

Redes complexas

Análise de redes

Aluno : Leonardo Ribeiro

Link para os algoritmos que fiz para gerar e analisar as redes (Lá tem o plot de todas as redes geradas):

<https://github.com/L30-R1B/Analise-elaborada-redes-complexas.git>

Redes reais escolhidas

Facebook

Rede de dados que consiste em 'círculos' (ou 'listas de amigos') do Facebook. Os dados do Facebook foram coletados dos participantes da pesquisa usando o [Aplicativo facebook](#).

<https://snap.stanford.edu/data/ego-Facebook.html>

- **Resultados (bruto)**

AVERAGE_CLUSTERING=0.6055467186200865

AVERAGE_DEGREE=43.69101262688784

AVERAGE_DISTANCE=3.6925068496963913

- **Análise elaborada**

Analisando os resultados obtidos para as redes de "círculos" ou "listas de amigos" do Facebook, observa-se algumas características importantes dessas redes sociais:

1. Average Clustering (0.606)

- O coeficiente de agrupamento médio é relativamente alto, o que indica que os amigos de um usuário tendem a ser amigos entre si.
- Explicação: Em redes sociais como o Facebook, é comum que amigos em comum estejam conectados, formando pequenos "grupos" ou "círculos". Um coeficiente de agrupamento alto reflete a forte tendência de fechamento de triângulos, ou seja, se A é amigo de B e B é amigo de C, há uma alta probabilidade de A também ser amigo de C.

2. Average Degree (43.691)

- O grau médio de 43.691 indica que, em média, cada usuário tem cerca de 44 amigos.
- Explicação: Este grau médio reflete o tamanho típico das redes pessoais em plataformas como o Facebook. Pode-se inferir que as listas de amigos não são excessivamente grandes, o que sugere uma rede social moderadamente densa, onde cada usuário interage com um número significativo, mas não excessivo, de outros usuários.

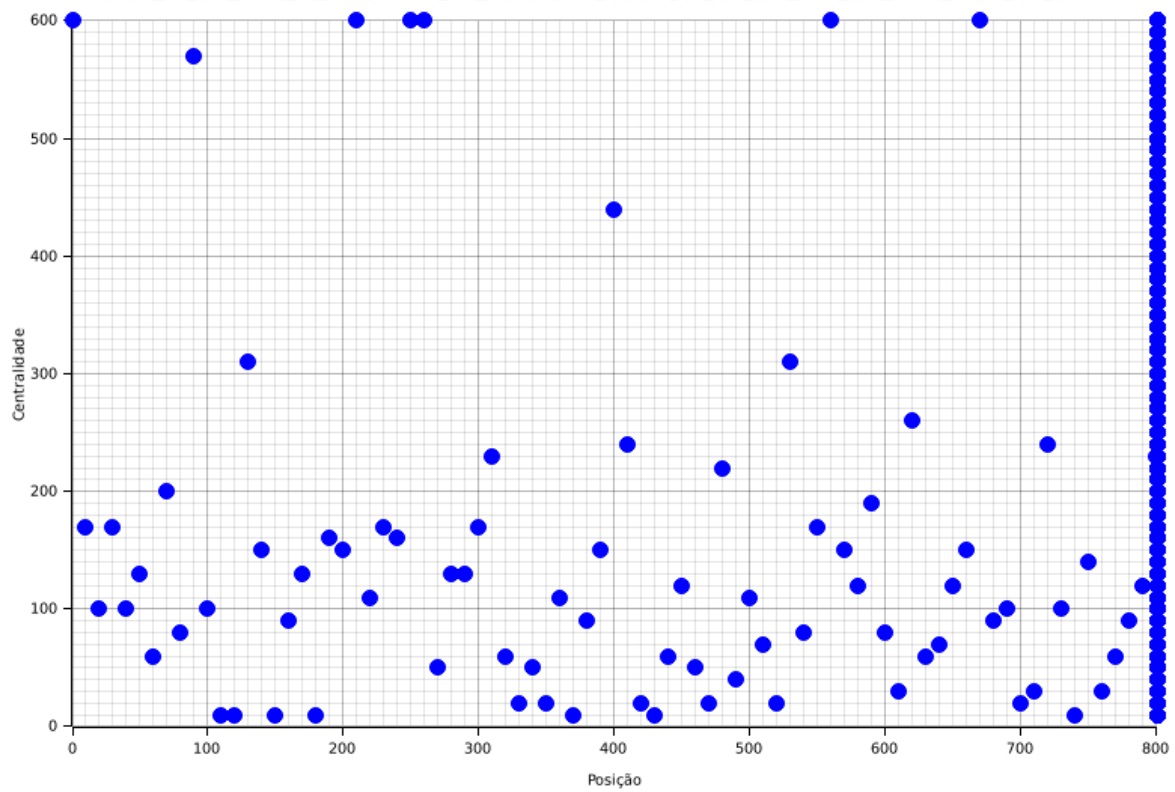
3. Average Distance (3.693)

- A distância média entre dois usuários na rede é de aproximadamente 3.7 passos.
- Explicação: Esta métrica reflete o fenômeno do "mundo pequeno" em redes sociais, onde qualquer pessoa está conectada a outra por um pequeno número de passos (ou conexões). Mesmo em uma rede grande, a distância média relativamente baixa indica que os usuários estão próximos uns dos outros em termos de conexões, facilitando a propagação rápida de informações e a manutenção de interações sociais.

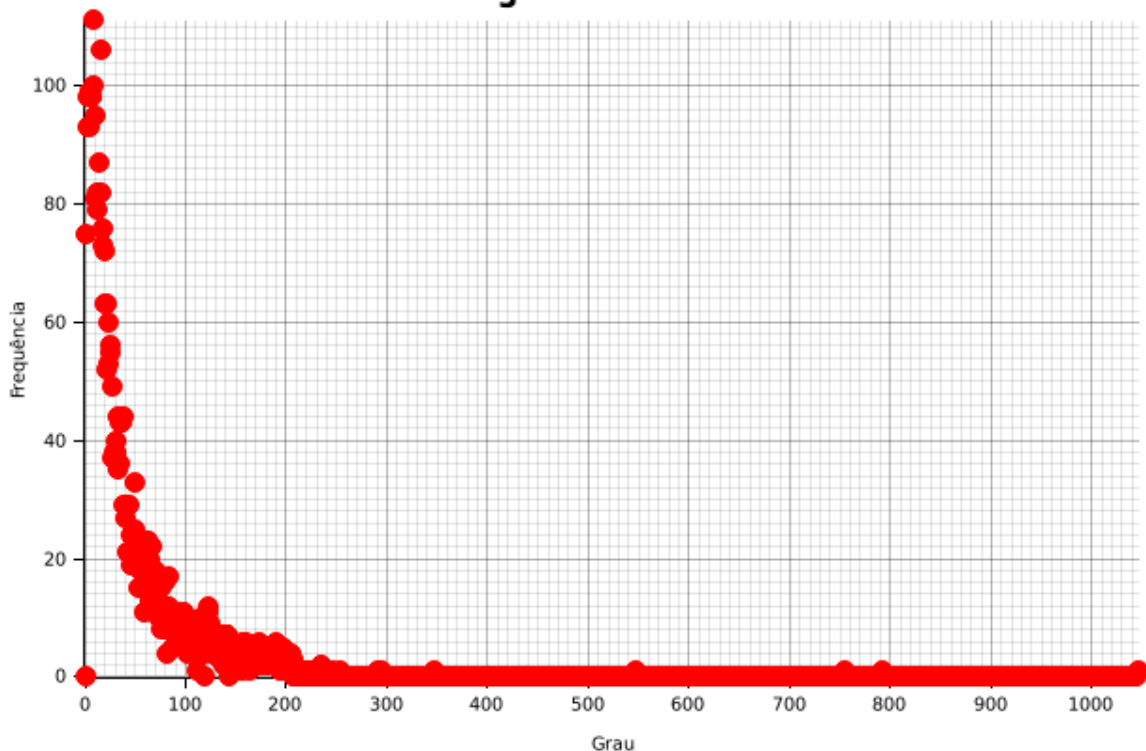
Conclusões Gerais:

- Alta Densidade e Conectividade: A combinação de um alto coeficiente de agrupamento e uma distância média baixa sugere que a rede de amigos do Facebook é densa e altamente conectada, o que facilita interações rápidas e o fortalecimento de laços sociais.
 - Efeito de "Círculos Sociais": As listas de amigos provavelmente refletem diferentes "círculos sociais" (família, colegas de trabalho, amigos da escola, etc.), que são grupos densamente interconectados dentro da rede maior.
-
- **Plot:**

Rede com Centralidade de Grau



Distribuição de Graus



Colaborações científicas

Rede de colaboração Arxiv GR-QC (General Relativity and Quantum Cosmology) é da e-print [arXiv](https://arxiv.org/) e abrange colaborações científicas entre autores submetidos à categoria Relatividade Geral e Cosmologia Quântica.

<https://snap.stanford.edu/data/ca-GrQc.html>

- **Resultados (bruto)**

AVERAGE_CLUSTERING=0.42696359388481464

AVERAGE_DEGREE=11.054559328500572

AVERAGE_DISTANCE=6.048514960757815

- **Análise elaborada**

A análise da rede de colaboração científica do Arxiv GR-QC (General Relativity and Quantum Cosmology) revela algumas características importantes sobre a estrutura dessa rede:

- 1. Average Clustering (0.427)**

- O coeficiente de agrupamento médio é moderadamente alto, indicando que os pesquisadores que colaboram com um autor tendem a colaborar também entre si.
- Explicação: Em redes de colaboração científica, um coeficiente de agrupamento significativo sugere que existe uma tendência de formação de "clusters" ou grupos de colaboração. Isso pode ocorrer quando grupos de pesquisadores trabalham juntos em projetos ou publicações específicas, reforçando a interconectividade dentro desses grupos.

2. Average Degree (11.055)

- O grau médio de aproximadamente 11 indica que, em média, cada autor colabora com cerca de 11 outros autores.
- Explicação: Este valor reflete a densidade de colaboração na rede. Um grau médio moderado sugere que os autores tendem a colaborar com um grupo seleto de outros pesquisadores, o que é comum em disciplinas científicas especializadas, onde colaborações são formadas com base em interesses de pesquisa compartilhados.

3. Average Distance (6.049)

- A distância média entre dois autores na rede é de aproximadamente 6 passos.
- Explicação: Esta métrica indica que, mesmo em uma rede relativamente grande, os pesquisadores estão conectados por um pequeno número de colaborações intermediárias. Isso é característico de redes de colaboração científica, onde a "distância" entre dois autores (em termos de colaborações) tende a ser curta devido à interconectividade das subcomunidades científicas.

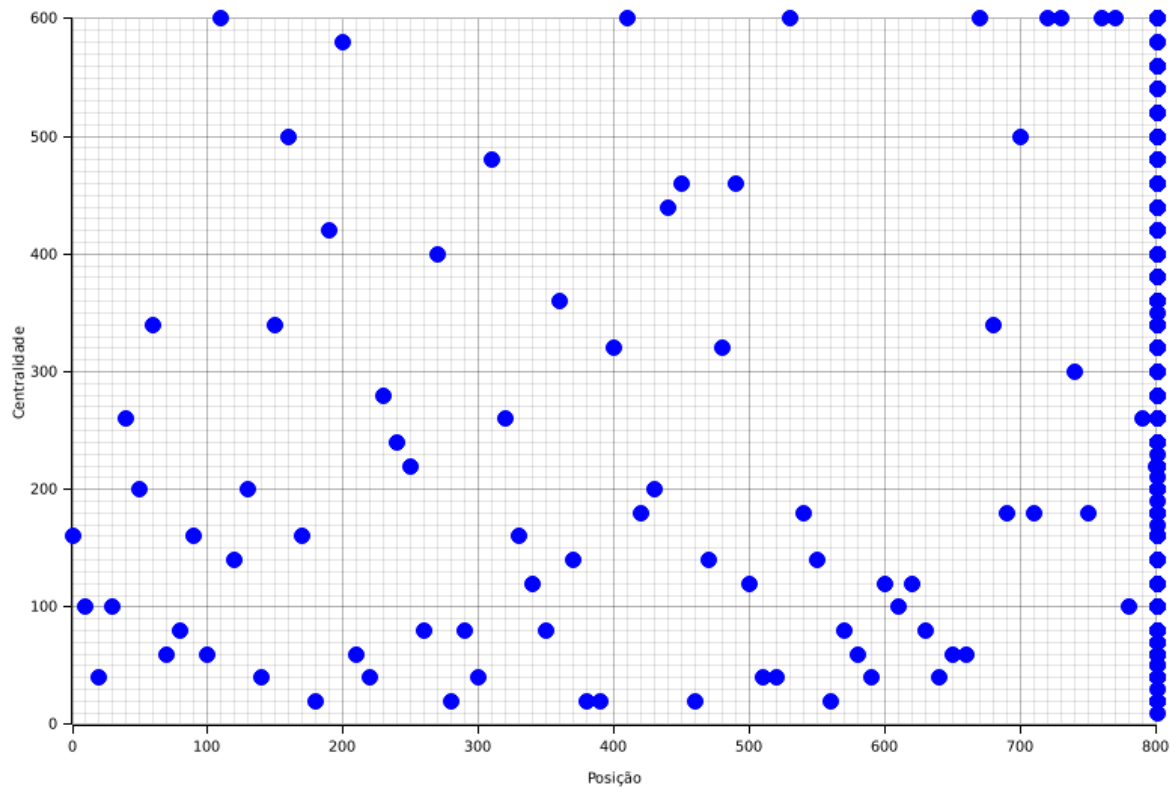
Conclusões Gerais:

- Estrutura Moderadamente Clusterizada: A rede GR-QC apresenta uma estrutura onde grupos de pesquisadores colaboram de forma mais intensa dentro de seus clusters, mas ainda mantêm uma conexão relativamente curta com o restante da rede. Isso facilita a disseminação de conhecimento e a formação de novas colaborações.
- Colaborações Focadas: O grau médio sugere que os autores mantêm um número razoável de colaborações, possivelmente com uma ênfase em projetos específicos ou áreas de pesquisa dentro de Relatividade Geral e Cosmologia Quântica.
- Propriedade de Mundo Pequeno: A baixa distância média é um indicativo de que a rede possui características de "mundo pequeno",

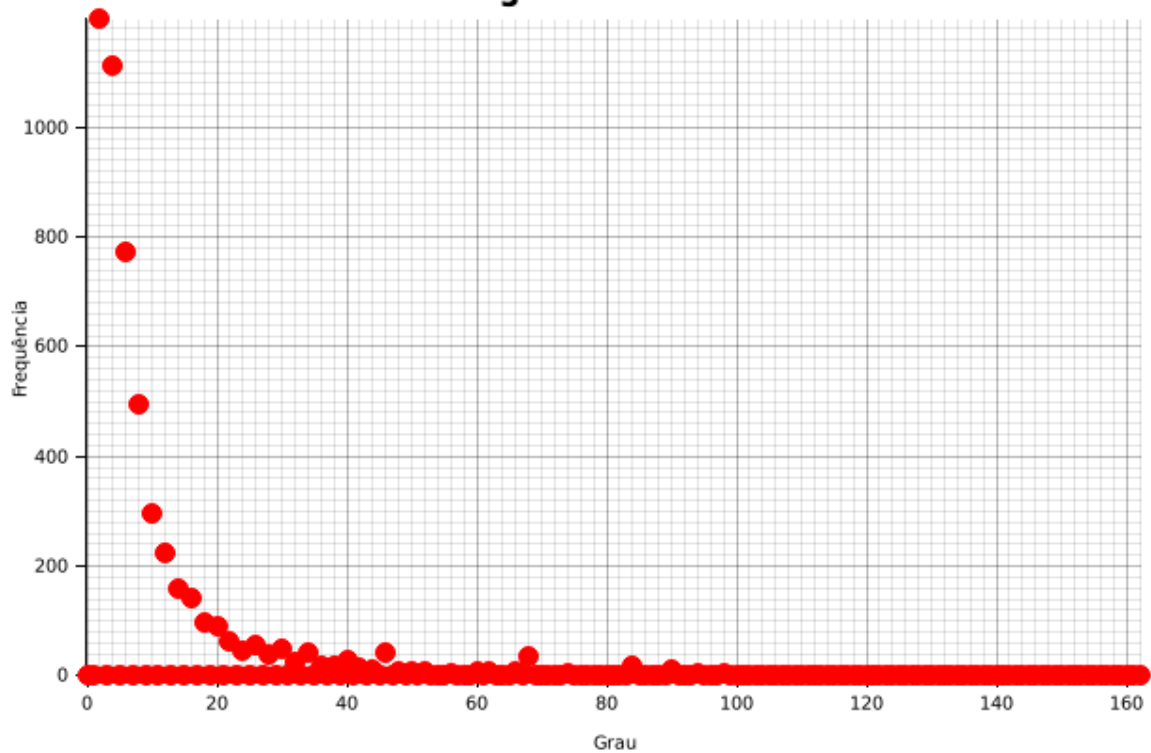
onde qualquer autor pode ser alcançado por meio de um número limitado de colaborações intermediárias, facilitando a comunicação e a troca de ideias na comunidade científica.

- **Plot**

Rede com Centralidade de Grau



Distribuição de Graus



Redes Erdos-Renyi (n = 1000)

Resultados (bruto)

Erdos-Renyi

P equal 0.1

AVERAGE_CLUSTERING=0.10020751226464145

AVERAGE_DEGREE=100.064

AVERAGE_DISTANCE=1.89985985985986

P equal 0.2

AVERAGE_CLUSTERING=0.2001201477626434

AVERAGE_DEGREE=199.788

AVERAGE_DISTANCE=1.800012012012012

P equal 0.3

AVERAGE_CLUSTERING=0.30052701887920874

AVERAGE_DEGREE=300.304

AVERAGE_DISTANCE=1.6993953953953953

P equal 0.4

AVERAGE_CLUSTERING=0.3998680438886712

AVERAGE_DEGREE=399.464

AVERAGE_DISTANCE=1.6001361361361361

P equal 0.5

AVERAGE_CLUSTERING=0.4991174387155794

AVERAGE_DEGREE=498.526

AVERAGE_DISTANCE=1.500974974974975

P equal 0.6

AVERAGE_CLUSTERING=0.5989544766302242

AVERAGE_DEGREE=598.366

AVERAGE_DISTANCE=1.4010350350350351

P equal 0.7

AVERAGE_CLUSTERING=0.7001873430271539

AVERAGE_DEGREE=699.462

AVERAGE_DISTANCE=1.299837837837838

P equal 0.8

AVERAGE_CLUSTERING=0.8002617294056862

AVERAGE_DEGREE=799.434


```
AVERAGE_DISTANCE=1.1997657657657657  
  
P equal 0.9  
AVERAGE_CLUSTERING=0.9004401501517536  
AVERAGE_DEGREE=899.548  
AVERAGE_DISTANCE=1.0995515515515515
```

Análise elaborada

A análise das redes de Erdős-Rényi com parâmetro de probabilidade P variando de 0.1 até 0.9 mostra o comportamento dessas redes à medida que a probabilidade de uma conexão entre dois nós quaisquer aumenta. Vou explorar cada métrica:

1. Average Clustering

- O coeficiente de agrupamento médio (Average Clustering) aumenta linearmente conforme PPP aumenta.
- **Explicação:** No modelo Erdős-Rényi, as arestas são formadas de maneira independente entre cada par de nós com uma probabilidade PPP. Isso significa que à medida que PPP aumenta, a probabilidade de formação de triângulos (e, portanto, o coeficiente de agrupamento) também aumenta de maneira quase linear. Com PPP próximo de 1, a rede se aproxima de uma clique, onde cada nó está conectado a quase todos os outros, resultando em um alto coeficiente de agrupamento.

2. Average Degree

- O grau médio (Average Degree) também aumenta linearmente com PPP.
- **Explicação:** Como PPP representa a probabilidade de qualquer par de nós estar conectado, o grau médio é diretamente proporcional a PPP multiplicado pelo número total de nós na rede. Isso explica o aumento linear do grau médio com o aumento de PPP.

3. Average Distance

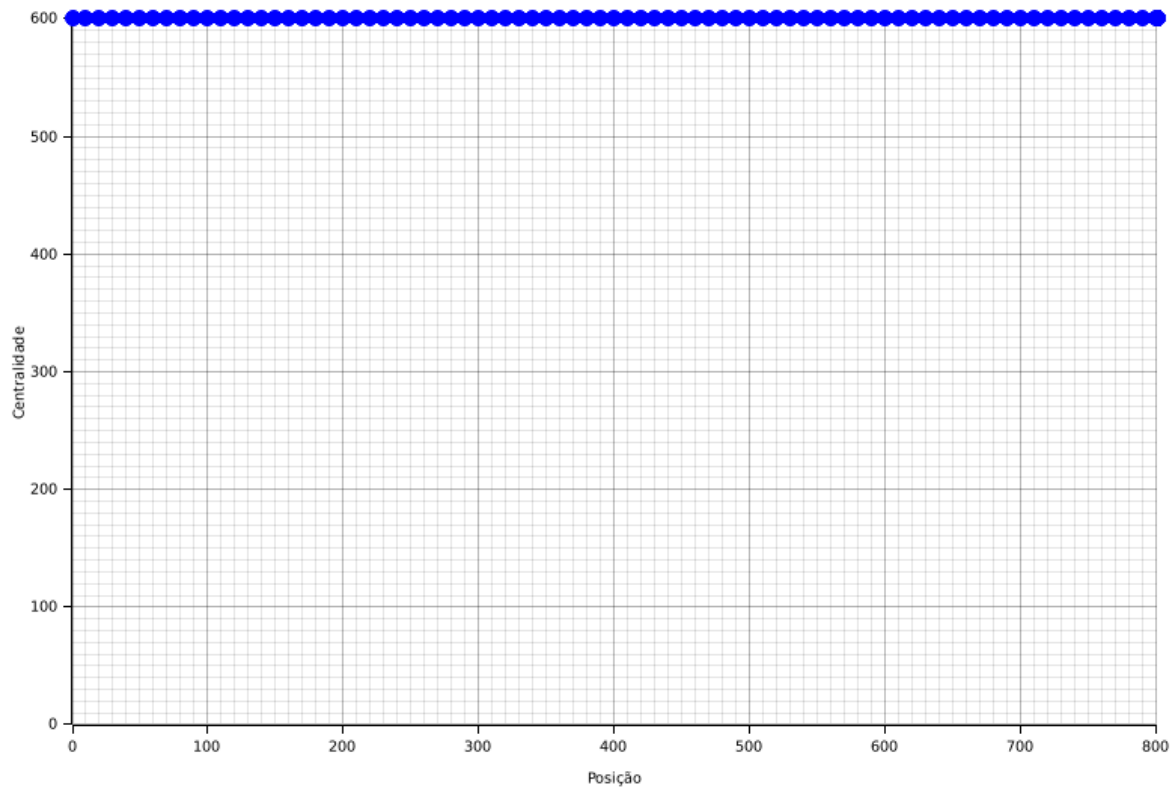
- A distância média (Average Distance) diminui à medida que PPP aumenta.
- **Explicação:** Em uma rede de Erdős-Rényi, à medida que PPP aumenta, mais arestas conectam diretamente os nós, criando caminhos mais curtos. Como resultado, a distância média entre dois nós quaisquer diminui. Quando PPP se aproxima de 1, a rede se torna densamente conectada, resultando em distâncias médias muito baixas, próximas de 1.

Conclusões Gerais:

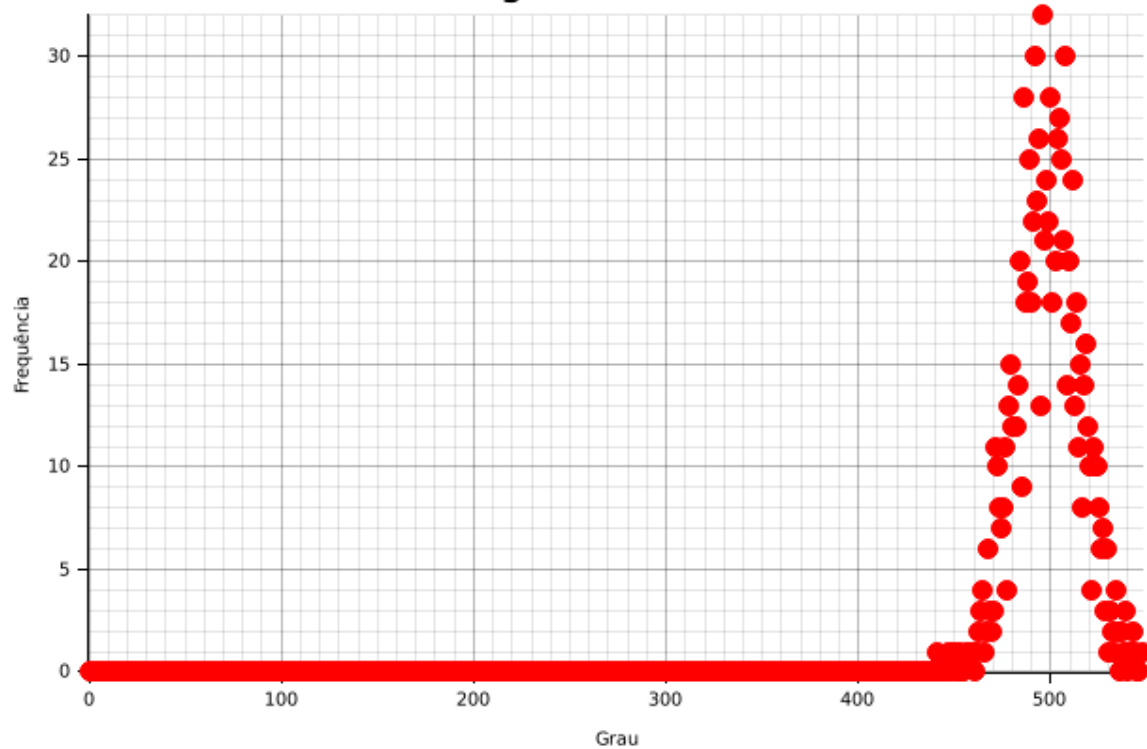
- **Transição de Redes Esparsas para Densas:** O modelo de Erdős-Rényi mostra uma clara transição de redes esparsas, com poucas conexões e maiores distâncias médias, para redes densas, com muitas conexões e pequenas distâncias médias. Esta transição é gradual e linear, refletida nas mudanças nas métricas de agrupamento e grau médio.
- **Aleatoriedade e Conectividade Global:** Em redes de Erdős-Rényi, o aumento da aleatoriedade (aumento de PPP) leva a uma conectividade global maior, diminuindo a distância média entre nós e aumentando a quantidade de triângulos. No entanto, o padrão de crescimento linear dessas métricas é diferente dos modelos de Watts-Strogatz e Barabási-Albert, onde mudanças nas estruturas de rede podem ser mais drásticas.

Plot ($p = 0.5$)

Rede com Centralidade de Grau



Distribuição de Graus



Redes Watts-Strogatz (n = 1000, k = 6)

Resultados (bruto)

Watts-Strogatz

P equal 0.1

AVERAGE_CLUSTERING=0.4317007936507932

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=6.052464464464465

P equal 0.2

AVERAGE_CLUSTERING=0.3093555555555556

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=5.085099099099099

P equal 0.3

AVERAGE_CLUSTERING=0.2087736652236653

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=4.648570570570571

P equal 0.4

AVERAGE_CLUSTERING=0.13740930735930726

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=4.412818818818819

P equal 0.5

AVERAGE_CLUSTERING=0.0731241702741702

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=4.257243243243243

P equal 0.6

AVERAGE_CLUSTERING=0.042686796536796516

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=4.1745305305305305

P equal 0.7

AVERAGE_CLUSTERING=0.018057070707070702

AVERAGE_DEGREE=6

AVERAGE_DISTANCE=4.139007007007007

P equal 0.8

AVERAGE_CLUSTERING=0.011439876789876787

```
AVERAGE_DEGREE=6
AVERAGE_DISTANCE=4.1254254254254255

P equal 0.9
AVERAGE_CLUSTERING=0.005108513708513709
AVERAGE_DEGREE=6
AVERAGE_DISTANCE=4.110254254254254
```

Análise elaborada

A análise das redes de Watts-Strogatz com o parâmetro de reconfiguração PPP variando de 0.1 até 0.9 revela o comportamento das redes ao longo de diferentes graus de aleatoriedade. Aqui está o que se observa:

1. Average Clustering

- O coeficiente de agrupamento médio (Average Clustering) diminui significativamente à medida que PPP aumenta.
- **Explicação:** Quando PPP é baixo (próximo de 0.1), a rede mantém uma estrutura mais regular, semelhante a um anel, onde a maioria das conexões é local. Isso resulta em um alto coeficiente de agrupamento. À medida que PPP aumenta, as conexões começam a ser mais aleatórias, quebrando os triângulos e, conseqüentemente, reduzindo o coeficiente de agrupamento. Com PPP próximo de 1, a rede se aproxima de um grafo aleatório, onde o coeficiente de agrupamento é muito baixo.

2. Average Degree

- O grau médio (Average Degree) permanece constante em 6 em todas as configurações de PPP.
- **Explicação:** O modelo de Watts-Strogatz mantém o grau médio constante, pois o processo de reconfiguração não altera o número de arestas, apenas redistribui as conexões entre os nós.

3. Average Distance

- A distância média (Average Distance) diminui à medida que PPP aumenta, mas de forma menos acentuada à medida que PPP se aproxima de 1.
- **Explicação:** Com valores baixos de PPP, a rede tem muitas conexões locais, resultando em uma maior distância média entre nós. À medida que PPP aumenta, algumas dessas conexões se tornam mais distantes, criando "atalhos" que reduzem a distância média entre os nós. Quando PPP é

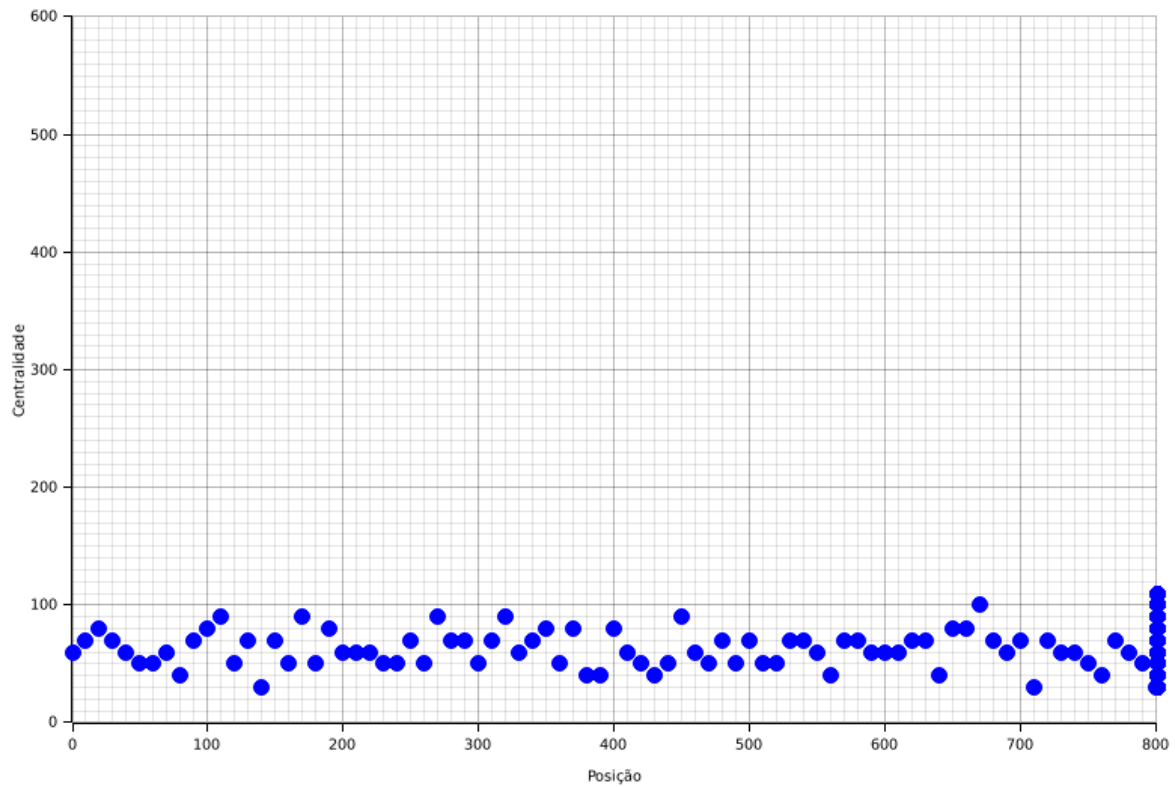
próximo de 1, a rede se comporta quase como um grafo aleatório, onde a distância média é baixa e pouco variável.

Conclusões Gerais:

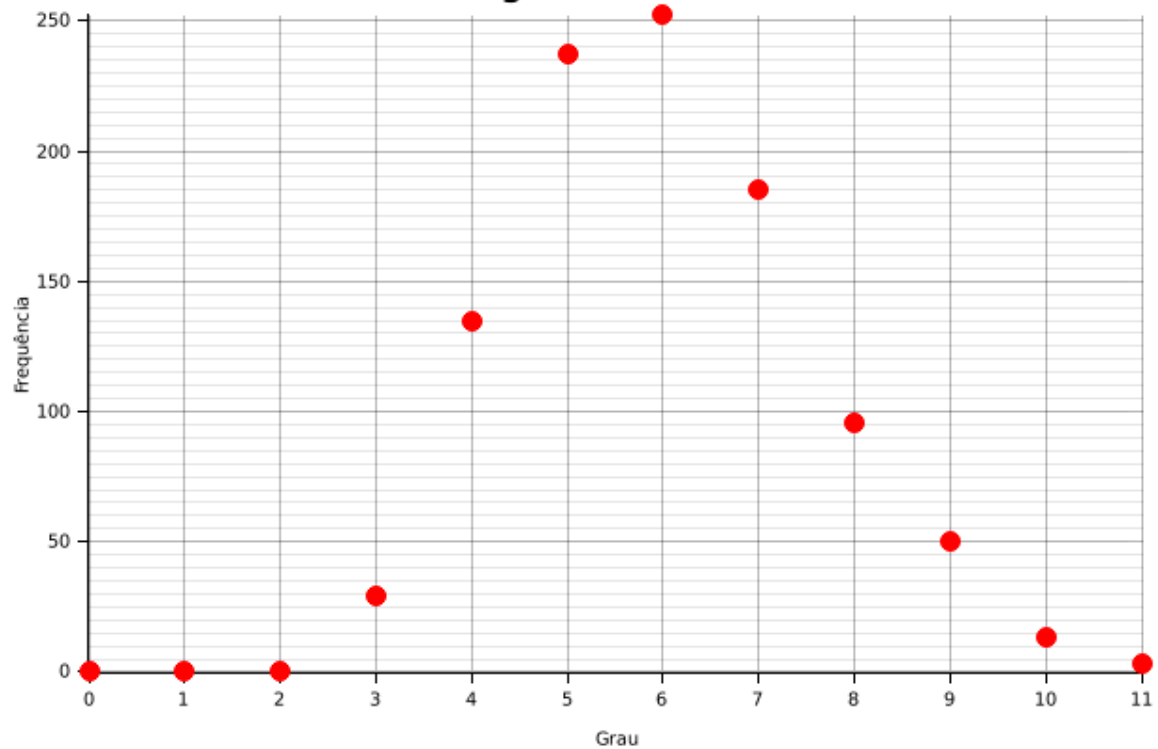
- **Transição Ordenado-Aleatório:** O modelo de Watts-Strogatz ilustra uma transição de uma rede altamente estruturada para uma rede quase aleatória à medida que PPP aumenta. Essa transição é refletida principalmente no coeficiente de agrupamento, que decai drasticamente, e na distância média, que se reduz à medida que mais atalhos são introduzidos na rede.
- **"Mundo Pequeno":** As redes de Watts-Strogatz mostram a característica de "mundo pequeno", onde uma pequena quantidade de reconfiguração (aumento em PPP) pode reduzir significativamente a distância média sem uma redução proporcional no coeficiente de agrupamento. Isso permite que essas redes mantenham alta localidade ao mesmo tempo que têm boas propriedades de conectividade global.

Plot (P = 0.5)

Rede com Centralidade de Grau



Distribuição de Graus



Babarási-Albert (m = 4)

Resultados (bruto)

Barabási-Albert

N equal 1000

AVERAGE_CLUSTERING=0.03837474428630482

AVERAGE_DEGREE=7.968

AVERAGE_DISTANCE=3.171257257257257

N equal 2000

AVERAGE_CLUSTERING=0.021337184606406354

AVERAGE_DEGREE=7.984

AVERAGE_DISTANCE=3.406182091045523

N equal 3000

AVERAGE_CLUSTERING=0.014568961513778504

AVERAGE_DEGREE=7.989333333333334

AVERAGE_DISTANCE=3.547078359453151

N equal 4000

AVERAGE_CLUSTERING=0.013452151510318078

AVERAGE_DEGREE=7.992

AVERAGE_DISTANCE=3.611173293323331

N equal 5000

AVERAGE_CLUSTERING=0.010248692159733966

AVERAGE_DEGREE=7.9936

AVERAGE_DISTANCE=3.694517543508702

N equal 6000

AVERAGE_CLUSTERING=0.009115748679105268

AVERAGE_DEGREE=7.994666666666666

AVERAGE_DISTANCE=3.735418291937545

N equal 7000

AVERAGE_CLUSTERING=0.007107057855708211

AVERAGE_DEGREE=7.9954285714285716

AVERAGE_DISTANCE=3.8224450839915907

N equal 8000


```
AVERAGE_CLUSTERING=0.0069826958886400935
AVERAGE_DEGREE=7.996
AVERAGE_DISTANCE=3.8364547755969496

N equal 9000
AVERAGE_CLUSTERING=0.006366240778380991
AVERAGE_DEGREE=7.9964444444444444
AVERAGE_DISTANCE=3.896838611697596

N equal 10000
AVERAGE_CLUSTERING=0.006214001348392672
AVERAGE_DEGREE=7.9968
AVERAGE_DISTANCE=3.89000700070007
```

Análise elaborada

A análise dos resultados para as redes Barabási-Albert revela algumas tendências interessantes relacionadas ao comportamento típico dessas redes à medida que o número de nós (N) aumenta:

1. Average Clustering

- O coeficiente de agrupamento médio (Average Clustering) diminui conforme o tamanho da rede aumenta.
- **Explicação:** O modelo Barabási-Albert gera redes com crescimento preferencial e sem ligações de triângulos (amigos de amigos), resultando em um coeficiente de agrupamento relativamente baixo. Com o aumento do número de nós, essa tendência se acentua, pois a probabilidade de novas conexões formarem triângulos diminui.

2. Average Degree

- O grau médio (Average Degree) permanece praticamente constante em torno de 7.99, independentemente do valor de N.
- **Explicação:** No modelo Barabási-Albert, cada novo nó se conecta a um número fixo de nós existentes (no caso, aproximadamente 8). Portanto, o grau médio da rede não depende diretamente do número total de nós.

3. Average Distance

- A distância média (Average Distance) aumenta à medida que o número de nós aumenta.

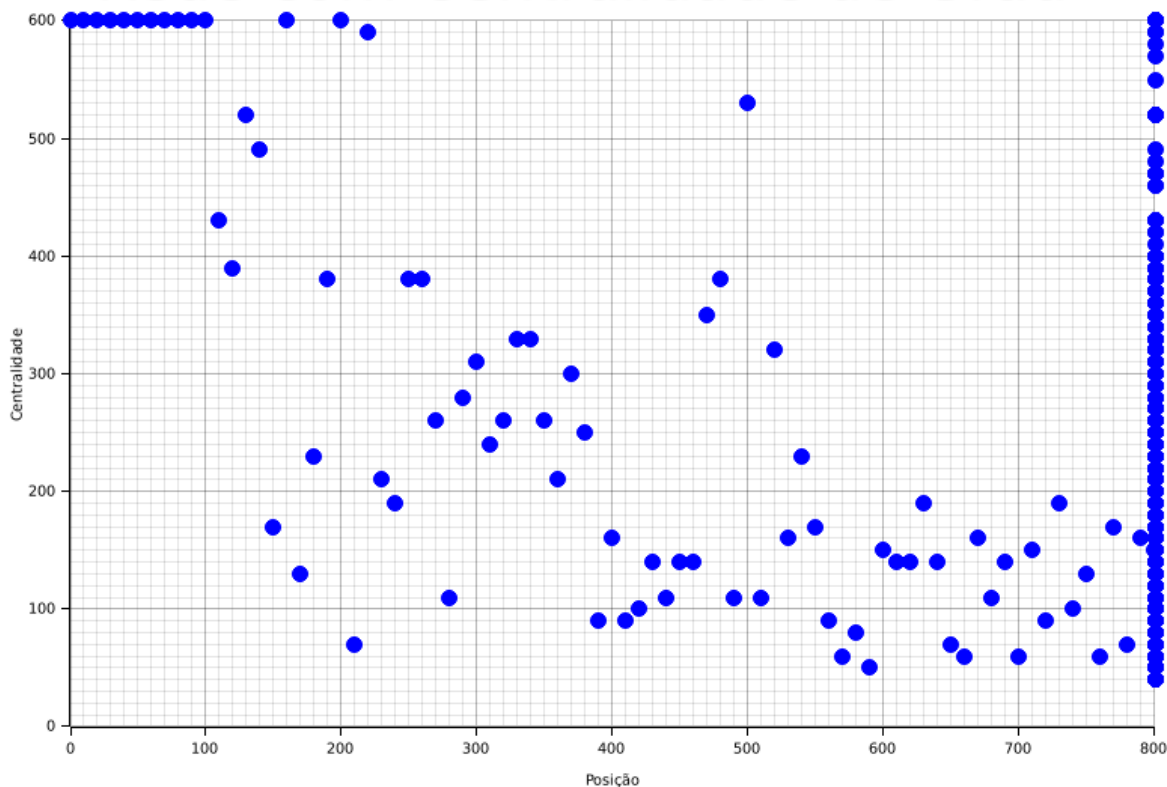
- **Explicação:** À medida que a rede cresce, a distância média entre dois nós quaisquer também aumenta. Isso é esperado, pois em uma rede maior, os caminhos mais curtos tendem a ser mais longos. Essa relação segue a lógica de "mundo pequeno" presente em redes complexas, onde a distância cresce lentamente em relação ao número total de nós.

Conclusões Gerais:

- **Escalabilidade:** A rede Barabási-Albert demonstra características de escalabilidade, onde o grau médio se mantém constante, mas outras propriedades, como o coeficiente de agrupamento e a distância média, mudam conforme a rede cresce.
- **Conectividade:** O fato de o coeficiente de agrupamento diminuir e a distância média aumentar com o crescimento da rede reflete o comportamento típico de redes geradas por processos de crescimento preferencial, onde novos nós tendem a se conectar a nós já bem conectados, formando uma estrutura hierárquica e menos "agrupada".

Plot (N = 5000)

Rede com Centralidade de Grau



Distribuição de Graus

