

Redes complexas – MO804 (MC908)

Introdução

Prof. Dr. Ruben Interian

Instituto de Computação, UNICAMP

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação
- 5 Material bibliográfico do curso

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação
- 5 Material bibliográfico do curso

Objetivos

- O que são redes?
- O que são redes complexas?
- Quais são os tipos de redes complexas?
- O que são redes do ponto de vista computacional?

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação
- 5 Material bibliográfico do curso

Introdução

O mundo há 1000 anos:

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.
- Um problema ou uma falha em um lugar não afeta quase ninguém.

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.
- Um problema ou uma falha em um lugar não afeta quase ninguém.

O mundo hoje:

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.
- Um problema ou uma falha em um lugar não afeta quase ninguém.

O mundo hoje:

- Informação demora segundos para chegar de um lugar a outro.

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.
- Um problema ou uma falha em um lugar não afeta quase ninguém.

O mundo hoje:

- Informação demora segundos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage podem morar no outro extremo do planeta.

Introdução

O mundo há 1000 anos:

- Informação demora anos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage moram a poucos quilômetros de você.
- Um problema ou uma falha em um lugar não afeta quase ninguém.

O mundo hoje:

- Informação demora segundos para chegar de um lugar a outro.
- Pessoas com quem você interage podem morar no outro extremo do planeta.
- Um problema em um lugar pode afetar rapidamente todos os países (exemplos: pandemia da COVID, crise financeira de 2008).

Introdução

Os vínculos sociais, econômicos, comerciais, financeiros, laborais dependem cada vez menos das distâncias físicas:

- Podemos abrir uma conta no banco pelo celular;
- Podemos ter amigos em outros estados;
- Podemos trabalhar em empresas que estão em outros países.

Introdução

Os vínculos sociais, econômicos, comerciais, financeiros, laborais dependem cada vez menos das distâncias físicas:

- Podemos abrir uma conta no banco pelo celular;
- Podemos ter amigos em outros estados;
- Podemos trabalhar em empresas que estão em outros países.

Consequências?

Introdução

Os vínculos sociais, econômicos, comerciais, financeiros, laborais dependem cada vez menos das distâncias físicas:

- Podemos abrir uma conta no banco pelo celular;
- Podemos ter amigos em outros estados;
- Podemos trabalhar em empresas que estão em outros países.

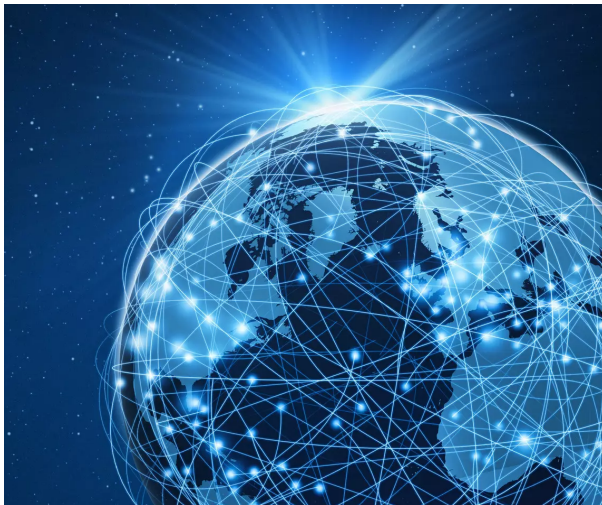
Consequências? ⇒ Informações, falhas e riscos viajam de forma ultrarrápida.

Introdução

Processos inimagináveis faz poucas décadas:

- Digitalização de grandes volumes de dados que representam as nossas ações e decisões;
- Digitalização da própria estrutura da sociedade, das nossas interações com governos e empresas;
- Aumento do poder computacional, permitindo extrair informações e realizar análises impossíveis anteriormente.

Introdução



Introdução

De que forma podemos compreender este mundo?

Introdução

De que forma podemos compreender este mundo?

“I think the next century will be the century of complexity.”

Stephen Hawking, 23 January 2000.

Redes complexas

O que são redes?

A network is, in its simplest form, a collection of points (vertices, nodes) joined together in pairs by lines (edges).

*M. Newman
Networks: An Introduction*

Redes complexas

O que são redes?

A network is, in its simplest form, a collection of points (vertices, nodes) joined together in pairs by lines (edges).

M. Newman
Networks: An Introduction

A network is any collection of objects in which some pairs of these objects are connected by links.

D. Easley, J. Kleinberg
*Networks, Crowds, and Markets:
Reasoning about a Highly Connected World*

Redes complexas

O que são redes?

Parece algo familiar... Rede = Grafo?

Redes complexas

O que são redes?

Parece algo familiar... Rede = Grafo?

- Um **grafo** é um par $G = (V, E)$, onde:
 - V é um conjunto finito de elementos chamados **vértices**, e
 - E é um conjunto finito de pares **não ordenados** de vértices chamados **arestas**.

Redes complexas

O que são redes?

Parece algo familiar. . . Rede = Grafo?

- Um **grafo** é um par $G = (V, E)$, onde:
 - V é um conjunto finito de elementos chamados **vértices**, e
 - E é um conjunto finito de pares **não ordenados** de vértices chamados **arestas**.
- Na prática, 'rede' e 'grafo' são **quase** sinônimos. Usamos um ou outro dependendo da área do conhecimento ou do domínio de aplicação.

Redes complexas

Há algumas sutilezas no uso dos termos:

- **Rede:** o termo geralmente se refere a sistemas reais.
(em Física, Bioquímica, e outras áreas)
- **Grafo:** a representação matemática de uma rede.
(Matemática, Computação).

Redes complexas

Há algumas sutilezas no uso dos termos:

- **Rede:** o termo geralmente se refere a sistemas reais.
(em Física, Bioquímica, e outras áreas)
- **Grafo:** a representação matemática de uma rede.
(Matemática, Computação).

Quando tratamos entidades abstratas, que não podem ser mapeadas para objetos existentes, falamos de um **grafo**.

Quando modelamos um sistema real, tendemos a chamá-lo de **rede**.

Redes complexas

O que são redes complexas?

Redes complexas

O que são redes complexas?

- Intuitivamente, são aquelas redes que possuem **estrutura e características não triviais**: não são completamente regulares, nem completamente aleatórias.
 - Características não triviais: distribuições de graus específicas, presença de comunidades, estruturas hierárquicas... Redes complexas são redes “reais”!

Redes complexas

O que são redes complexas?

- Intuitivamente, são aquelas redes que possuem **estrutura e características não triviais**: não são completamente regulares, nem completamente aleatórias.
 - Características não triviais: distribuições de graus específicas, presença de comunidades, estruturas hierárquicas... Redes complexas são redes “reais”!
- Termo ‘complexo’ (do latim *complexus/complecti*, abraçar, envolver, incluir): composto de numerosos elementos interligados que funcionam como um todo.

Redes complexas

O que são redes complexas?

- Intuitivamente, são aquelas redes que possuem **estrutura e características não triviais**: não são completamente regulares, nem completamente aleatórias.
 - Características não triviais: distribuições de graus específicas, presença de comunidades, estruturas hierárquicas... Redes complexas são redes “reais”!
- Termo ‘complexo’ (do latim *complexus/complecti*, abraçar, envolver, incluir): composto de numerosos elementos interligados que funcionam como um todo.
- ‘Complexo’ é diferente de ‘complicado’: aquilo que é difícil de entender ou de lidar.

Importante: complexo $\neq$ complicado.
Redes complexas $\neq$ Redes complicadas.

Redes complexas

Redes complexas são Sistemas complexos.

Essência da complexidade:

- Um sistema 'complexo' não é apenas complicado, numeroso ou grande, é composto de elementos entrelaçados e interdependentes, cujas características e comportamentos vão além das características e comportamentos das partes.
- Um **sistema complexo** é aquele que não pode ser entendido como uma simples soma ou junção das suas partes.

Redes complexas

Redes complexas são Sistemas complexos.

Essência da complexidade:

- Um sistema 'complexo' não é apenas complicado, numeroso ou grande, é composto de elementos entrelaçados e interdependentes, cujas características e comportamentos vão além das características e comportamentos das partes.
- Um **sistema complexo** é aquele que não pode ser entendido como uma simples soma ou junção das suas partes.

Sistemas complexos exibem **características ou comportamentos emergentes**: aqueles que não são diretamente previsíveis apenas a partir dos seus constituintes.

Redes complexas

Exemplo de sistema complexo: **formigueiro**.

- As formigas não seguem ordens de um “chefe”. Seus comportamentos são **independentes**.
- **Nenhuma formiga compreende** o que está sendo construído ou a tarefa que está sendo realizada.
- O comportamento coletivo do formigueiro **emerge** das **interações simples** entre as formigas, como o uso de feromônios ou sinais.
- Os formigueiros **se adaptam**: mudam sua estrutura, ajustam rotas.

Redes complexas

Exemplo de sistema complexo: **formigueiro**.

- As formigas não seguem ordens de um “chefe”. Seus comportamentos são **independentes**.
- **Nenhuma formiga compreende** o que está sendo construído ou a tarefa que está sendo realizada.
- O comportamento coletivo do formigueiro **emerge** das **interações simples** entre as formigas, como o uso de feromônios ou sinais.
- Os formigueiros **se adaptam**: mudam sua estrutura, ajustam rotas.

O formigueiro é um sistema complexo: ele apresenta auto-organização, emergência, adaptação e comportamentos coletivos que não podem ser explicados pelas ações das formigas de forma isolada.

Redes complexas

Outro exemplo de sistema complexo: **mercado financeiro**.

- Os agentes do mercado não seguem ordens de um “chefe”. Seus comportamentos são, em geral, **independentes**.
- **Nenhum indivíduo controla** o mercado como um todo, embora alguns têm maior ou menor influência.
- Bolhas e outras tendências **emergem** da **interação entre agentes**.
- Os agentes **adaptam** seu comportamento com base em novas informações e reações aos outros agentes.

Redes complexas

Outro exemplo de sistema complexo: **mercado financeiro**.

- Os agentes do mercado não seguem ordens de um “chefe”. Seus comportamentos são, em geral, **independentes**.
- **Nenhum indivíduo controla** o mercado como um todo, embora alguns têm maior ou menor influência.
- Bolhas e outras tendências **emergem** da **interação entre agentes**.
- Os agentes **adaptam** seu comportamento com base em novas informações e reações aos outros agentes.

Crise de 2008: exemplo típico de comportamentos emergentes em sistemas complexos. Ninguém planejou o colapso, mas ele emergiu da combinação de decisões locais e interações entre muitos atores.

Redes complexas

Teoria de grafos vs Redes complexas

Apesar das semelhanças, há ao menos **3 diferenças básicas** entre a teoria de redes complexas e a teoria de grafos. Na área de redes complexas:

- O foco é no estudo e modelagem de **sistemas reais**, não triviais, apoiada na análise de dados empíricos.
- As redes podem **evoluir no tempo** (ser dinâmicas), alterando a sua estrutura.
- São estudados **processos dinâmicos** em redes, tais como a propagação de vírus ou opiniões.

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação
- 5 Material bibliográfico do curso

Tipos de redes complexas

Presença de diferentes tipos de nós e vínculos:

- Redes homogêneas e redes heterogêneas.

Tipos de redes complexas

Presença de diferentes tipos de nós e vínculos:

- Redes homogêneas e redes heterogêneas.

Interpretação dos vínculos:

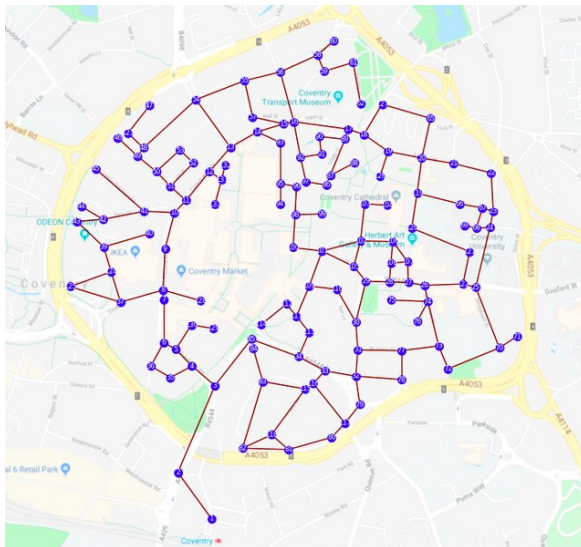
- **Redes de transporte** (exemplo: redes de fluxo, infraestrutura física).
- **Redes de interação** (a aresta é uma **informação** que temos sobre a relação, vínculo ou interação):
 - Redes sociais: pessoas conectadas por vínculos familiares, de amizade, colaboração.
 - Redes de comunicação: representam a difusão da informação ou influência.
 - Redes biológicas: redes de interação de proteínas.
 - A Web e a Wikipédia: documentos (páginas) conectados por hiperlinks.
- **Grafos do conhecimento**: **nós** representam entidades (pessoas, lugares, objetos, conceitos), e **arestas** representam diferentes tipos de relações entre elas.

Mapa do Transporte Metropolitano

Metropolitan Transport Network



Redes de transporte – ruas de uma cidade



Redes de transporte não são redes de interação

Por que essas redes não são de interação?

Redes de transporte não são redes de interação

Por que essas redes não são de interação?

- Esquinas não interagem.

Redes de transporte não são redes de interação

Por que essas redes não são de interação?

- Esquinas não interagem.
- Estações de metrô não interagem.

Redes de transporte não são redes de interação

Por que essas redes não são de interação?

- Esquinas não interagem.
- Estações de metrô não interagem.
- Um computador não interage necessariamente com outro computador que está conectado com ele por meio de um cabo.

Redes de transporte não são redes de interação

Por que essas redes não são de interação?

- Esquinas não interagem.
- Estações de metrô não interagem.
- Um computador não interage necessariamente com outro computador que está conectado com ele por meio de um cabo.

Não podemos falar de redes de interação quando as arestas representam **um meio físico** através do qual veículos, bens ou dados se movem ou se conectam.

Redes de interação

Nas **redes de interação**:

- A aresta (v_1, v_2) **não** é um objeto, ou um meio, que pode ser **separado** dos nós.

Redes de interação

Nas **redes de interação**:

- A aresta (v_1, v_2) **não** é um objeto, ou um meio, que pode ser **separado** dos nós.
A aresta é uma informação que temos sobre a relação (ou vínculo, interação) entre o par v_1, v_2 .

Redes de interação

Características das **redes de interação**:

- Em geral, **não** são planares.
- Em geral, **não** satisfazem a **desigualdade triangular**:

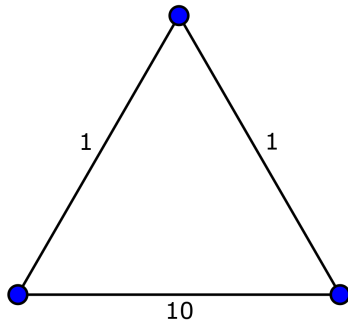
$$d(x, z) + d(z, y) \geq d(x, y).$$

Redes de interação

Características das **redes de interação**:

- Em geral, **não** são planares.
- Em geral, **não** satisfazem a **desigualdade triangular**:

$$d(x, z) + d(z, y) \geq d(x, y).$$

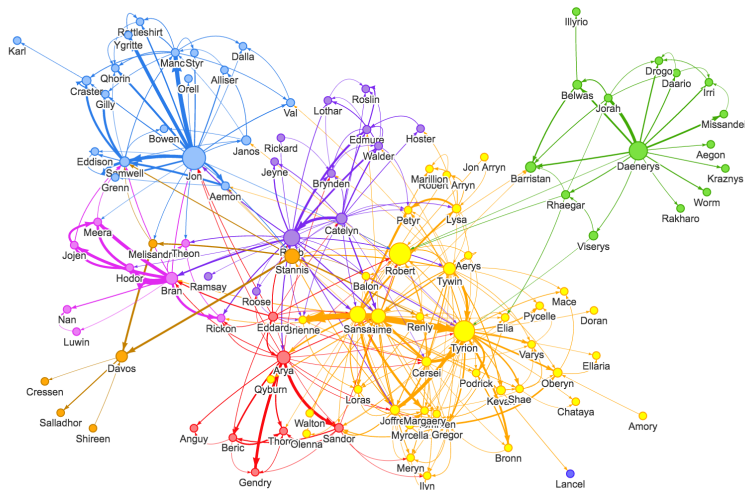


As arestas não representam um meio físico, mas uma relação imaterial, **abstrata**.

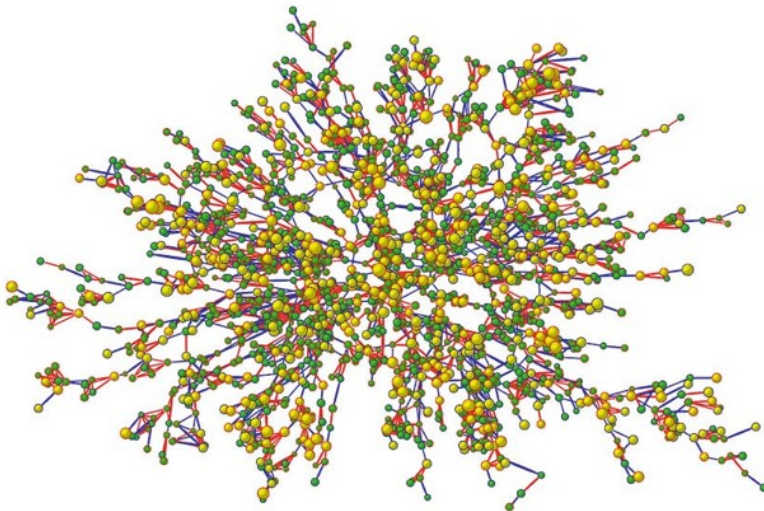
Redes de interação – redes sociais



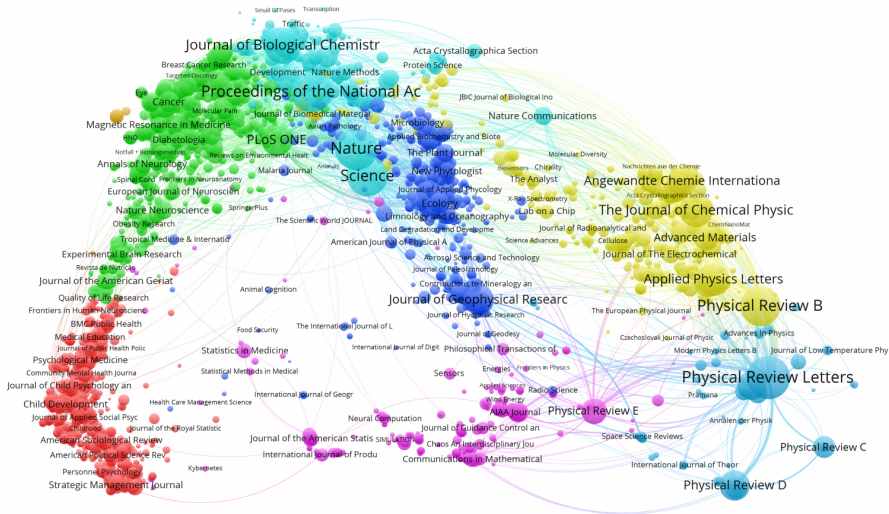
Redes de interação – ‘rede social’ de personagens de um livro



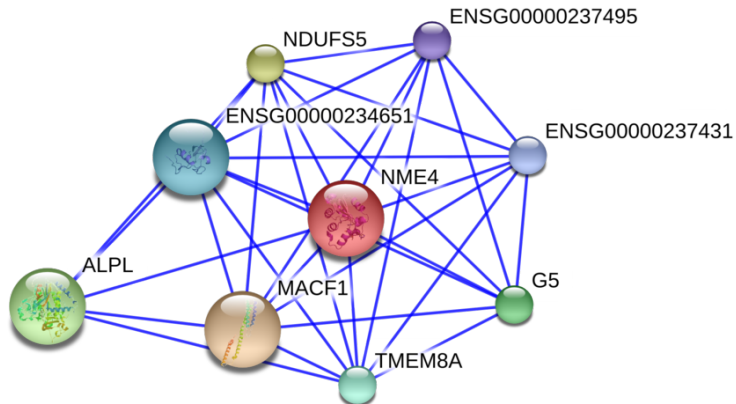
Redes de interação – propagação de epidemias em uma rede social



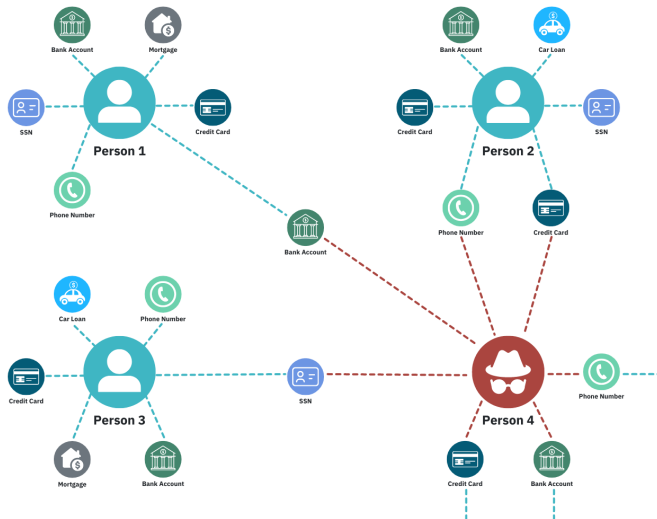
Redes de interação – rede de citação (periódicos)



Redes de interação – rede de interação de proteínas



Redes de interação – rede de transações bancárias

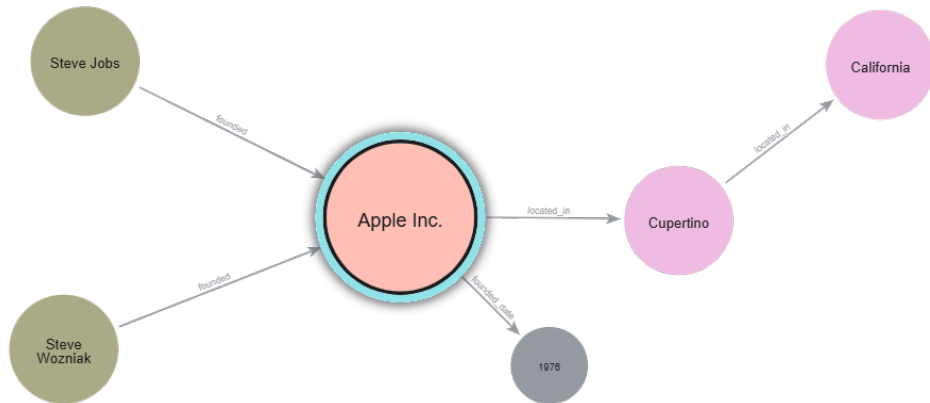


Grafos do conhecimento

Grafos do conhecimento:

- São redes complexas **heterogêneas**.
- Geralmente descrevem **entidades do mundo real e suas relações**, organizadas em um grafo.
- Historicamente ligados e usados por **sites de busca**: Google, Bing, Yahoo.

Grafos do conhecimento - Exemplo



Grafos do conhecimento

Tipos de relações ou vínculos:

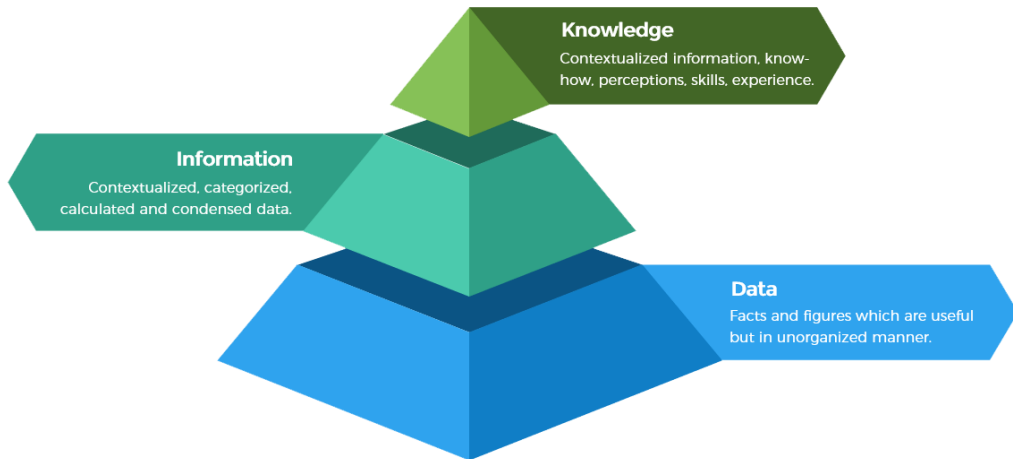
- **Sociais:** colaborador de, aliado de, inimigo de, familiar de.
- **Organizacionais:** sócio de, membro de.
- **Localização física:** se encontra em, ocorreu em.
- **Causais:** é causa de, é efeito de.
- **Hierárquicos:** é (um tipo de), é parte de.

Os grafos do conhecimento são uma forma de **modelar ou codificar** a informação factual sobre o mundo real, e podem ser considerados uma base de conhecimento.

Redes complexas – objetivo da disciplina

Aprender a analisar e extrair conhecimento dessa enorme rede de relações sociais, econômicas, políticas, financeiras, na qual estamos inseridos.

Redes complexas



Redes complexas

Além disso, as redes complexas podem ser:

- **Ponderadas**, quando há atributos associados a cada aresta:
 - Rede de chamadas telefônicas: o vínculo indica o número de chamadas realizadas.
 - Rede de empresas e seus sócios: o vínculo indica a participação societária.

Redes complexas

Além disso, as redes complexas podem ser:

- **Ponderadas**, quando há atributos associados a cada aresta:
 - Rede de chamadas telefônicas: o vínculo indica o número de chamadas realizadas.
 - Rede de empresas e seus sócios: o vínculo indica a participação societária.
- **Rotuladas**, quando o atributo de cada aresta é uma variável categórica:
 - Interações positivas e negativas em redes sociais;
 - Relações pai de / irmão de.

É como se fossem camadas de arestas diferentes!

Redes complexas

Além disso, as redes complexas podem ser:

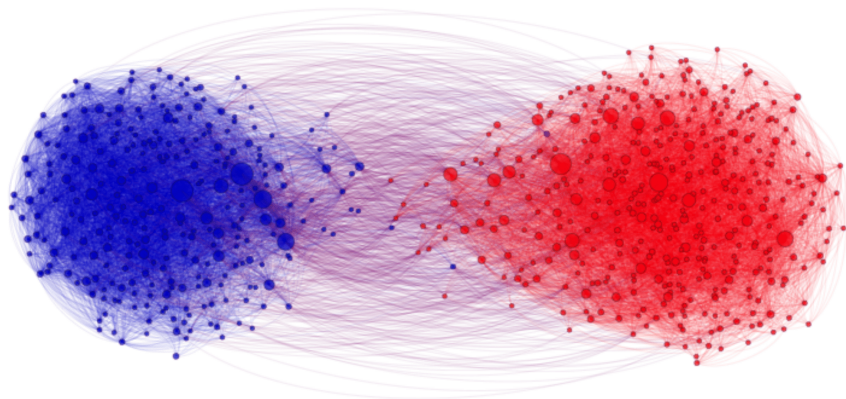
- **Ponderadas**, quando há atributos associados a cada aresta:
 - Rede de chamadas telefônicas: o vínculo indica o número de chamadas realizadas.
 - Rede de empresas e seus sócios: o vínculo indica a participação societária.
- **Rotuladas**, quando o atributo de cada aresta é uma variável categórica:
 - Interações positivas e negativas em redes sociais;
 - Relações pai de / irmão de.

É como se fossem camadas de arestas diferentes!
- **Dinâmicas**, quando há atributos (por exemplo, data e hora) indicando quando aquele vértice ou aresta surgiu.

Redes complexas

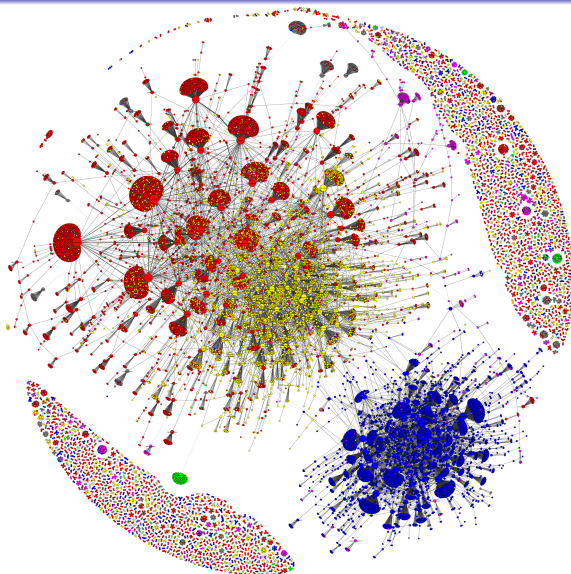
As redes complexas podem ser:
dinâmicas, rotuladas e ponderadas, tudo ao mesmo tempo!

Redes complexas – Outros exemplos



Blogs políticos durante as eleições presidenciais dos EUA em 2004.

Redes complexas – Outros exemplos



Interações no Twitter durante o dia 2 de outubro de 2022, 1^{ro} turno das eleições no Brasil.

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação**
- 5 Material bibliográfico do curso

Representação

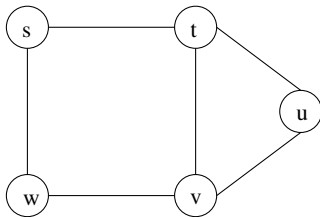
Como **representar um grafo** (uma rede)? Estruturas de dados mais usadas:

- Matriz de adjacência,
- Listas de adjacência,
- ...

Matriz de adjacência

Matriz de adjacência A de um grafo $G = (V, E)$:

- Matriz quadrada de $|V| \times |V|$;
- $A[i, j] = 1$ se aresta $(i, j) \in E$, caso contrário, $A[i, j] = 0$;
- A matriz A é simétrica (em grafos não direcionados).

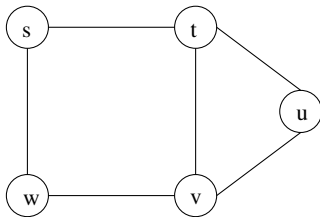


	s	t	w	v	u
s	0	1	1	0	0
t	1	0	0	1	1
w	1	0	0	1	0
v	0	1	1	0	1
u	0	1	0	1	0

Matriz de adjacência

Matriz de adjacência A de um grafo $G = (V, E)$:

- Matriz quadrada de $|V| \times |V|$;
- $A[i, j] = 1$ se aresta $(i, j) \in E$, caso contrário, $A[i, j] = 0$;
- A matriz A é simétrica (em grafos não direcionados).



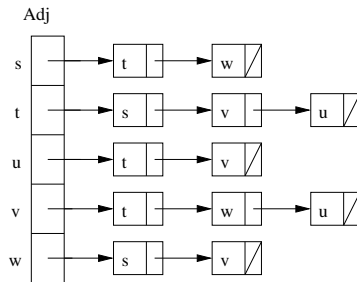
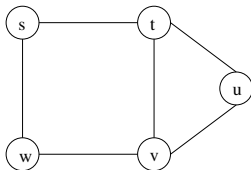
	s	t	w	v	u
s	0	1	1	0	0
t	1	0	0	1	1
w	1	0	0	1	0
v	0	1	1	0	1
u	0	1	0	1	0

Como representar os tipos de arestas, rótulos e atributos?

Listas de adjacência

Listas de adjacência:

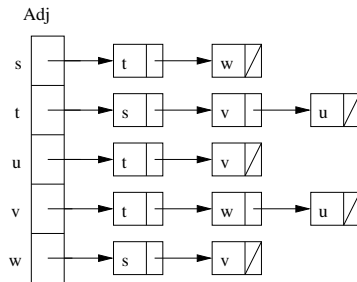
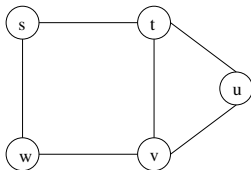
- Um grafo $G = (V, E)$ com $|V| = n$ pode ser representado usando n listas ligadas.
- Cada lista ligada $Adj[u]$ terá todos os vértices com arestas ao vértice u .
- A aresta não direcionada $e = (v, w)$ precisa estar representada duas vezes.



Listas de adjacência

Listas de adjacência:

- Um grafo $G = (V, E)$ com $|V| = n$ pode ser representado usando n listas ligadas.
- Cada lista ligada $Adj[u]$ terá todos os vértices com arestas ao vértice u .
- A aresta não direcionada $e = (v, w)$ precisa estar representada duas vezes.



Como representar os tipos de arestas, rótulos e atributos?

Qual a melhor representação?

Depende do grafo, dos algoritmos, e da aplicação.

Seja um grafo $G = (V, E)$.

- Matriz de adjacência:

- Checar se $e \in E$ é $O(1)$ (o melhor tempo possível);
- Espaço: $\Theta(V^2)$;
- Adequada para grafos densos, com $|E| = \Theta(V^2)$.

- Listas de adjacência:

- É fácil listar os vértices adjacentes de um vértice v .
- Espaço: $\Theta(V + E)$ (o melhor possível).
- Adequada para grafos esparsos, com $|E| = \Theta(V)$.

Qual a melhor representação?

Depende do grafo, dos algoritmos, e da aplicação.

Seja um grafo $G = (V, E)$.

- **Matriz de adjacência:**

- Checar se $e \in E$ é $O(1)$ (o melhor tempo possível);
- Espaço: $\Theta(V^2)$;
- Adequada para grafos densos, com $|E| = \Theta(V^2)$.

- **Listas de adjacência:**

- É fácil listar os vértices adjacentes de um vértice v .
- Espaço: $\Theta(V + E)$ (o melhor possível).
- Adequada para grafos esparsos, com $|E| = \Theta(V)$.

Observação:

V^2 não é um conjunto ao quadrado, mas a notação assintótica simplificada: V e E ao invés de $|V|$ e $|E|$.

Representação

Veja que estamos assumindo que o grafo $G = (V, E)$ cabe na memória...

E se isso não for verdade?

O que podemos fazer?

Representação

Veja que estamos assumindo que o grafo $G = (V, E)$ cabe na memória...

E se isso não for verdade?

O que podemos fazer?

Podemos usar uma terceira representação:

Banco de dados orientado a grafos
(Graph Database, GDB)

Representação

Veja que estamos assumindo que o grafo $G = (V, E)$ cabe na memória...

E se isso não for verdade?

O que podemos fazer?

Podemos usar uma terceira representação:

Banco de dados orientado a grafos
(Graph Database, GDB)

- Vértices e arestas podem ter atributos e rótulos (que indicam o tipo do nó).
- Trabalhamos com os grafos usando consultas “como se estivessem na memória”.
- Linguagem de consulta mais usada: *Cypher*.

Representação

[Ranking](#) > Graph DBMS

DB-Engines Ranking of Graph DBMS

The DB-Engines Ranking ranks database management systems according to their popularity. The ranking is updated monthly.

This is a partial list of the [complete ranking](#) showing only graph DBMS.

Read more about the [method](#) of calculating the scores.



☐ include secondary database models

42 systems in ranking, July 2024

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Jul 2024	Jun 2024	Jul 2023			Jul 2024	Jun 2024	Jul 2023
1.	1.	1.	Neo4j +	Graph	45.75	+0.86	-6.31
2.	2.	2.	Microsoft Azure Cosmos DB +	Multi-model ⓘ	27.12	-0.59	-9.38
3.	3.	3.	Aerospike +	Multi-model ⓘ	5.16	-0.35	-1.32
4.	4.	4.	Virtuoso +	Multi-model ⓘ	3.98	-0.29	-0.91
5.	5.	↑ 6.	ArangoDB +	Multi-model ⓘ	3.42	+0.15	-1.15
6.	6.	↓ 5.	OrientDB	Multi-model ⓘ	3.07	-0.18	-1.69
7.	↑ 8.	↑ 8.	Memgraph +	Graph	2.93	-0.26	+0.23
8.	↓ 7.	↑ 11.	GraphDB +	Multi-model ⓘ	2.87	-0.38	+0.35
9.	9.	↓ 7.	Amazon Neptune	Multi-model ⓘ	2.14	-0.15	-0.76
10.	↑ 11.	↑ 13.	Stardog	Multi-model ⓘ	2.07	0.00	-0.01

Exemplos de aplicações

Alguns exemplos de aplicações:

- O buscador *Scopus*, da *Elsevier*, utiliza uma enorme rede complexa de colaborações e citações modelada usando um banco de dados orientado a grafos.

Exemplos de aplicações

Alguns exemplos de aplicações:

- O buscador *Scopus*, da *Elsevier*, utiliza uma enorme rede complexa de colaborações e citações modelada usando um banco de dados orientado a grafos.
- Escândalo conhecido como *Panama Papers* (2016): o Consórcio Internacional de Jornalistas Investigativos (ICIJ) analisou terabytes de dados, expondo evasões de impostos e participação em empresas *offshore* de diversos líderes mundiais.

"Fizemos conexões entre pessoas, atividades e entidades que de outra forma teriam sido perdidas."

Pierre Romera Zhang, CTO do ICIJ.

Resumo

- 1 Objetivo
- 2 Redes complexas
- 3 Tipos de redes complexas
- 4 Representação
- 5 Material bibliográfico do curso

Material bibliográfico

- [1] Albert-László Barabási. *Network science*, 1st Edition. ISBN-13: 978-1107076266
- [2] David Easley and Jon Kleinberg. *Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World*, 2010. ISBN-13 978-0521195331
- [3] Duncan J. Watts. *Six Degrees: The Science of a Connected Age*, 2004.

Dúvidas

Dúvidas?