

## Aula 8: Grafos

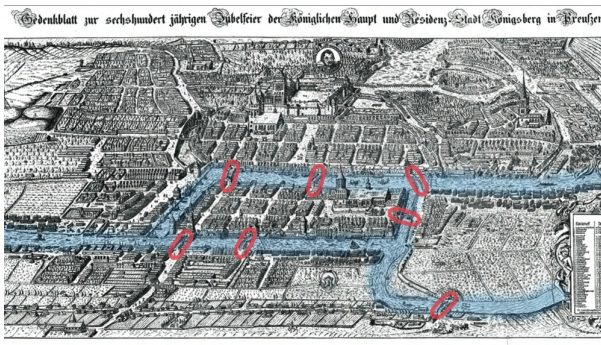
Professor(a): Virgínia Fernandes Mota

<http://www.dcc.ufmg.br/~virginiaferm>

ALGORITMOS E ESTRUTURAS DE DADOS - SETOR DE INFORMÁTICA

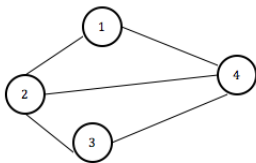


- As pontes de Königsberg: Enigma do século XVIII (Leonard Euler (1707-1783))

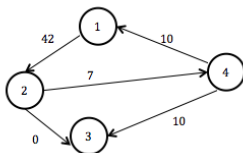
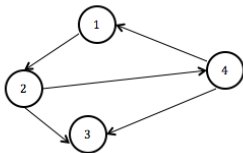
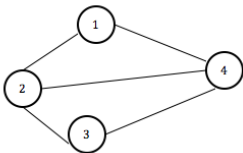


Será que existe um passeio, com partida e chegada a um mesmo local, que atavesse todas as pontes, passando apenas uma vez por cada uma delas?

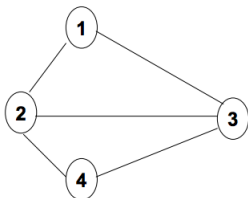
- Chama-se grafo ao par  $G = (V, A)$  em que  $V$  (conjunto de vértices ou nós) é um conjunto finito e  $A$  (conjunto de arestas) é um subconjunto de  $V \times V$ .
- Exemplo:  $V = \{1, 2, 3, 4\}$   
 $A = \{(1, 2), (1, 4), (2, 3), (2, 4), (3, 4)\}$



- Um grafo pode ser **orientado** ou **não-orientado**.
- Um grafo pode ter pesos associados às suas arestas.

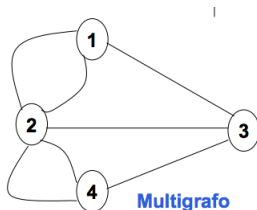


- Uma **aresta** diz-se **incidente** no vértice  $v$  se  $v$  é um dos seus extremos.
- Os **vértices**  $v$  e  $w$  dizem-se **adjacentes** se existe uma aresta incidente em ambos.
- O número de arestas incidentes em  $v$  diz-se o **grau** de  $v$ .



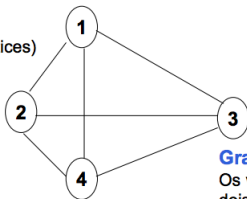
## Grafo (simples)

não existem arestas paralelas (mais do que 1 aresta entre um par de vértices)  
nem lacetes (arestas com ambos os extremos no mesmo vértice)



## Multigrafo

Com lacetes e/ou arestas paralelas



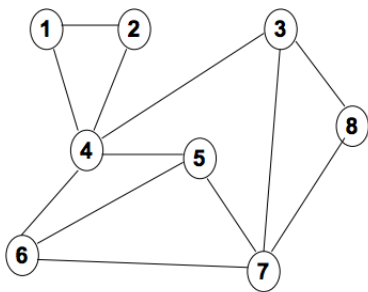
## Grafo completo

Os vértices são adjacentes dois a dois

- **Caminho** entre os vértices  $v_1$  e  $v_n$  é uma sequência de vértices  $(v_1, v_2, , v_3, \dots, v_{n-1}, v_n)$  tal que  $(v_1, v_2), (v_2, v_3), \dots, (v_{n-1}, v_n)$  são arestas do grafo.
- Um **caminho** é **simples** se não tem arestas repetidas.
- Um **caminho** é **elementar** se não tem vértices repetidos.
- **Circuito** é um caminho simples com uma aresta incidente nos vértices extremos do caminho  $\{v_1 - v_2, \dots, v_{n-1} - v_1\}$ .
- **Ciclo** é um caminho elementar com uma aresta incidente nos vértices extremos do caminho  $\{v_1 - v_2, \dots, v_{n-1} - v_1\}$ .
- Comprimento de um caminho (ciclo) é o número de arestas que o constitui.

## Exemplo:

Considere o grafo.



### Caminho simples de 1 para 8

1 — 2 — 4 — 6 — 5 — 4 — 3 — 8

### Caminho elementar de 1 para 8

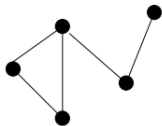
1 — 2 — 4 — 5 — 7 — 3 — 8

### Ciclo que cubra vértices 3, 4, 5, 7, 8

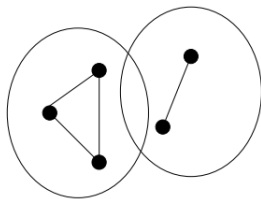
4 — 3 — 8 — 7 — 6 — 4



- Um grafo  $G = (V, A)$  é **conexo** se e só se existe um caminho entre quaisquer dois dos seus vértices.



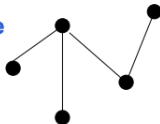
**conexo**



**não conexo**

**2 componentes  
conexas**

Um grafo conexo sem ciclos diz-se uma **árvore**



- **Caminho de Euler:** caminho simples que contém todas as arestas do grafo (logo também contém todos os vértices)
- **Circuito de Euler:** circuito que contém todas as arestas do grafo.
- **Grafo Euleriano** se contém um **circuito Euleriano**.
- Um grafo conexo admite um circuito de Euler se e somente se todos os seus vértices têm grau par.
- Um grafo conexo admite um caminho de Euler se e somente se tem exatamente dois vértices de grau ímpar.

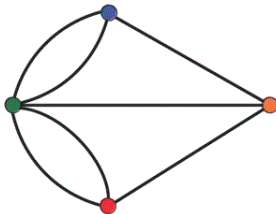
Voltando lá em Königsberg, o problema tem solução?

# Grafos - Caminhos e Circuitos Eulerianos

a



b

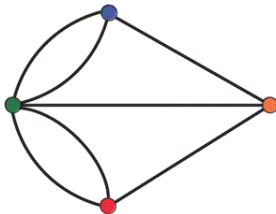


# Grafos - Caminhos e Circuitos Eulerianos

a



b



Não tem solução :(

- 1859 Sir William Hamilton - Problema proposto: Volta ao mundo. Dodecaedro regular com 20 vértices. Cada vértice tem o nome de uma cidade. Determinar um ciclo que passe em cada cidade uma única vez.

- **Caminho Hamiltoniano:** caminho elementar que contém todas os vértices do grafo.
- **Ciclo Hamiltoniano:** ciclo que contém todos os vértices do grafo.
- **Grafo Hamiltoniano** se contiver um **ciclo Hamiltoniano**.
- Existem algoritmos polinomiais para a determinação de circuitos Eulerianos.
- Não são conhecidos algoritmos polinomiais para a determinação de ciclos Hamiltonianos.

Problema do Caixeiro Viajante?

- Existem três estruturas de dados para representar grafos:
  - Matriz de adjacências
  - Lista de adjacências
  - Matriz de Incidência

- Uma matriz de adjacências para um grafo **não-orientado** é uma matriz tal que:  
 $M(i,j) = 1$  se a aresta  $(i,j)$  existe  
 $M(i,j) = 0$  caso contrário  
Onde  $i$  e  $j$  são vértices do grafo.



- Uma matriz de adjacências para um grafo **orientado** é uma matriz tal que:  
Se NÃO existe a aresta  $(i, j)$  entre dois vértices  $i$  e  $j$  então  $M(i, j) = 0$ .  
Se existe a aresta orientada  $(i, j)$  entre dois vértices  $i$  e  $j$  então  $M(i, j) = 1$ .  
Se existe a aresta orientada  $(j, i)$  entre dois vértices  $j$  e  $i$  então  $M(j, i) = -1$ .

- Em caso de **grafos valorados** tem-se:  
Se NÃO existe a aresta  $(i, j)$  entre dois vértices  $i$  e  $j$  então  $M(i, j) = 0$ .  
Se existe a aresta valorada  $(i, j)$  entre dois vértices  $i$  e  $j$  então  $M(i, j) = \text{valor de } i \text{ a } j$ .

- Nesta representação emprega-se a estrutura de lista de modo que as  $n$  linhas da matriz de adjacência são representadas como  $n$  listas encadeadas.
- Existe uma lista para cada vértice em  $G$ . Os nós na lista  $i$  representam os vértices que são adjacentes ao vértice  $i$ .
- Cada nó na lista possui pelo menos dois campos:  
VÉRTICE: armazena o índice do vértice que é adjacente  $i$ .  
NEXT: um ponteiro para o próximo nó adjacente.
- As cabeças das listas podem ser armazenadas em um array de ponteiros para facilitar o acesso aos vértices.

- Sendo  $G(V, A)$  um grafo de  $n$  vértices  $v_1, v_2 \dots v_n$ , e  $m$  arestas  $a_1, a_2 \dots a_m$ , e nenhum laço.
- Uma matriz de incidência é uma matriz  $n \times m$ , onde o valor de cada elemento  $e_{jk}$  da matriz é determinado da seguinte maneira:  
 $M(i, j) = 1$  se a aresta  $a_k$  é incidente ao vértice  $a_j$ .  
 $M(i, j) = 0$  caso contrário

1. Usando uma matriz de adjacências, crie um grafo orientado e calcule os graus de seus vértices.
2. Usando uma lista de adjacências, crie um grafo não-orientado e calcule os graus de seus vértices.
3. Você foi contratado(a) para montar a nova rede do Coltec (O Fabrício cansou e fugiu). Você sabe que existem 10 servidores nessa rede e cada servidor está conectado a 8 máquinas. Os 10 servidores se comunicam entre si, mas cada um é responsável único por suas 8 máquinas. Usando um grafo, faça um programa para detectar quando há falha de comunicação entre algum dos servidores.

Na próxima aula...

Busca em Grafos