

```

if ExisteAresta (Aresta, Grafo)
then writeln ('Sim')
else writeln ('Nao');
write ('Retira aresta: ');
for j := 0 to Grafo.r - 1 do read (Aresta.Vertices[j]); readln;
if ExisteAresta (Aresta, Grafo)
then begin
    Aresta := RetiraAresta (Aresta, Grafo);
    write ('Aresta retirada:');
    for i := 0 to Grafo.r - 1 do write (Aresta.Vertices[i]:3);
    writeln (Aresta.Peso:4);
    end
else writeln ('Aresta nao existe');
ImprimeGrafo (Grafo);
end.

```

Notas Bibliográficas

A descrição dos principais algoritmos, em especial os algoritmos de busca em profundidade e de busca em largura, segue as propostas de Cormen, Leiserson, Rivest e Stein (2001). Uma boa referência introdutória sobre grafos e algoritmos computacionais é a de Szwarcfiter (1989). Outras referências incluem Aho, Hopcroft e Ullman (1983) e Sedgewick (2002).

Exercícios

1. Dada uma representação por listas de adjacência de um grafo direcionado, qual é o custo para obter o número de arestas que incidem nele (*in-degree*)? E o número de arestas que saem dele (*out-degree*)?
2. Implemente um algoritmo linear para verificar se um grafo é **acíclico**, conforme descrito na Seção 7.4. Use o algoritmo para realizar **busca em profundidade**, alterando o Programa 7.9.
3. Você foi chamado para projetar a rede de computadores de uma biblioteca. A planta física da biblioteca mostra os locais onde N máquinas deverão ser instaladas (Almeida, 2010). A planta apresenta as possibilidades de conexão direta entre pares de máquinas por meio de cabos. Para cada par de máquinas, a planta especifica a distância em metros e o tempo gasto para transferir uma mensagem de tamanho M entre duas máquinas. Cada máquina se comunica com cada uma das outras $N - 1$ máquinas. Considerando que o metro do cabo de conexão custa C reais, qual o custo mínimo de compra de cabos?

- a) Modele o problema para determinar o custo mínimo de cabos utilizando grafos.
- b) Apresente um algoritmo eficiente para determinar o custo mínimo na compra de cabos. O algoritmo é ótimo?
- c) Considerando que uma das N máquinas vai atuar como servidor de conteúdo digital que poderá ser acessado a partir dos demais $N - 1$ computadores, altere o projeto da rede de modo a minimizar o tempo gasto para transferir dados do servidor a qualquer uma das demais máquinas.
- d) Apresente um algoritmo eficiente para projetar a rede conforme a nova restrição imposta. O algoritmo é ótimo? Qual a ordem de complexidade da sua solução?
- e) Altere o projeto para considerar que as distâncias entre máquinas diretamente conectadas são pequenas e o tempo de transferência de uma mensagem de tamanho padrão é o mesmo entre quaisquer duas máquinas diretamente conectadas. Apresente um algoritmo mais eficiente, em termos de ordem de complexidade, que o apresentado no item anterior para projetar a rede de computadores conforme restrição imposta no item c). Apresente a ordem de complexidade do algoritmo.

4. Altere o procedimento *BuscaEmProfundidade* (Programa 7.9) para classificar cada **tipo de aresta** em uma busca em profundidade em um grafo $G = (V, A)$, conforme a classificação apresentada na Seção 7.3.
5. O grafo **transposto** de um grafo direcionado $G = (V, A)$ é definido como sendo o grafo $G^T = (V, A^T)$, em que $A^T = \{(u, v) : (v, u) \in A\}$, isto é, A^T consiste das arestas de G com suas direções invertidas. Discuta a complexidade do Programa 7.14 considerando as três representações para grafos apresentadas nas Seções 7.2.1 (matrizes de adjacência usando arranjos), 7.2.2 (listas de adjacência usando apontadores) e a 7.2.3 (listas de adjacência usando arranjos).
6. Apresente a implementação de um algoritmo para determinar se um grafo não direcionado $G = (V, A)$ contém um ciclo, cuja complexidade seja $O(|V|)$, independente de $|A|$.
7. Mostre como a busca em profundidade funciona para o grafo da Figura 7.24.

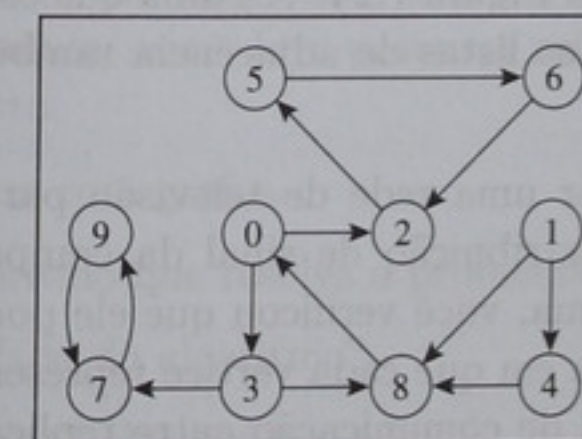


Figura 7.24 Grafo direcionado.