



Universidade de São Paulo – São Carlos
Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação
Redes Complexas para a Ciência da Computação



Comparação de Algoritmos de Detecção de Comunidades

Glenda Michele Botelho
Fabiano Berardo de Sousa



Roteiro

- Introdução
- Proposta do Projeto
- Experimentos
 - Medidas avaliadas
 - Algoritmos comparados
 - Bases utilizadas
 - Resultados
- Conclusões



Introdução

- **Detecção de Comunidades**
 - **Aprendizado de Máquina**
 - Aprendizado Não-Supervisionado.
 - Técnicas de *Clustering*.
- **Relevância**
 - **Redes Complexas modelam sistemas reais**
 - Extração de características específicas.
 - Estudo da organização e evolução dinâmica da rede.



Introdução

- **Vários Algoritmos:**
 - Divisivos (*Betweenness*)
 - Aglomerativos (Modularidade)
 - Espectrais (Autovetores)
 - Locais (Modularidade Local)
 - Otimizações (Extrema, Monte Carlo)



Introdução

- Como medir a “eficiência” do algoritmo?
 - Aprendizado não supervisionado
 - Não há atributo meta
 - Definição de comunidade não é clara
 - Depende do contexto do sistema

Introdução

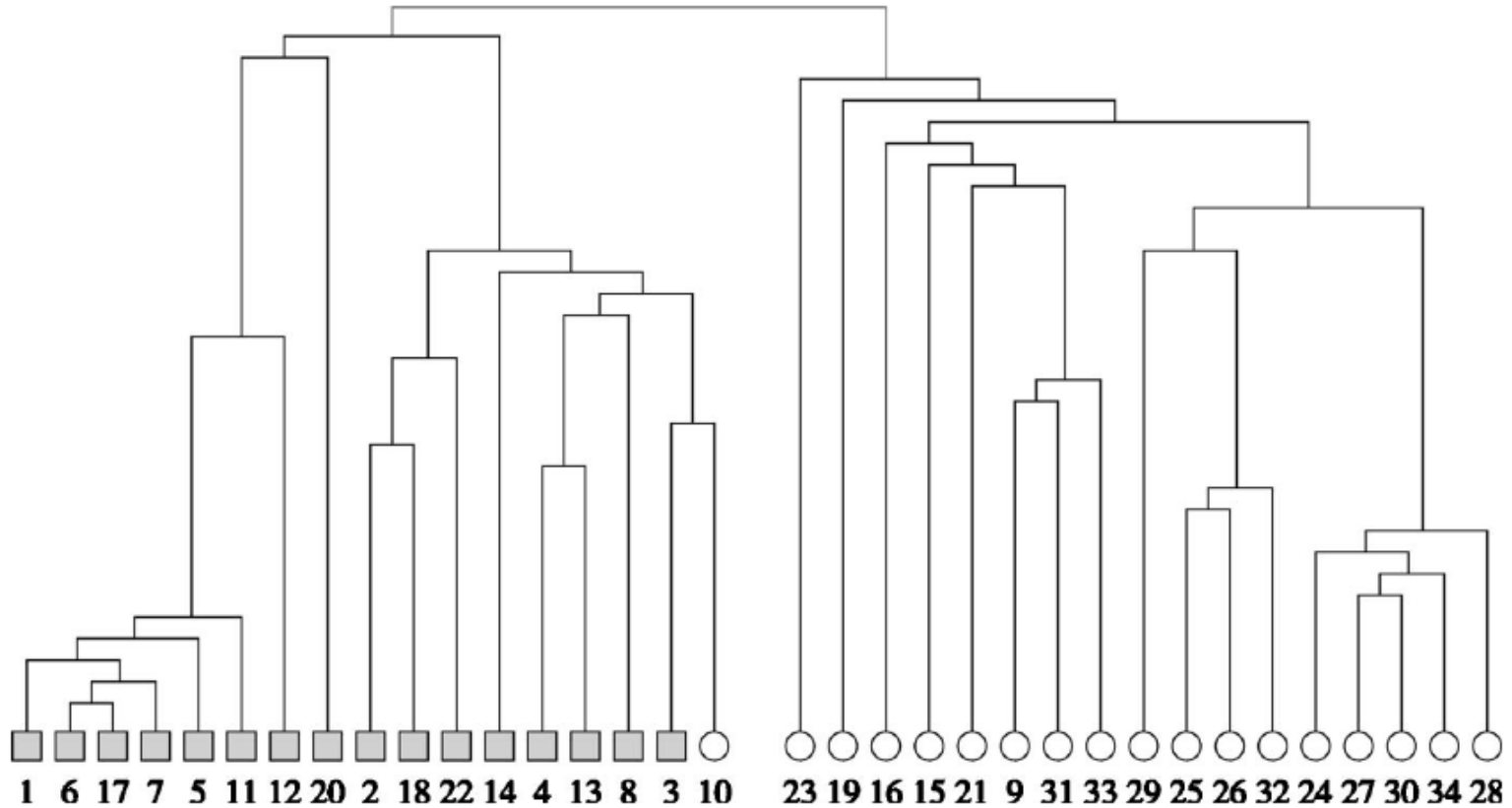
- Medida de Modularidade [Newman 2004]

$$Q = \sum_i (e_{ii} - a_i^2)$$

- e_{ii} = fração das arestas inseridas no grupo i .
- a_i^2 = fração das arestas inseridas aleatoriamente no grupo i .

Introdução

- Medida de Modularidade [Newman 2004]





Proposta do Projeto

- Comparar diferentes algoritmos de detecção de comunidades
- Medidas utilizadas:
 - Modularidade
 - Tempo de execução
 - Número de comunidades detectadas



Experimentos

- **Ambiente:**
 - Biblioteca IGRAPH para R
 - Core Duo 1.73GHz, 2GB RAM
 - Slackware 32bits.

Experimentos

- Bases utilizadas
 - Zarachry's Karate Club (34, 78)
 - American College Football (115, 615)
 - Neural Network (297, 2359, D, W)
 - Coauthorship in Network Science (1589, 2742, W, Desconexo)
 - ~~Internet (22962, ...)~~

Experimentos

- **Algoritmos comparados:**
 - *Betweenness* [Newman and Girvan 2004]
 - Caminhos mínimos entre vértices.
 - *Caminhada Aleatória* [Pons and Latapy 2005]
 - Caminhos aleatórios curtos tendem a estar na mesma comunidade.
 - *FastGreedy* [Clauset et al. 2004]
 - *Autovetores* [Newman 2006]
 - Matriz de modularidade modelada em função de autovetores e autovalores.
 - *Spinglass* [Reichardt and Bornholdt 2006]
 - Otimização da modularidade usando *Simulated Annealing*.

Experimentos

- Medida de Modularidade da IGRAPH

$$Q = \frac{1}{2m} \sum_{ij} A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2m} \delta(c_i c_j)$$

- Implementação para maximizar a medida, percorrendo o dendograma, segundo proposta de [Newman 2004]
- Não calculamos ΔQ .

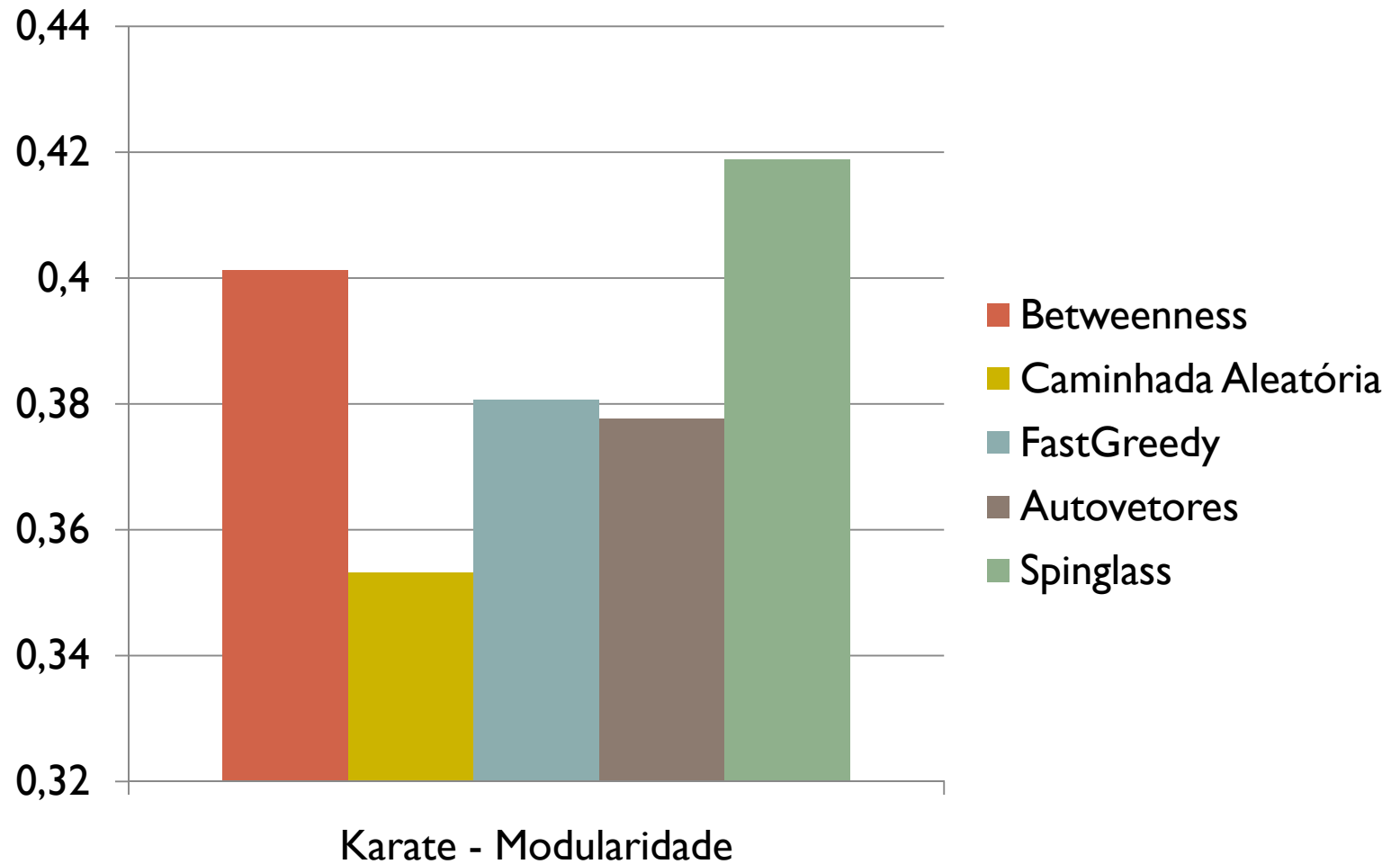
Resultados

- Karate (grafo com 34 vértices, não direcionado e sem pesos).

	Modularidade	Tempo de Execução	Qtde de Comunidades
<i>Betweenness</i>	0.4012985	0.019s	5
Caminhada Aleatória	0.3532216	0.001s	5
<i>FastGreedy</i>	0.3806706	0.001s	3
Autovetores	0.3776298	0.031s	5
<i>Spinglass</i>	0.4188034	2.118s	4

- Distribuição dos vértices nas comunidades:
 - [10 12 6 5 1] BT
 - [9 7 9 4 5] CA
 - [8 17 9] FG
 - [7 12 4 5 6] AV
 - [11 6 5 12] SG

Modularidade - Karate



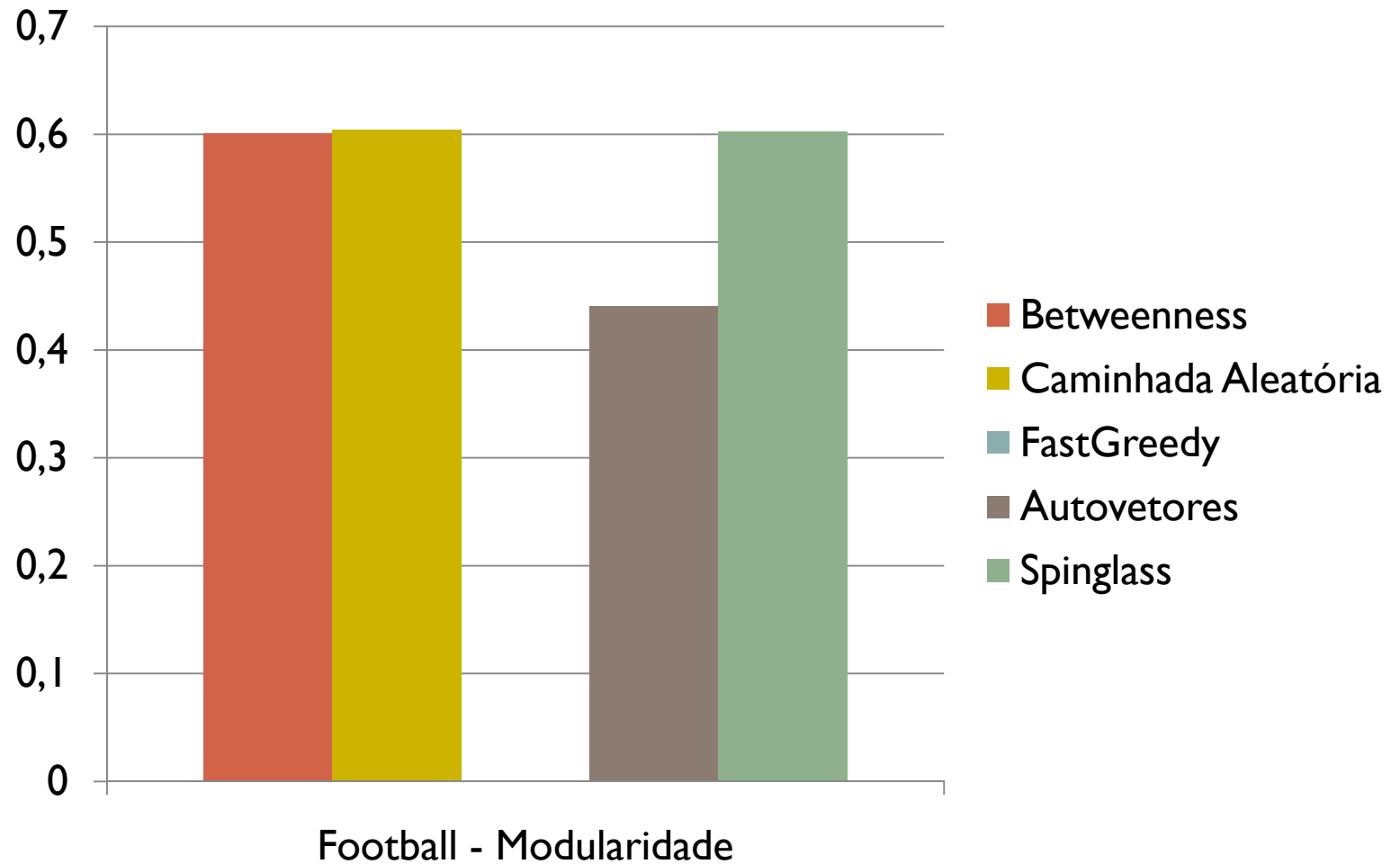
Resultados

- Football (grafo com 115 vértices, não direcionado e sem peso).

	Modularidade	Tempo de Execução	Qtde de Comunidades
<i>Betweenness</i>	0.6005129	2.394s	10
Caminhada Aleatória	0.6038112	0.007s	10
<i>FastGreedy</i>	*	*	*
Autovetores	0.4402313	0.120s	13
<i>Spinglass</i>	0.6027933	3.117s	10

- * Não funcionou.

Modularidade - Football



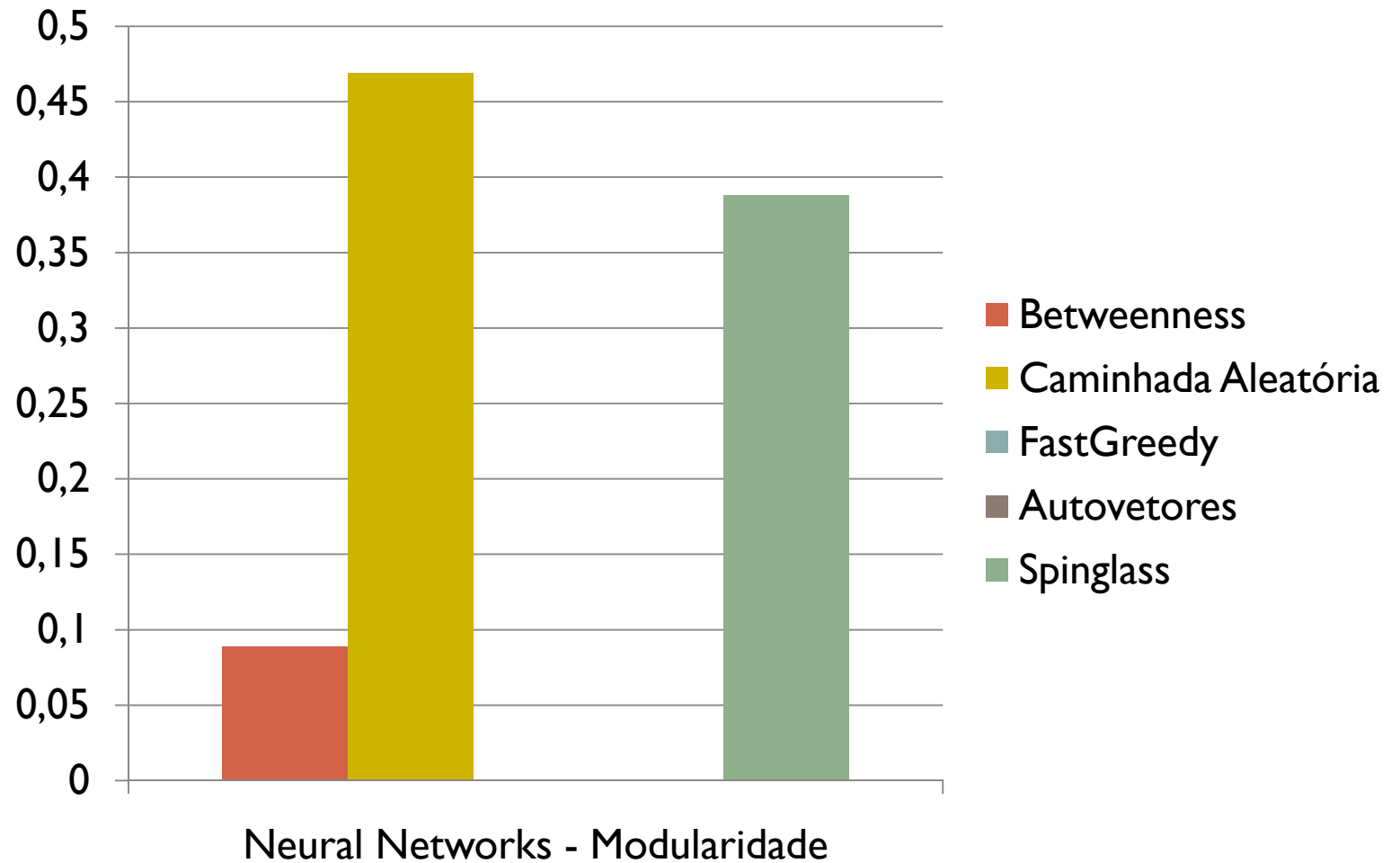
Resultados

- Neural Network (grafo com 297 nós, direcionado e com pesos).

	Modularidade	Tempo de Execução	Qtde de Comunidades
<i>Betweenness</i>	0.0887715	22.493s	200
Caminhada Aleatória	0.469383	0.045s	24
<i>FastGreedy</i>	*	*	*
Autovetores	*	*	*
<i>Spinglass</i>	0.3883311	30.552s	5

- * Somente para grafos não-direcionados.

Modularidade – Neural Networks



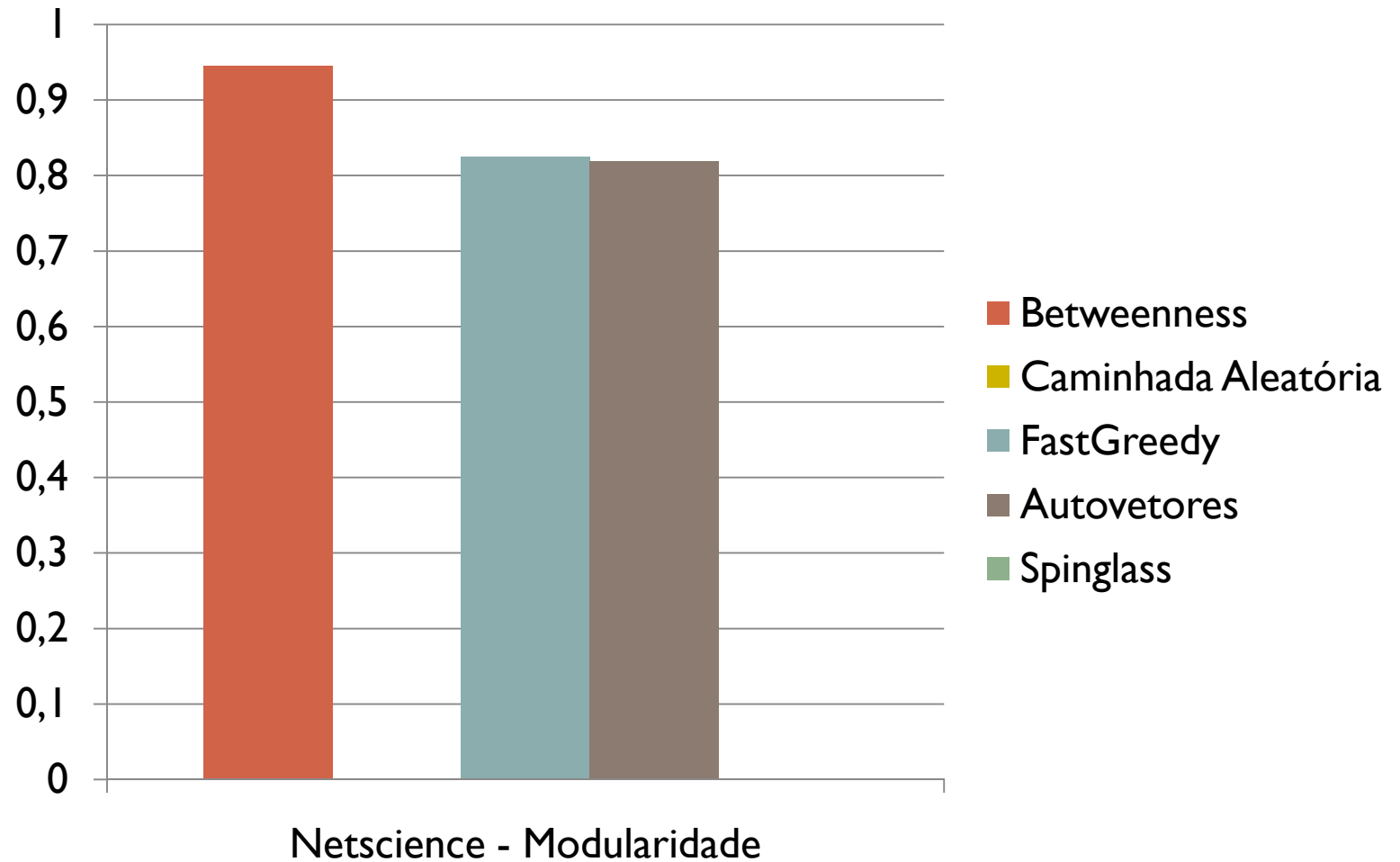
Resultados

- Netscience (grafo com 1589 vértices, ponderado e desconexo).

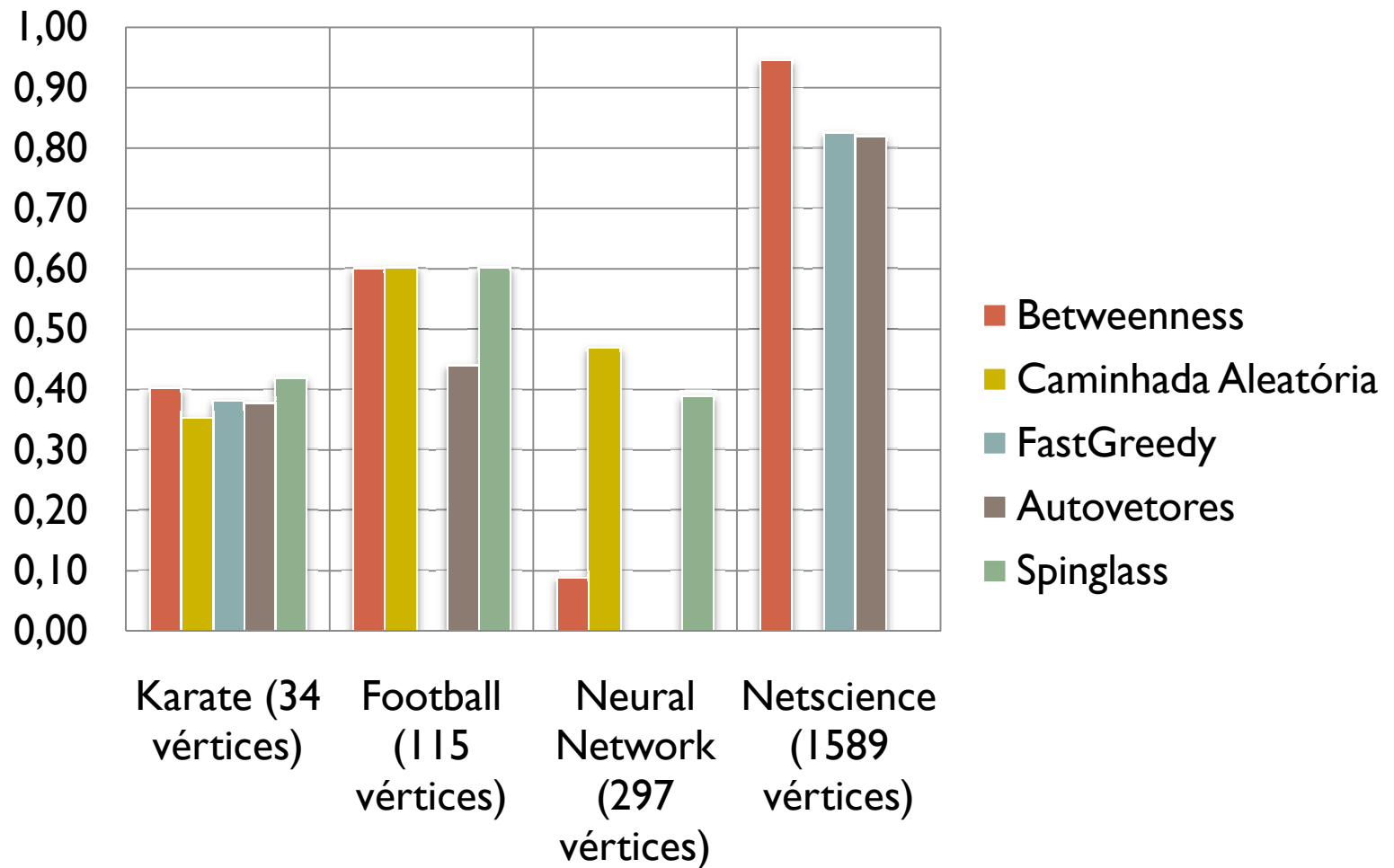
	Modularidade	Tempo de Execução	Qtde de Comunidades
<i>Betweenness</i>	0.9453312	24.440s	406
<i>Caminhada Aleatória</i>	*	*	*
<i>Fast Greedy</i>	0.8252987	0.014s	396
<i>Autovetores</i>	0.81933	48.564s	234
<i>Spinglass</i>	*	*	*

- * Grafo desconexo

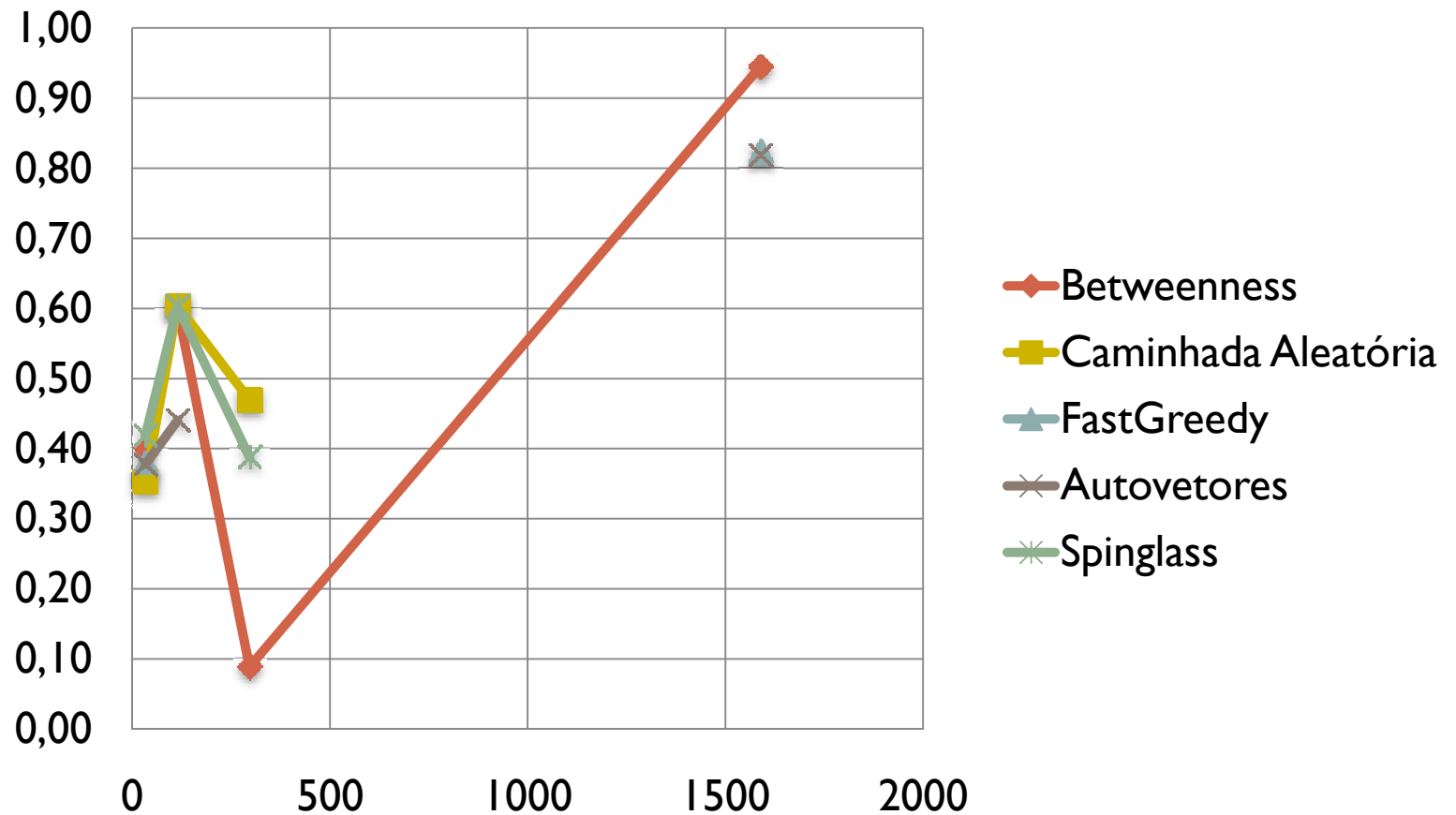
Modularidade - Netscience



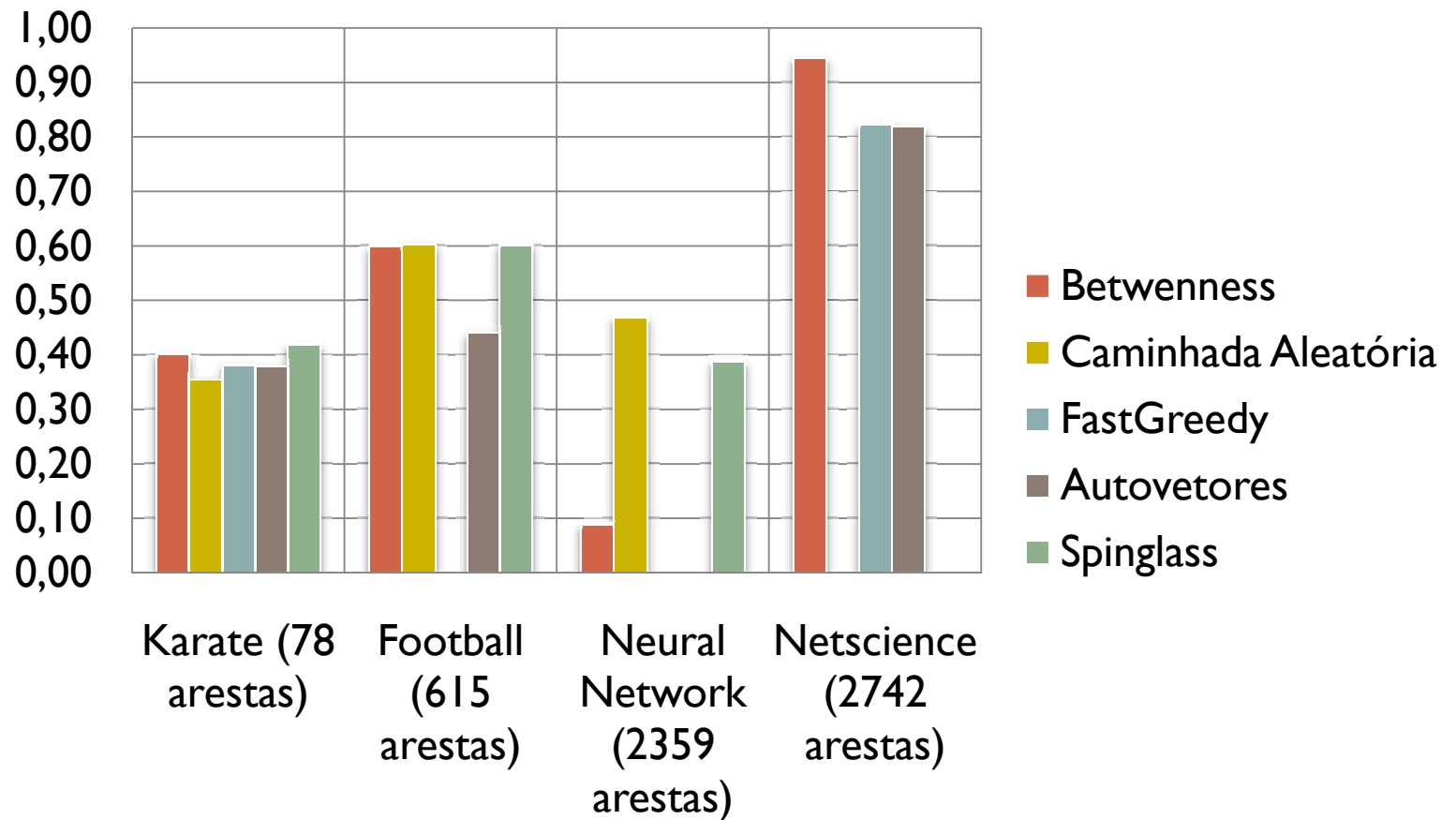
Número de Vértices vs Modularidade



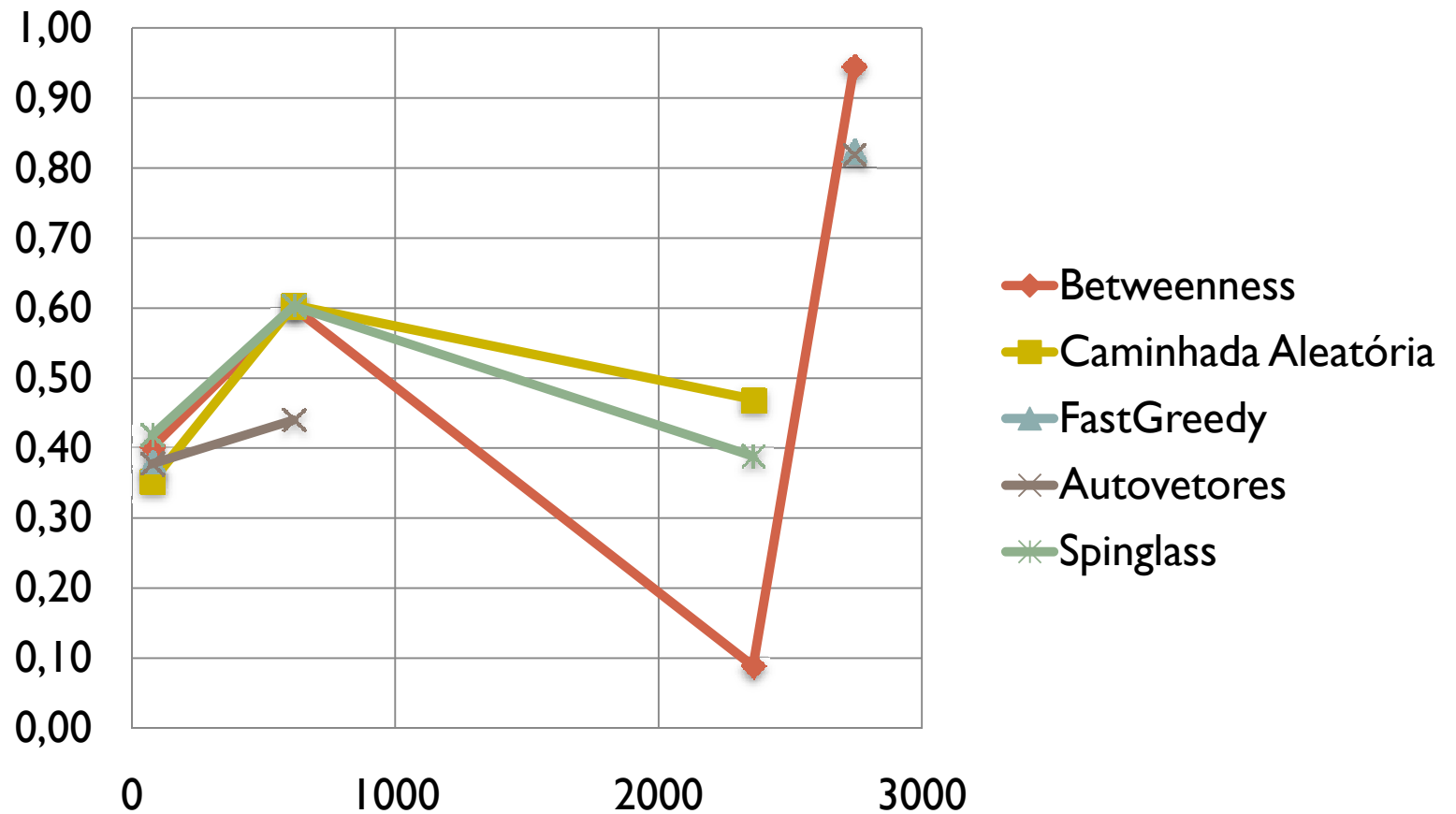
Número de Vértices vs Modularidade



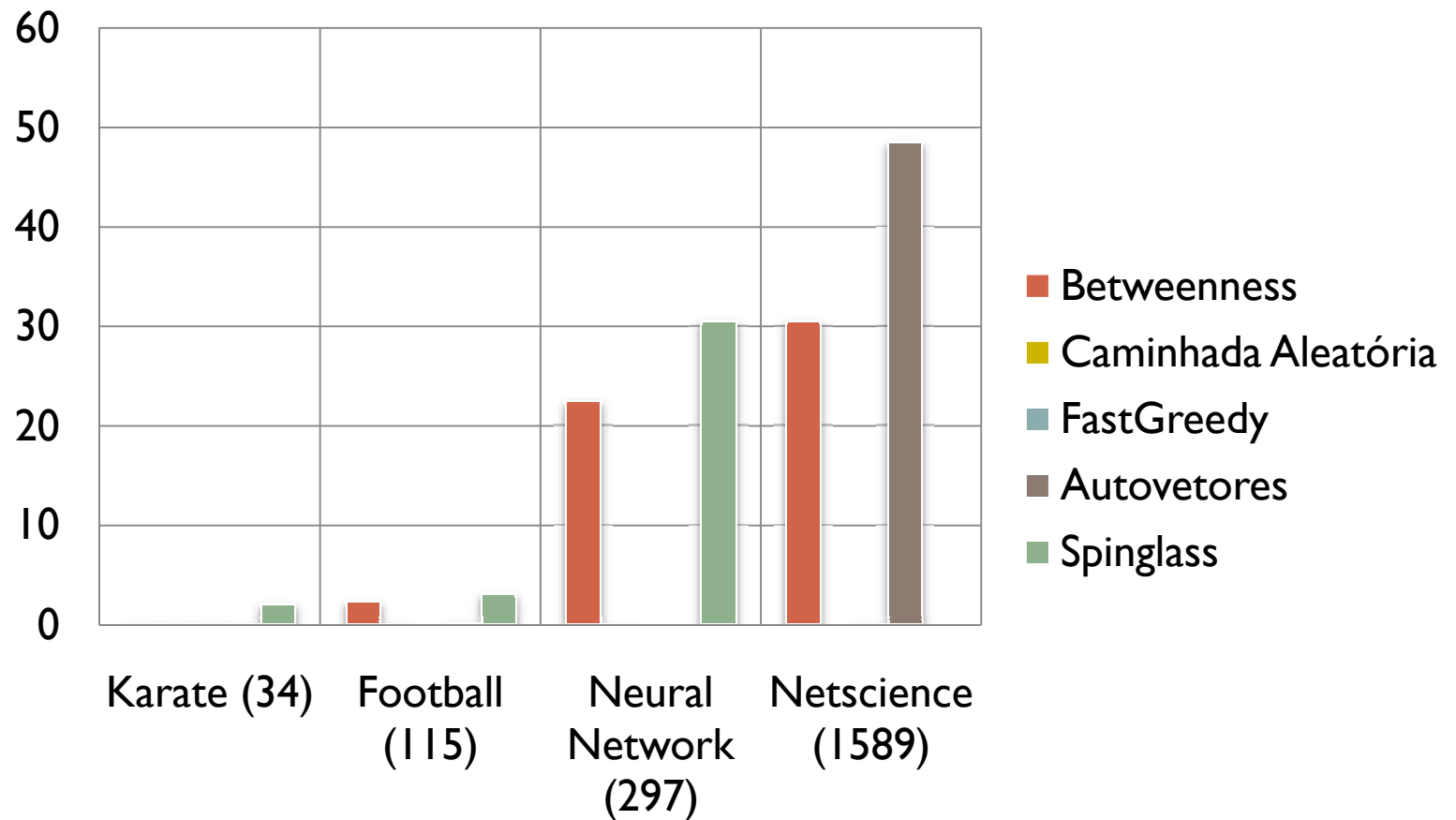
Número de Arestas vs Modularidade



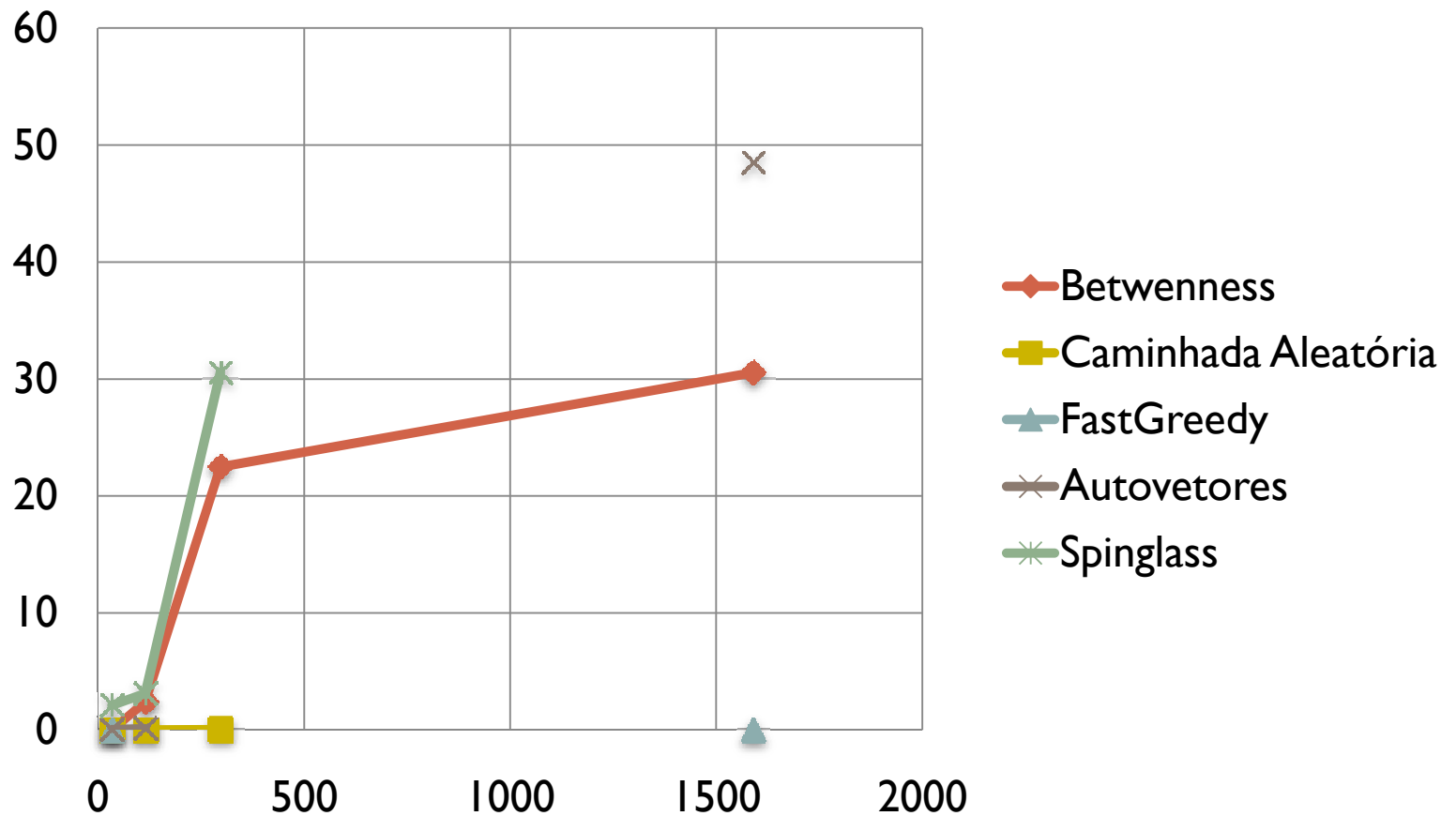
Número de Arestas vs Modularidade



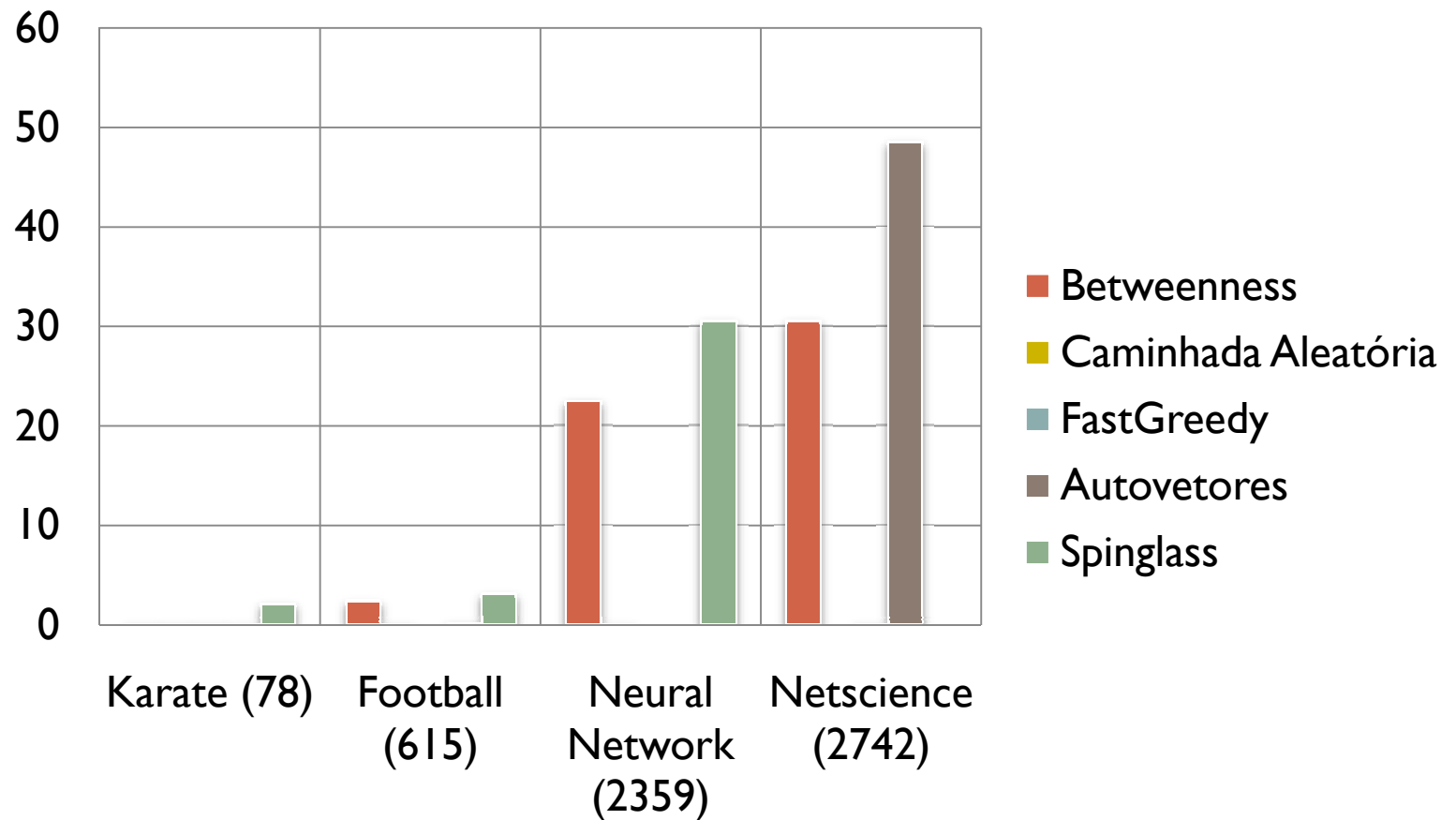
Tempo de Execução (segundos) vs Número de Vértices



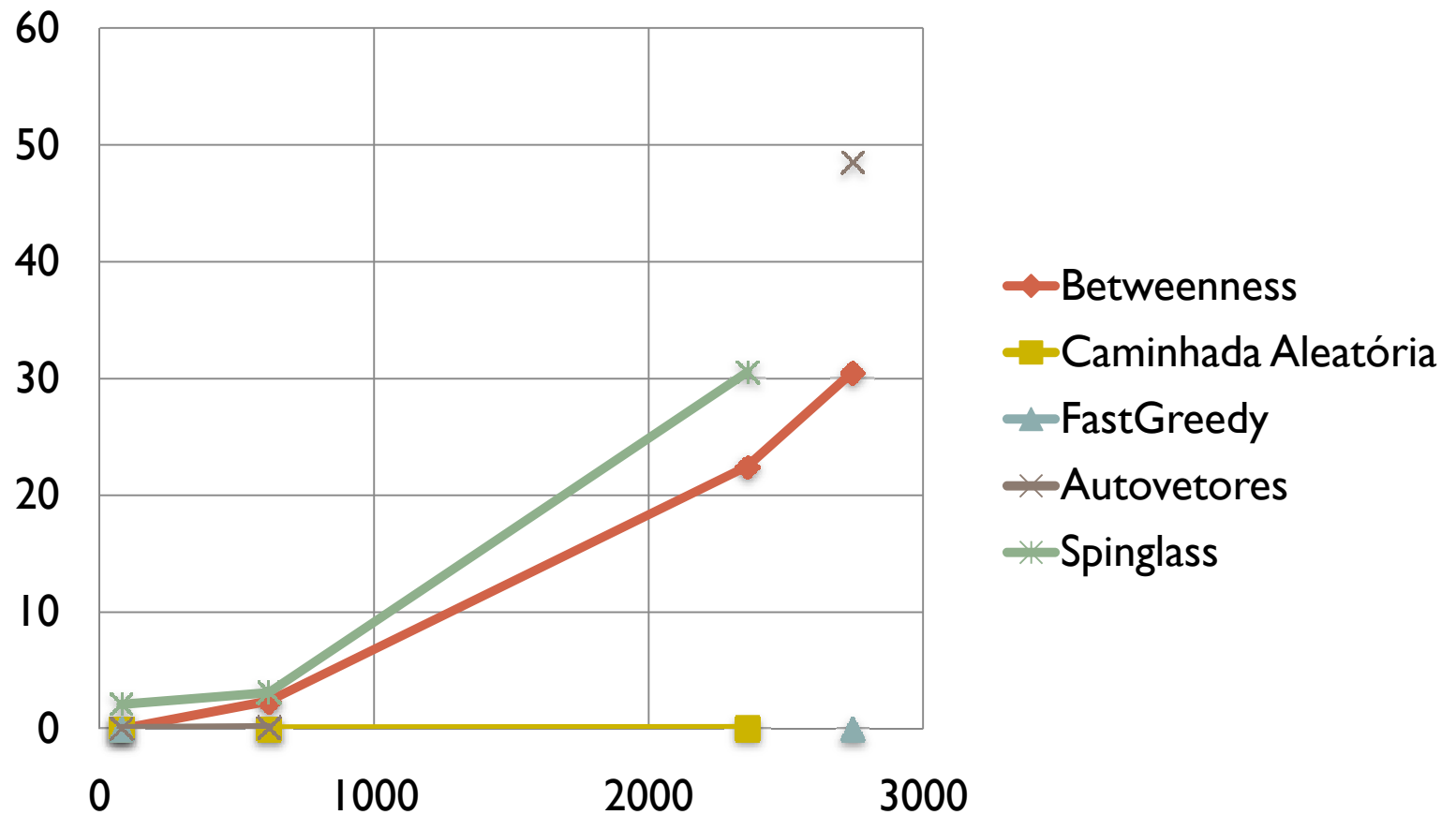
Tempo de Execução (segundos) vs Número de Vértices



Tempo de Execução (segundos) vs Número de Arestas



Tempo de Execução (segundos) vs Número de Arestas





Conclusões

- Altos valores de modularidade.
- Quantidade de comunidades obtida é variável.
- Alto custo computacional dos algoritmos.
- A modularidade varia em mesmo padrão tanto com o aumento do número de vértices quando com o aumento do número de arestas.
- Com poucos vértices os algoritmos mostram uma modularidade similar.
- Caminhada Aleatória mantém baixo tempo de execução.



Conclusões

- Resultados ainda pouco significativos.
- Necessidade de testes com maior número de bases.
- Necessidade de melhor sistema computacional (base “Internet”).



Bibliografia

- [Clauset et al. 2004] Clauset, A., Newman, M. E. J., and Moore, C. (2004). Finding Community Structure in Very Large Networks. *Physical Review E*, 79(066111).
- [Newman and Girvan 2004] Newman, M. E. J. and Girvan, M. (2004). Finding and Evaluating Community Structure in Networks. *Physical Review E*, 69(026113).
- [Newman 2004] Newman, M. E. J. (2004). Fast Algorithm for Detecting Community Structure in Networks. *Physical Review E*, 69(066133).
- [Newman 2006] Newman, M. E. J. (2006). Finding Community Structure in Networks using the Eigenvectors of Matrices. *Physics/0605087*.
- [Pons and Latapy 2005] Pons, P. and Latapy, M. (2005). Computing Communities in Large Networks using Random Walks. *Proceedings of the 20th International Symposium on Computer and Information Sciences, ISCIS'05, LNCS 3733, 284-293*.
- [Reichardt and Bornholdt 2006] Reichardt, J. and Bornholdt, S. (2006). Statistical Mechanics of Community Detection, *Physical Review E*, 74, 016110.



Dúvidas?