comunidade. [Akoglu e Faloutsos \(2009\)](#) descreve um modelo mais primitivo, que não realiza a atribuição explícita de comunidades, mas que gera um grafo com essas comunidades ainda assim.

Indica-se, observando o trabalho de [Fortunato \(2010\)](#) de que ha uma vasta literatura a respeito dos processos de detecção dessas comunidades. Oberando-se a literatura da qual os trabalhos de [Larger et al. \(2015\)](#), [Akoglu e Faloutsos \(2009\)](#) e [Slota et al. \(2019\)](#), é indicada a existência dos modelos necessários para a geração de redes complexas com comunidades. No entanto propriedades adjacentes a presença de comunidades para os quais

existe literatura a respeito da detecção, como comunidades hierárquicas e comunidades sobrepostas, parecem estar pouco presentes em modelos de geradores de redes complexas.

1.1 OBJETIVOS

Dado esse contexto, o objetivo do trabalho é a adaptação dos modelos presentes na literatura de geração de redes complexas para a incorporação de comunidades sobrepostas e comunidades hierárquicas.

Os objetivos específicos são:

- a) A construção de um modelo algorítmico de geração de redes complexas que inclua a propriedade de comunidades.
- b) A especificação, dentro desse modelo, de uma *ground truth* de quais vértices pertencem a quais comunidades.
- c) A possibilidade, dentro desse modelo, de comunidades hierárquicas.
- d) A possibilidade, dentro desse modelo, de comunidades sobrepostas.
- e) A representação, dentro desse modelo, dos vértices como uma nuvem de pontos, para a definição de semelhança de vértices por distância.

1.2 ESTRUTURA

Esse trabalho se estrutura em quatro capítulos sendo o primeiro uma introdução aos temas abordados, bem como a apresentação dos objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, descrevendo o estado da arte do objeto de estudo.

O terceiro capítulo discute o desenvolvimento do modelo algorítmico proposto, incluindo ferramentas e técnicas utilizadas. Também são apresentados os blocos de pseudo código do modelo.

O quarto capítulo compõe os dados obtidos na avaliação dos resultados, bem como quaisquer discussões de implementações futuras ou outras formas de continuação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No estudo de redes complexas, é relevante o entendimento de algumas terminologias que serão utilizadas mais à frente. É definido por Fortunato (2010) o conceito de *clique*, um clique se refere à um conjunto de vértices que forma um sub grafo completo. Definições ligeiramente distintas podem ser utilizadas, como apontado pelo próprio Fortunato (2010), dependendo do contexto, por exemplo é apresentada a definição de um *n-clique*, como sendo um subgrafo onde todos os vértices estão a n ou menos arestas de distância. Ou ainda um *k-clique chain*, sendo a união de dois cliques com k ou mais vértices que compartilham um ou mais desses vértices.

Outra terminologia relevante é o conceito de partição, definido por Fortunato (2010) como sendo a divisão dos vértices de um grafo em conjuntos distintos de forma que todos os vértices pertençam a exatamente uma partição. Essas duas definições são relevantes na forma como elas interagem com a definição de comunidade. Em alguns contextos uma comunidade pode ser definida como sendo necessariamente um *clique* (FORTUNATO, 2010), ou em outros contextos a divisão das comunidades no grafo deve de representar uma partição (VIEIRA; XAVIER; EVSUKOFF, 2020; FORTUNATO, 2010)

Mais uma definição relevante pode ser encontrada no trabalho de Fortunato (2010). O autor define triângulo como sendo um conjunto de três vértices conectados entre si, i.e. um *3-clique*. E a contra parte dessa definição, o coeficiente de aglomeração, definido como a proporção em que as triplas conexas de um grafo são triângulos. Isso é, para um coeficiente de aglomeração igual a meio, isso representa que para quaisquer três vértices que estejam conectados entre si, existe cinquenta por cento de chance de esses vértices formarem um triângulo.

Por fim, no estudo de redes complexas, existe também a definição de um grafo aleatório. Um grafo aleatório é produzido a partir de um grafo qualquer, mantendo a mesma quantidade de vértices e mantendo o mesmo grau, mas considerando que os vértices estão conectados baseados em uma probabilidade uniformemente distribuída. Um grafo aleatório é geralmente utilizado para comparação, servindo como exemplo nulo, no sentido de que ele não apresenta características topológicas relevantes (FORTUNATO, 2010).

Figura 1 – Exemplo

Lorem

Quadro 1 – Exemplo
Lorem

Tabela 1 – Exemplo
Lorem

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

REFERÊNCIAS

- AKOGLU, L.; FALOUTSOS, C. Rtg: A recursive realistic graph generator using random typing. In: SPRINGER. *Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases*. [S.l.], 2009. p. 13–28. Citado na página [14](#).
- FORTUNATO, S. Community detection in graphs. *Physics reports*, Elsevier, v. 486, n. 3-5, p. 75–174, 2010. Citado 2 vezes nas páginas [14](#) e [16](#).
- GIRVAN, M.; NEWMAN, M. E. Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the national academy of sciences*, National Acad Sciences, v. 99, n. 12, p. 7821–7826, 2002. Citado na página [14](#).
- LARGERON, C. et al. Generating attributed networks with communities. *PloS one*, Public Library of Science, v. 10, n. 4, p. e0122777, 2015. Citado na página [14](#).
- METZ, J. et al. Redes complexas: conceitos e aplicações. São Carlos, SP, Brasil., 2007. Citado na página [14](#).
- SLOTA, G. M. et al. Scalable generation of graphs for benchmarking hpc community-detection algorithms. In: *Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–14. Citado na página [14](#).
- VIEIRA, V. da F.; XAVIER, C. R.; EVSUKOFF, A. G. A comparative study of overlapping community detection methods from the perspective of the structural properties. *Applied Network Science*, SpringerOpen, v. 5, n. 1, p. 1–42, 2020. Citado na página [16](#).

AGRADECIMENTOS

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.