

# Respostas do Aquecimento para a Prova 1 (P1) – Grafos (INE5413)

Ciências da Computação – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael de Santiago

Nome:

Matrícula:

Observações gerais:

- A prova deverá ser concluída até as 10h00m;
- Pode ser utilizado material para consulta;
- Não será permitido compartilhamento de material de consulta.

1. (2.5pt) Considere o seguinte problema: Em um setor de investigações da polícia em uma determinada cidade, têm-se acesso às seguintes informações de ligações telefônicas que acontecem na área: dados sobre os contatos telefônicos (nome e CPF do proprietário da linha); listagem de quem ligou para quem dentro da mesma cidade; e duração de cada ligação. Recentemente, há uma demanda no setor relacionada a identificar as pessoas próximas a um indivíduo sendo investigado. No contexto de ligação telefônica, os investigadores consideram apenas ligações com mais de 30 segundos. São consideradas pessoas próximas, a distância de até duas ligações. Ou seja, se o indivíduo A ligou para B que ligou para C e as ligações duraram mais de 30 segundos cada, considera-se que A, B e C são indivíduos “próximos” para o contexto investigativo, inclusive se A e C não tiverem registros de ligações com mais de 30 segundos entre si. Com base nesse problema, responda:

- (a) (0.5pt) Qual tipo de grafo poderia ser utilizado para o problema (dirigido ou não, ponderado ou não)? Justifique.

**Resposta:** Para representar o problema, se utilizaria um grafo não-dirigido e não-ponderado. Não-ponderado porque é importante tomar nota se houve ou não ligações entre dois indivíduos. Não-dirigido porque a origem e o destino da ligação é ignorada, já que se considera que os dois envolvidos são considerados próximos apenas por entrarem em contato.

- (b) (1.0pt) Como seria a montagem do grafo de entrada para o problema?

**Resposta:** Cria-se um vértice  $G = (V, E)$ , onde  $V$  é o conjunto de indivíduos e  $E$  é o conjunto de ligações, no qual cada aresta  $\{u, v\} \in E$  representa uma ligação telefônica que durou mais de 30s entre os indivíduos  $u$  e  $v$ .

- (c) (1.0pt) Qual dos algoritmos estudados poderia ser utilizado? O que deveria ser modificado nesse algoritmo?

**Resposta:** Devido a propriedade de caminho mínimo para grafos não-ponderados (Teorema 3.1.5 nas Anotações da Disciplina), encontra-se a conexão entre cada par de indivíduos com o menor número de arestas através de uma busca em largura. Então, utilizaria uma busca em largura modificada. Essa busca não incluiria vizinhos de vértices com  $d_u \geq 2$  na fila.

2. (2.5pt) Considere o seguinte problema: Uma empresa quer participar de um edital para conectar várias localidades utilizando uma linha férrea. No levantamento, há 1000 localidades denominadas de  $l_1, l_2, \dots, l_{1000}$ , nas quais  $l_1$  é o começo e o destino da linha férrea. Uma das questões principais para participar da licitação é ser competitivo no preço da grande obra. Nesse contexto, a empresa deseja encontrar um ciclo que atenda as localidades sem a necessidade de construir pontes, atravessar morros e realizar grandes desapropriações de terra. Para isso, os técnicos da empresa se reuniram e definiram uma listagem de pares de localidades que não poderiam ser conectadas pois inviabilizariam o projeto. Deseja-se então desenvolver um programa de computador que faça o cálculo se é viável ainda conectar todos os pontos através de um ciclo. Com base no relatado acima, responda:

- (a) (1.25pt) Como seria a montagem do grafo de entrada para o problema?

**Resposta:** Um grafo  $G = (V, E)$  não-dirigido e não-ponderado seria criado, no qual  $V$  seria o conjunto de localidades. A criação do conjunto de arestas se daria em dois passos: (i) primeiro, consideraria-se que cada par de vértices são conectados (grafo completo), então  $E = V \times V$ ; (ii) depois, removeria-se as arestas correspondentes à listagem de pares de localidades que não poderia ser conectadas.

- (b) (1.25pt) Qual dos algoritmos estudados poderia ser utilizado? O que deveria ser modificado nesse algoritmo?

**Resposta:** Como se necessita de um ciclo que passe por todas as localidades e dadas as restrições de custo, considera-se encontrar um ciclo hamiltoniano. Portanto, utilizaria-se o algoritmo de Bellman-Held-Karp para procurá-lo.

3. (2.5pt) Sabe-se que o algoritmo de Floyd-Warshall tem complexidade de tempo  $\Theta(|V|^3)$  para encontrar os caminhos de menor custo entre todos os vértices de um grafo  $G = (V, E, w : E \rightarrow \mathbb{R})$ . Considerando que  $G$  tenha  $|E| \approx |V|$  e não tenha arestas com pesos negativos, faça:

- (a) (1.5pt) Crie um algoritmo mais eficiente que Floyd-Warshall para encontrar os caminhos mínimos para cada par de vértices em  $G$ . Se for necessário, considere que está a disposição os algoritmos de Bellman-Ford (complexidade de tempo  $O(|V||E|)$ ) e Dijkstra (complexidade de tempo  $O(|V| + |E|) \log_2 |V|$ )

**Resposta:** O algoritmo para atender a solicitação se encontra abaixo. Nele, descobre-se o custo dos menores caminhos a partir de cada vértice para cada outro em  $G$ .

---

**Algorithm 1:** Algoritmo da Questão 3(a).

---

**Input** : um grafo ponderado  $G = (V, A, w)$   
1 criar matriz de distâncias  $D$  com  $\mathbb{R}^{|V| \times |V|}$   
2 preencher matriz com  $d_{uv} \leftarrow \infty$  para todo  $u, v \in V$   
3 **foreach**  $v \in V$  **do**  
4      $(D', A') \leftarrow \text{Dijkstra}(G, v)$   
5     **foreach**  $u \in V$  **do**  
6          $d_{vu} \leftarrow D'_u$   
7 **return**  $D$

---

- (b) (0.5pt) Calcule a complexidade de tempo do algoritmo produzido;

**Resposta:** A definição inicial da matriz nas linhas 1 e 2 consome  $\Theta(|V|^2)$  operações. O laço da linha 3 realiza  $|V|$  vezes a chamada do algoritmo de Dijkstra ( $O(|V| + |E|) \log_2 |V|$ ) e

$|V|$  vezes um laço de repetição que passa sobre cada vértice. Como  $|E| \approx |V|$ , cada chamada do Dijkstra demandaria  $O(|V| \log_2 |V|)$ . Então, têm-se a complexidade de  $O(|V|^2 \log_2 |V|)$  que é dominada assintoticamente por  $\Theta(|V|^3)$ , ou seja, o algoritmo proposto é mais eficiente que Floyd-Warshall.

- (c) (0.5pt) Caso não tenha usado um dos algoritmos dispostos (Bellman-Ford ou Dijkstra), justifique.

**Resposta:** O uso de Bellman-Ford se justificaria apenas se o grafo de entrada possuísse arestas de peso negativo, pois Dijkstra é mais eficiente que Bellman-Ford para grafos com pesos não-negativos.

4. (2.5pt) Seja  $G = (V, A, w)$  um grafo dirigido e ponderado, crie um algoritmo para determinar os caminhos mínimos a partir de todo  $v \in V$  para um vértice  $t$ . Caso seja necessário, pode-se chamar os algoritmos Bellman-Ford (complexidade de tempo  $O(|V||E|)$ ) e Dijkstra (complexidade de tempo  $O(|V| + |E|) \log_2 |V|$ ) como se já estivessem implementados.

**Resposta:** O algoritmo para atender a solicitação se encontra abaixo. No algoritmo, por inverter o sentido dos arcos, ao executar um algoritmo como Bellman-Ford ou Dijkstra com  $t$  como vértice de “origem” (agora destino), se obtém os caminhos mínimos de todos os vértices para  $t$ .

---

**Algorithm 2:** Algoritmo da Questão 4.

---

```

Input : um grafo dirigido e ponderado  $G = (V, A, w)$ , um vértice de destino  $t$ 
1  $A' \leftarrow \{\}$ 
2 criar função  $w' : A' \rightarrow \mathbb{R}$ 
3 foreach  $(u, v) \in A$  do
4    $A' \leftarrow A' \cup \{(v, u)\}$ 
5   define  $w'((v, u)) \rightarrow w((u, v))$ 
6  $G' \leftarrow (V, A', w')$ 
   /*  $D_u$  define as distâncias a partir de  $u$  até  $t$  e  $S_u$  seria o sucessor de  $u$  no caminho
   até  $t$ . */
7  $(D, S) \leftarrow \text{Bellman-Ford}(G', t)$ 
8 return  $(D, S)$ 

```

---

Boa Prova!