SSC 0125 – Verificação Validação e Teste de Software

Critérios de fluxo de controle

Prof. Marcio E. Delamaro

delamaro@icmc.usp.br

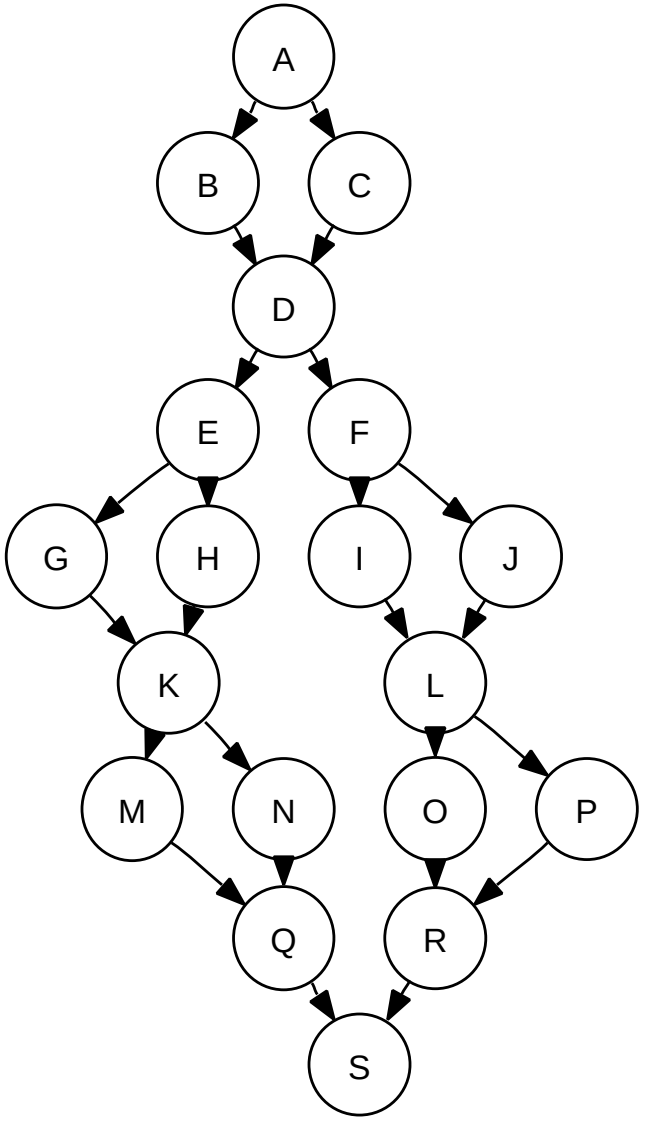
Critérios de fluxo de controle

- Utilizam apenas as informações contidas no GFC para derivar seus requisitos de teste.
- McCabe
- Rapps-Weyuker

Complexidade Ciclomática

- É uma medida de complexidade de código que é baseada no GFC
- Ela indica também o número de caminhos independentes (sem laço) que existem no grafo
- Por isso pode ser usada para selecionar casos de teste (caminhos)
- Cálculo:
  - C = arestas - vértices + 2
  - C = p + 1, onde p é o número de nós com decisão binária

Complexidade Ciclomática

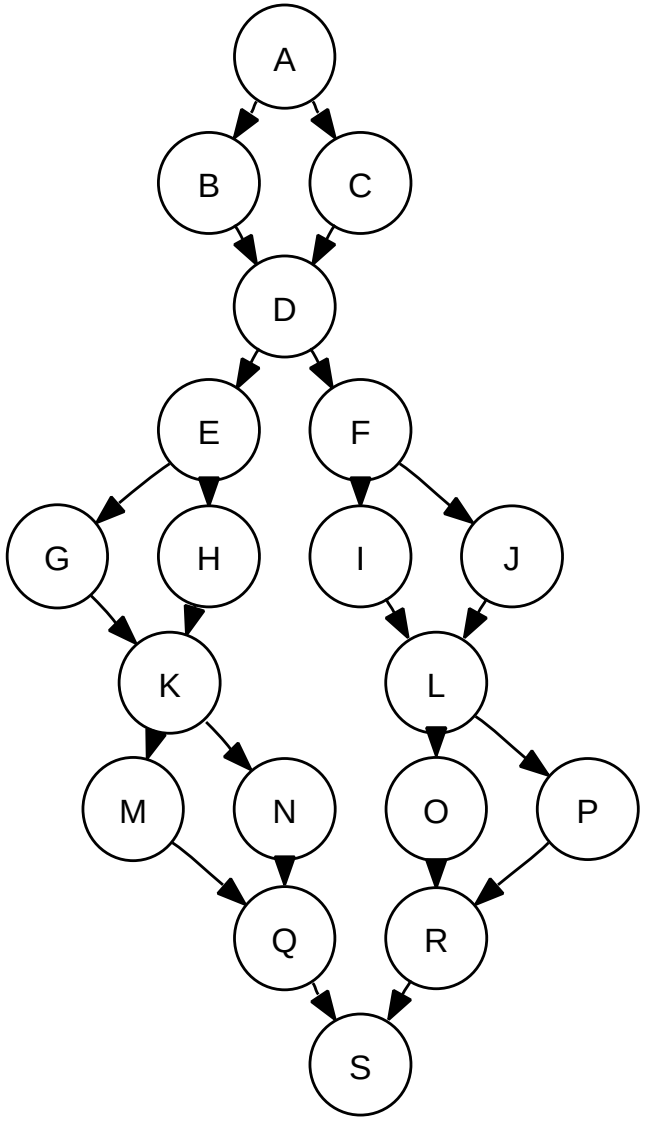


- C = 24 - 19 + 2 = 7
- C = 6 + 1 = 7
- Nesse grafo podemos identificar 7 caminhos “básicos” como descrito a seguir

Teste de caminhos básicos

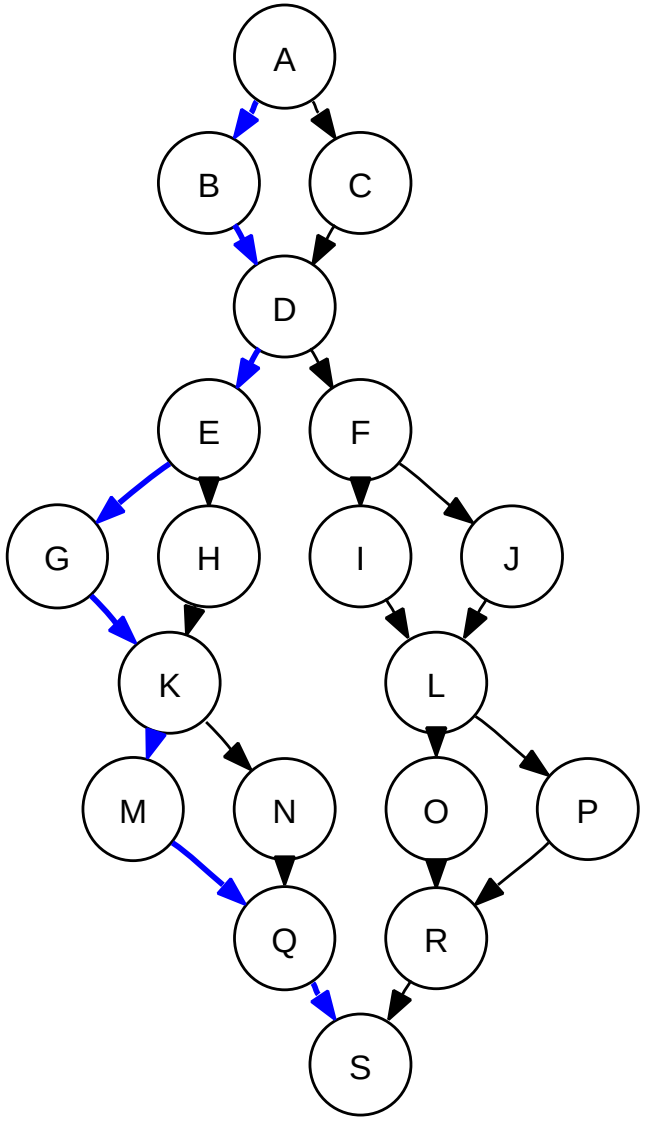
- Construir o GFC para o módulo do produto em teste.
- Calcular a Complexidade Ciclomática ($\mathcal{C}$).
- Selecionar um conjunto de $\mathcal{C}$ caminhos básicos.
- Criar um caso de teste para cada caminho básico.
- Executar os casos de testes.

Escolha dos caminhos



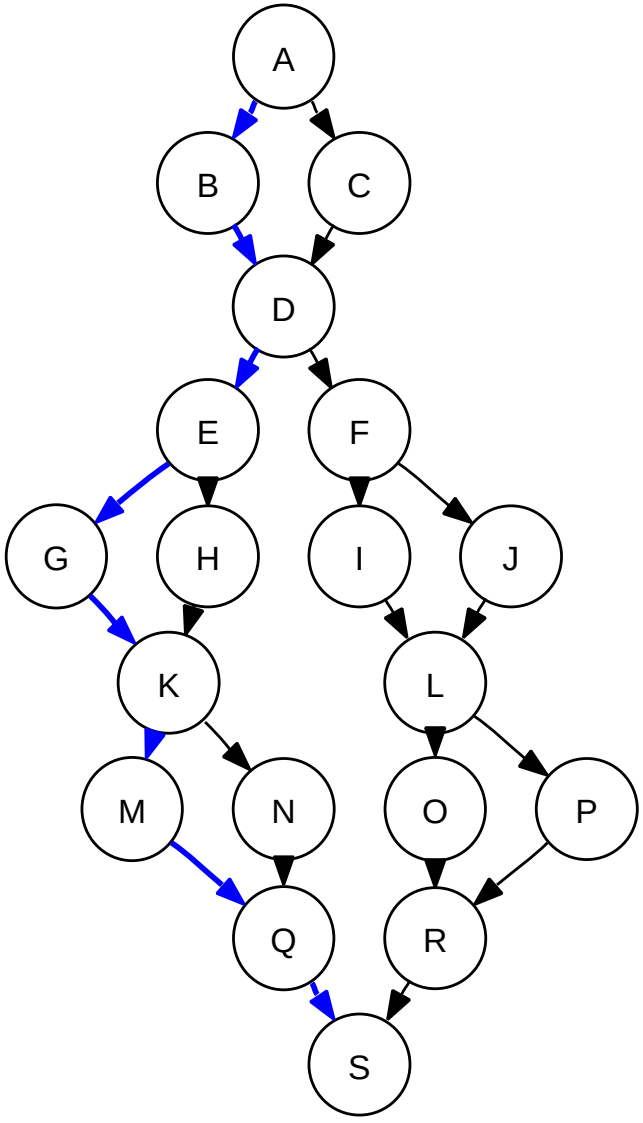
- Escolha um caminho básico. Esse caminho pode ser:
  - Caminho mais comum.
  - Caminho mais crítico.
  - Caminho mais importante do ponto de vista de teste.

Escolha dos caminhos



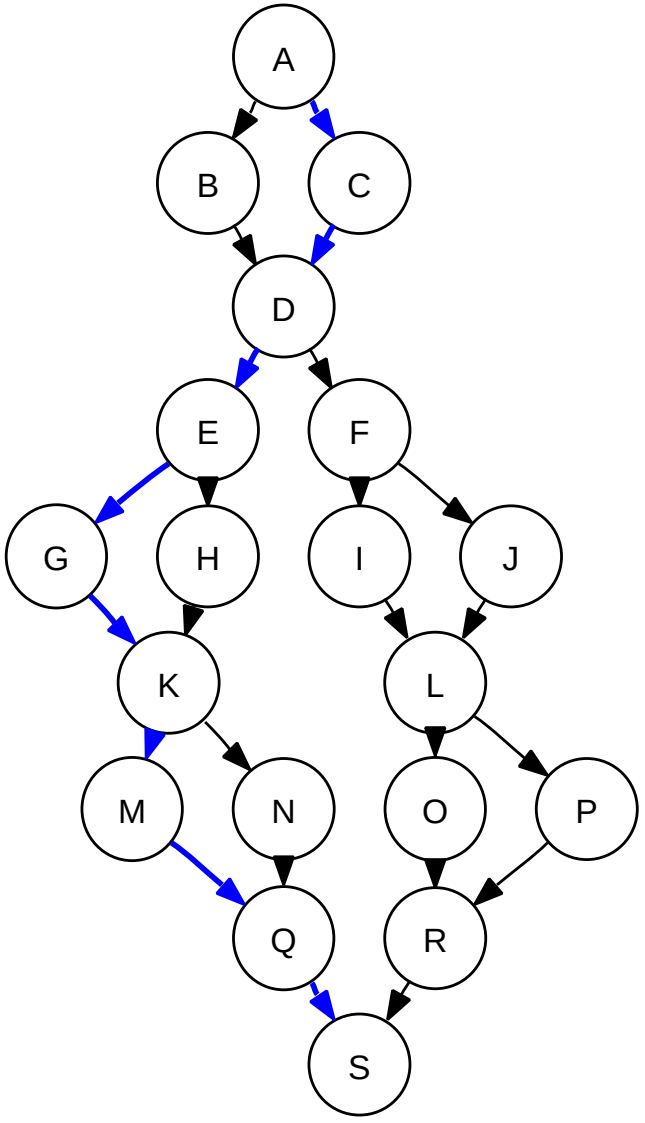
- Escolha um caminho básico. Esse caminho pode ser:
  - Caminho mais comum.
  - Caminho mais crítico.
  - Caminho mais importante do ponto de vista de teste.
- Caminho 1: ABDEGKMQS

Escolha dos caminhos



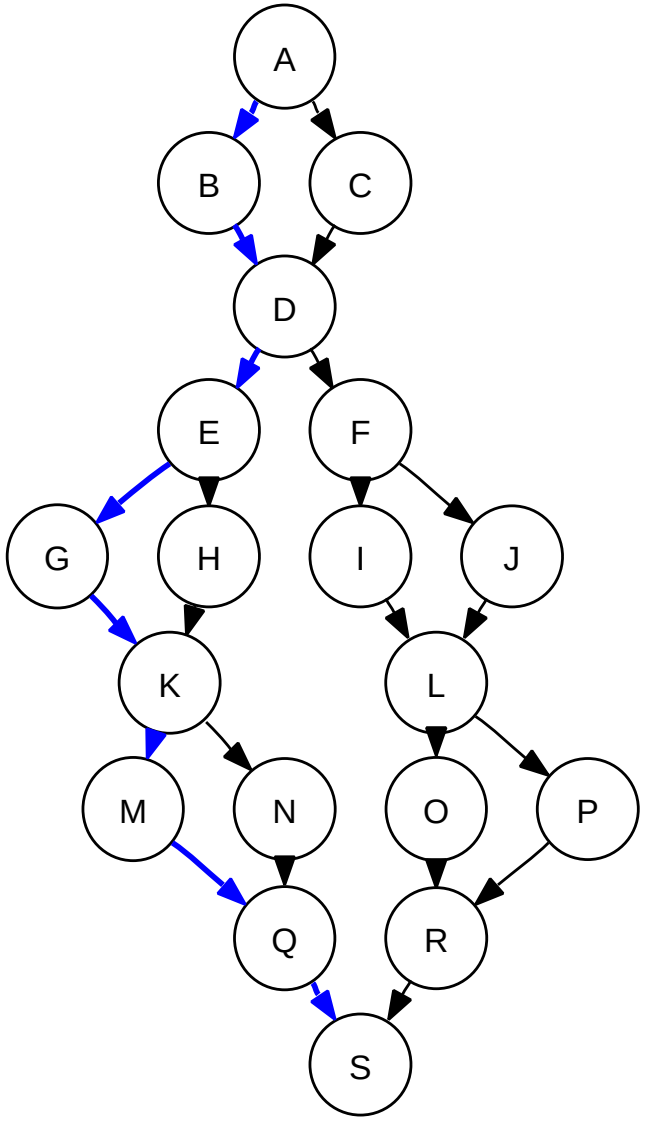
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão

Escolha dos caminhos



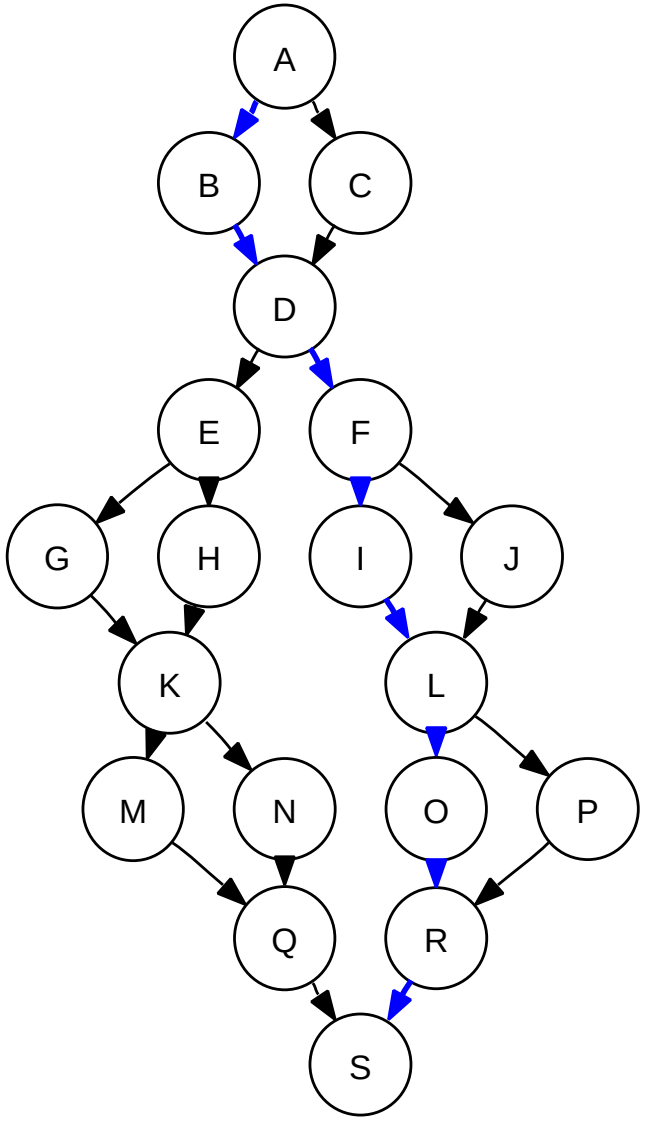
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS

Escolha dos caminhos



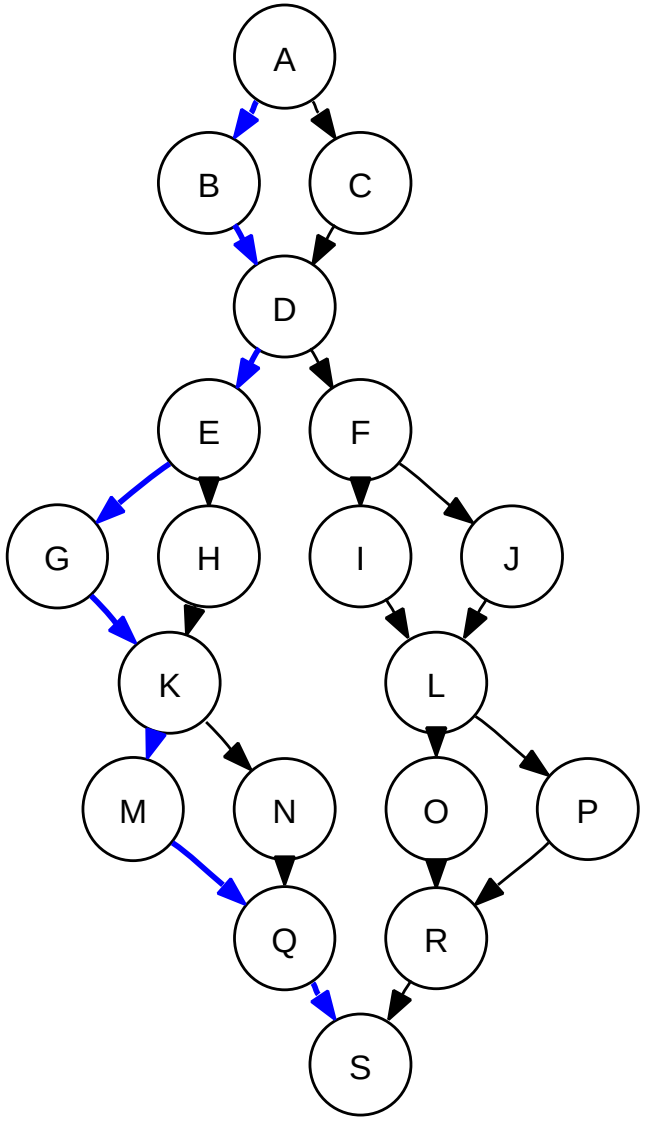
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.

Escolha dos caminhos



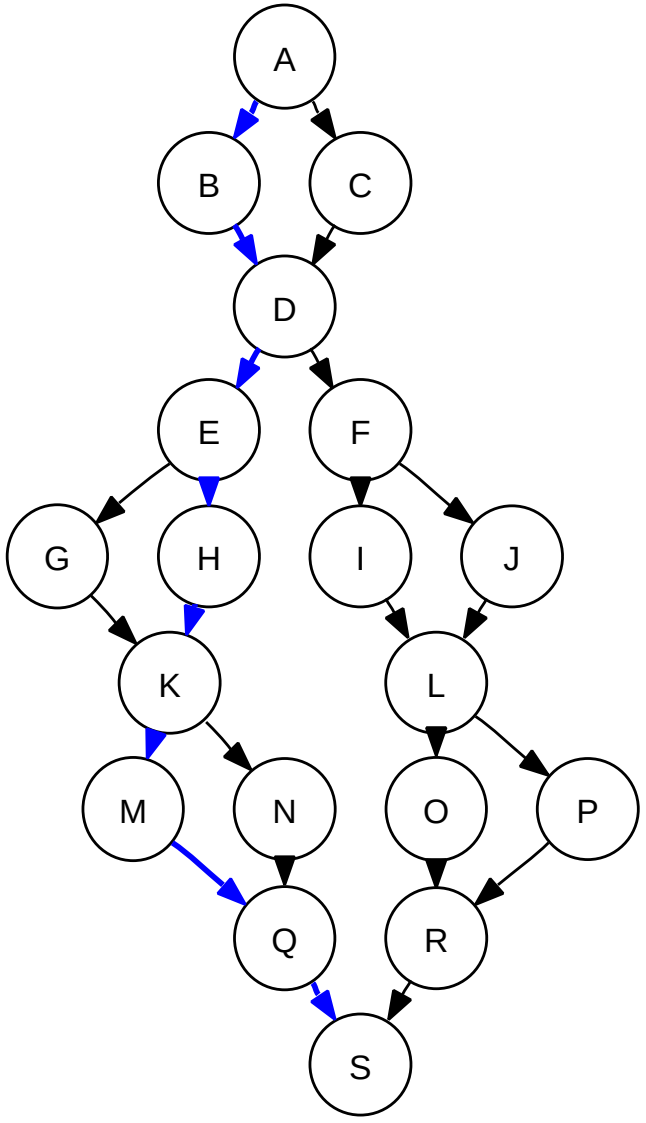
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.
- Caminho 3: ABDFILORS

Escolha dos caminhos



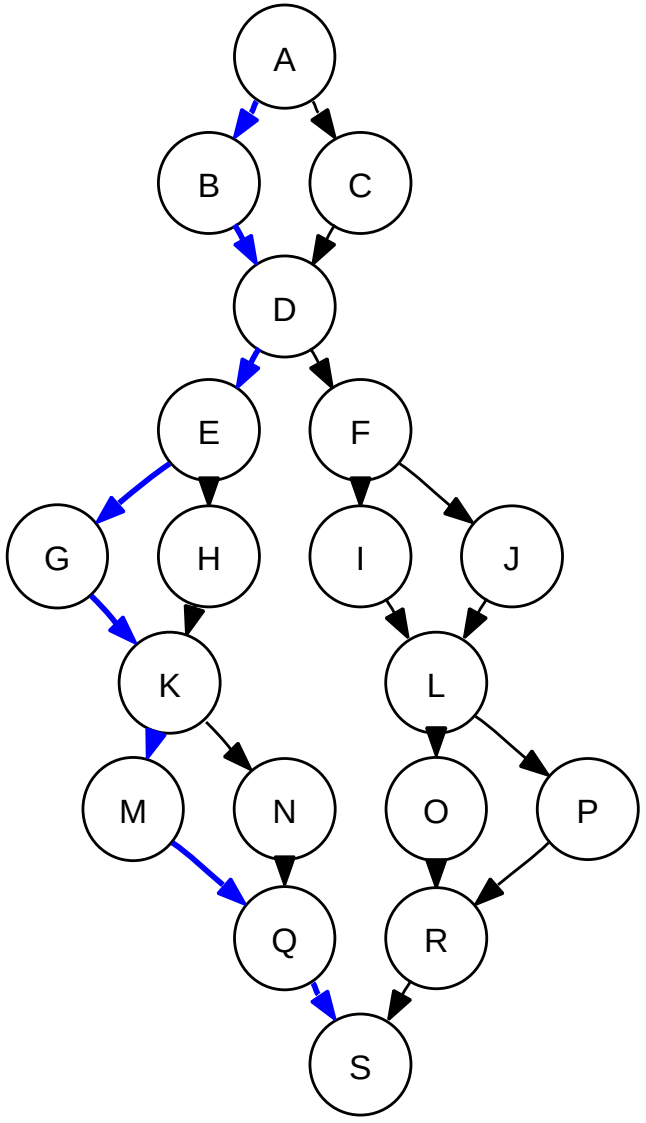
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.
- Caminho 3: ABDFILORS
- Alterar a saída do terceiro comando de decisão.

Escolha dos caminhos



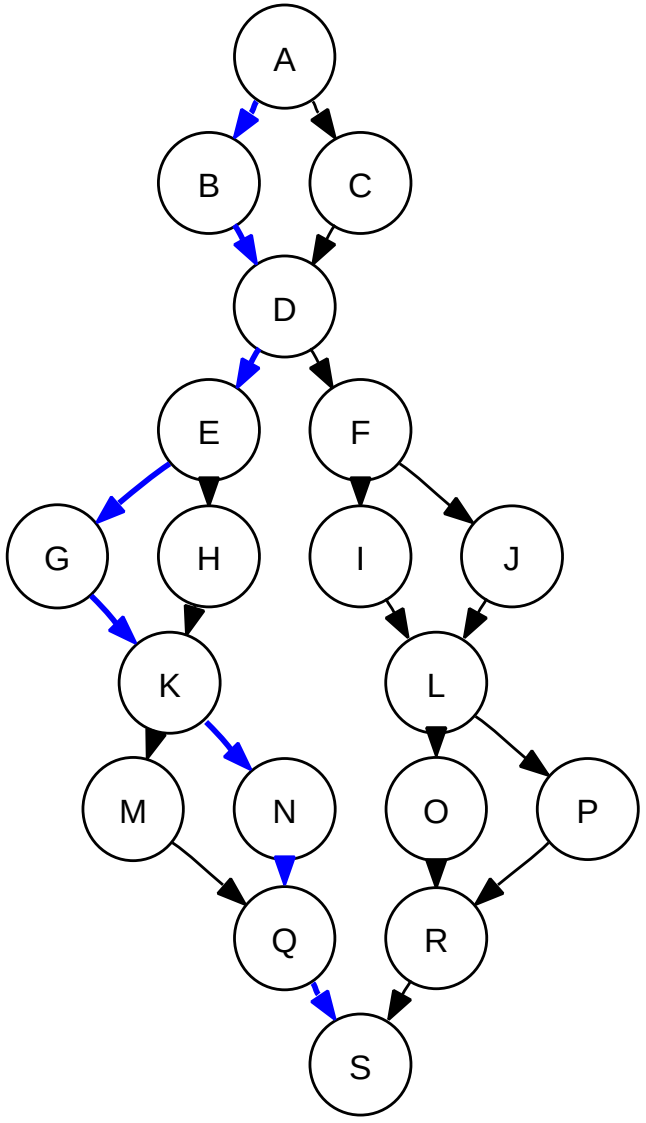
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.
- Caminho 3: ABDFILORS
- Alterar a saída do terceiro comando de decisão.
- Caminho 4: ABDEHKMQS

Escolha dos caminhos



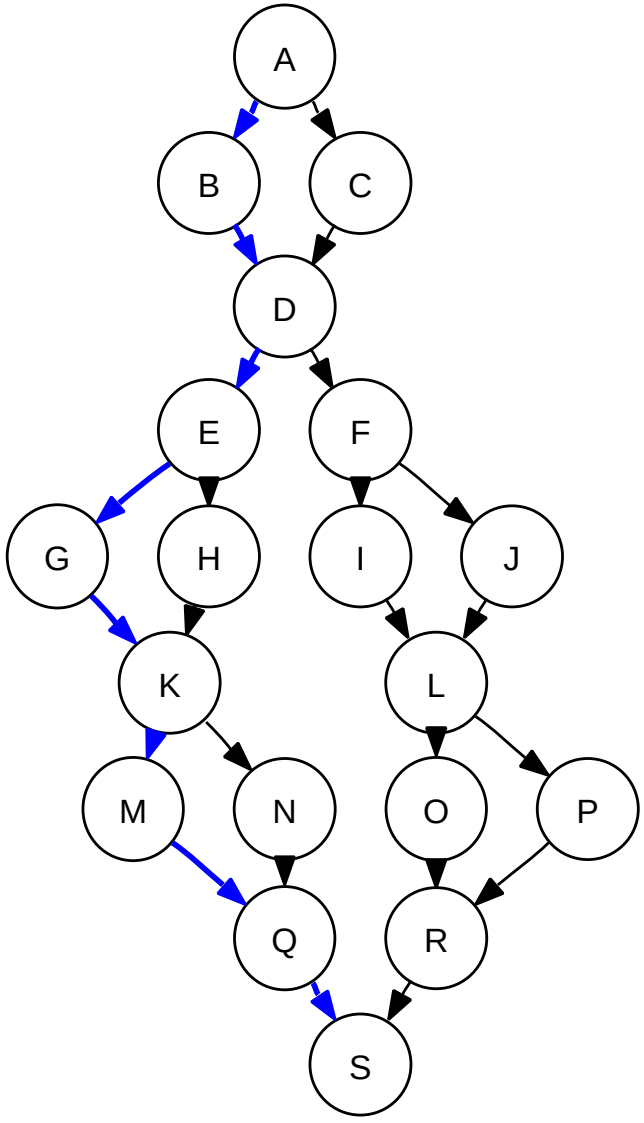
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.
- Caminho 3: ABDFILORS
- Alterar a saída do terceiro comando de decisão.
- Caminho 4: ABDEHKMQS
- Alterar a saída do quarto comando de decisão.

Escolha dos caminhos



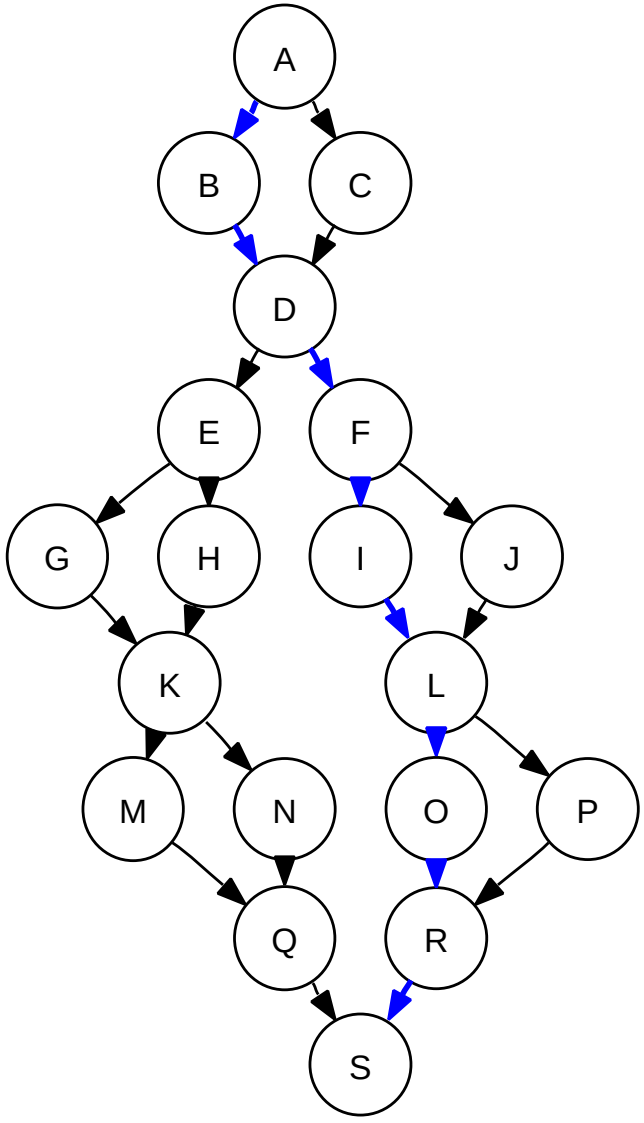
- Altere a saída só do primeiro comando de decisão
- Caminho 2: ACDEGKMQS
- Alterar a saída do segundo comando de decisão.
- Caminho 3: ABDFILORS
- Alterar a saída do terceiro comando de decisão.
- Caminho 4: ABDEHKMQS
- Alterar a saída do quarto comando de decisão.
- Caminho 5: ABDEGKNQS

Escolha dos caminhos



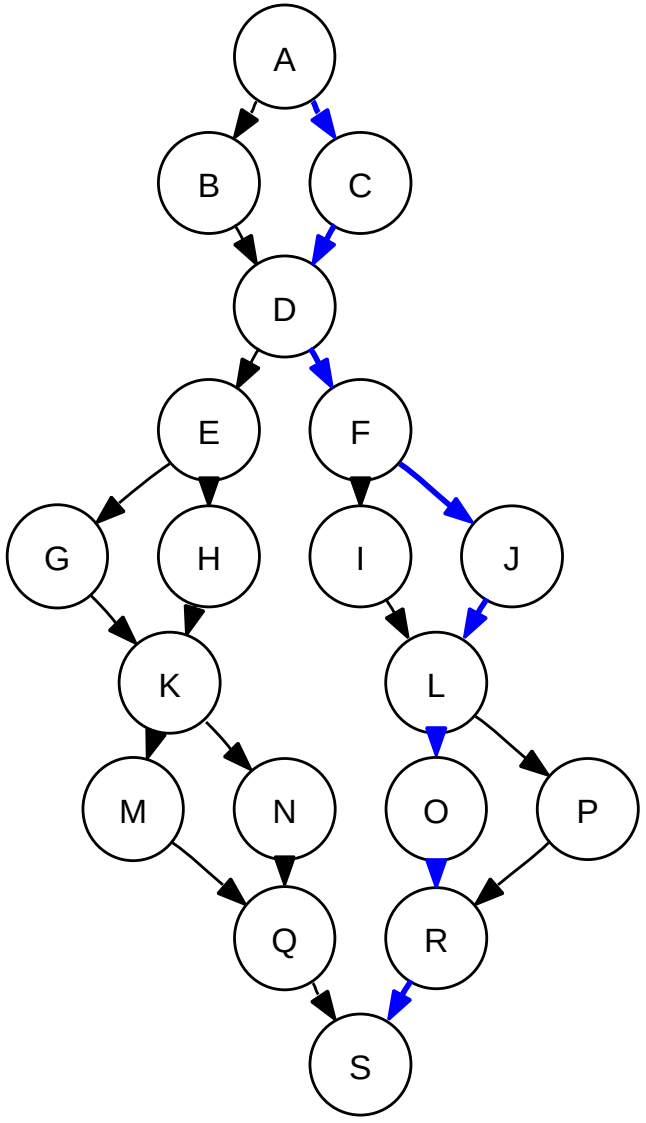
- Todos os comandos de decisão do caminho base foram modificados

Escolha dos caminhos



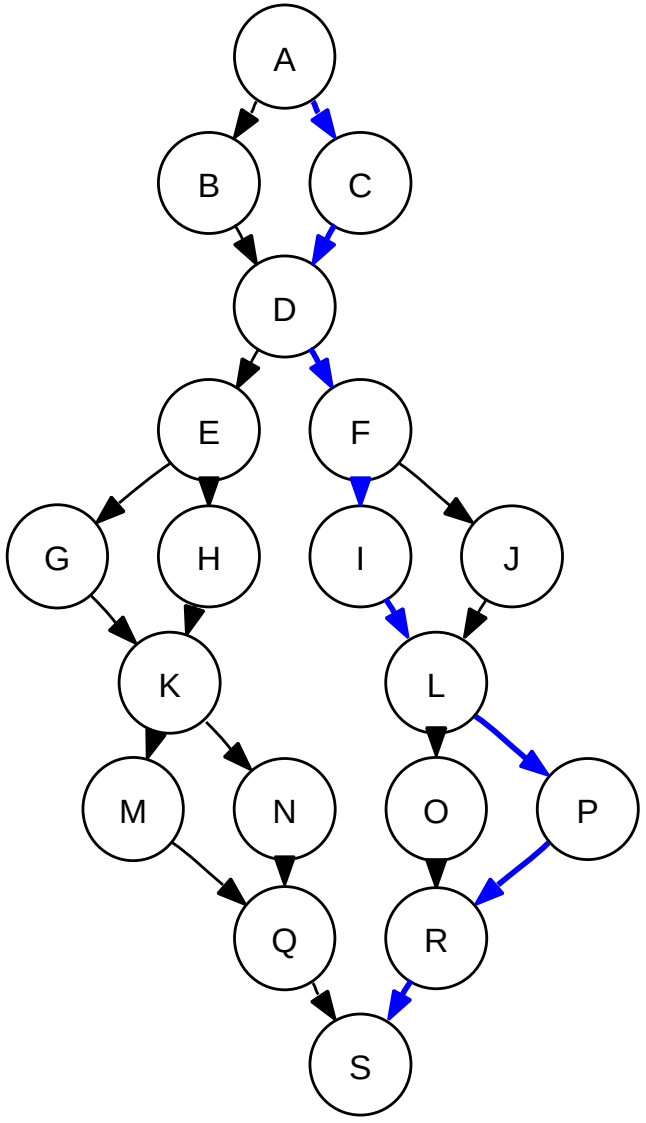
- Todos os comandos de decisão do caminho base foram modificados
- Fazer o mesmo para o caminho 3 (o 2 já foi tratado)

Escolha dos caminhos



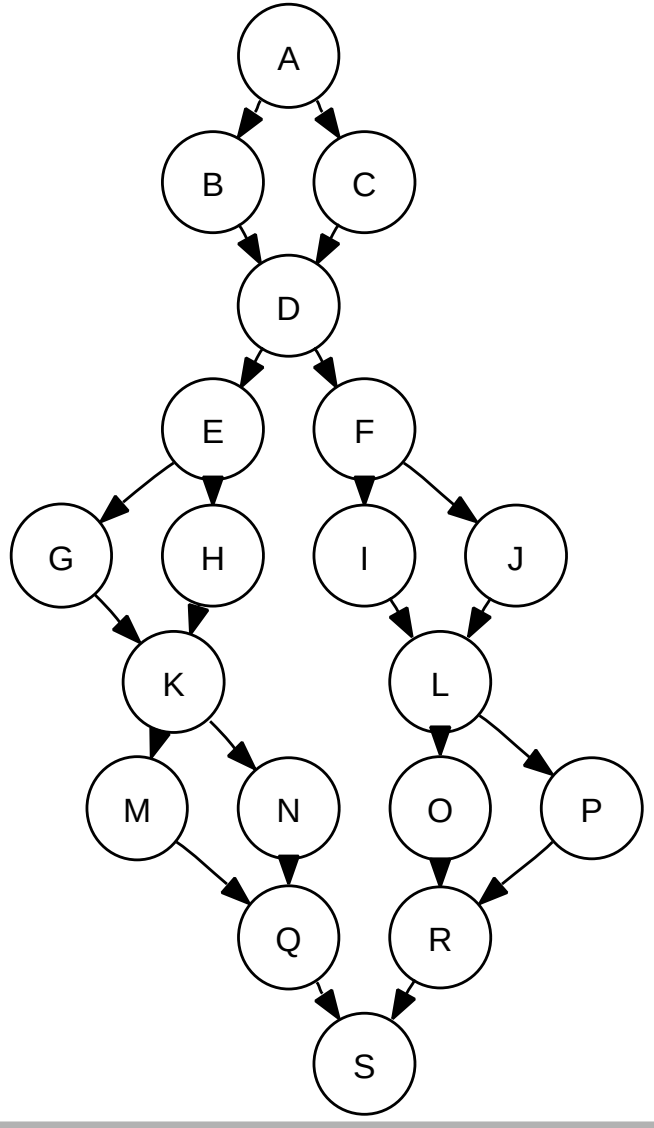
- Todos os comandos de decisão do caminho base foram modificados
- Fazer o mesmo para o caminho 3 (o 2 já foi tratado)
- Caminho 6: ACDFJLORS

Escolha dos caminhos



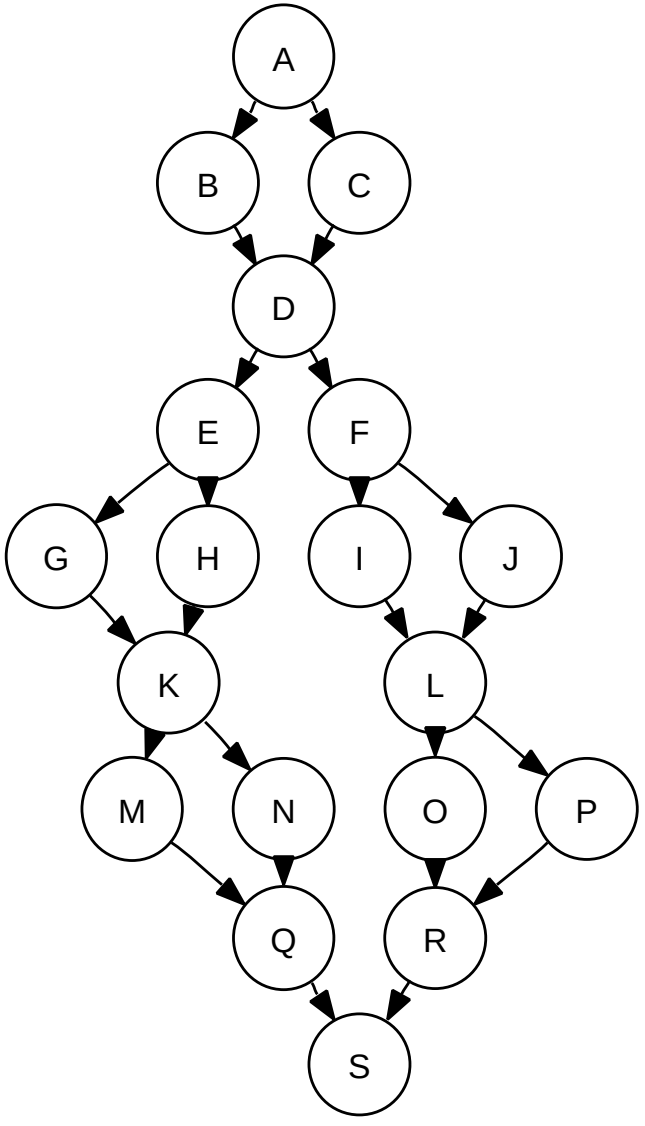
- Todos os comandos de decisão do caminho base foram modificados
- Fazer o mesmo para o caminho 3 (o 2 já foi tratado)
- Caminho 6: ACDFJLORS
- Caminho 7: ACDFILPRS

Requisitos de teste



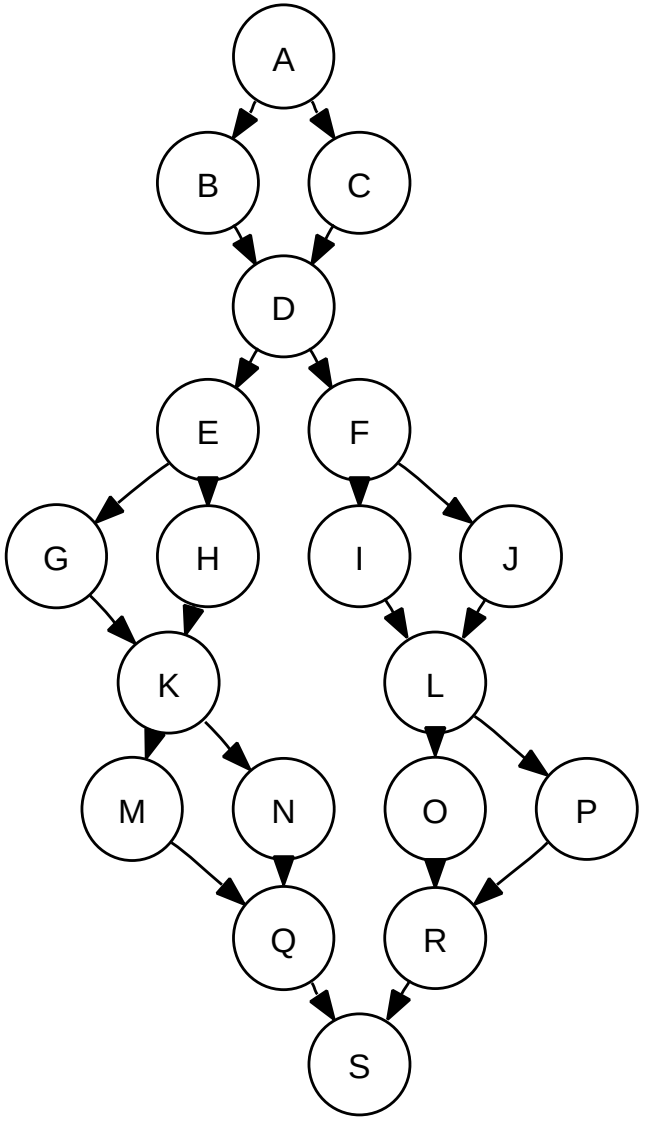
- Requisitos de testes derivado pelo critério.
  - ABDEGKMQS
  - ACDEGKMQS
  - ABDFILORS
  - ABDEHKMQS
  - ABDEGKNQS
  - ACDFJLORS
  - ACDFILPRS

Requisitos de teste



- Requisitos de testes derivado pelo critério.
  - ABDEGKMQS
  - ACDEGKMQS
  - ABDFILORS
  - ABDEHKMQS
  - ABDEGKNQS
  - ACDFJLORS
  - ACDFILPRS
- Conjunto criado não é único.

Requisitos de teste

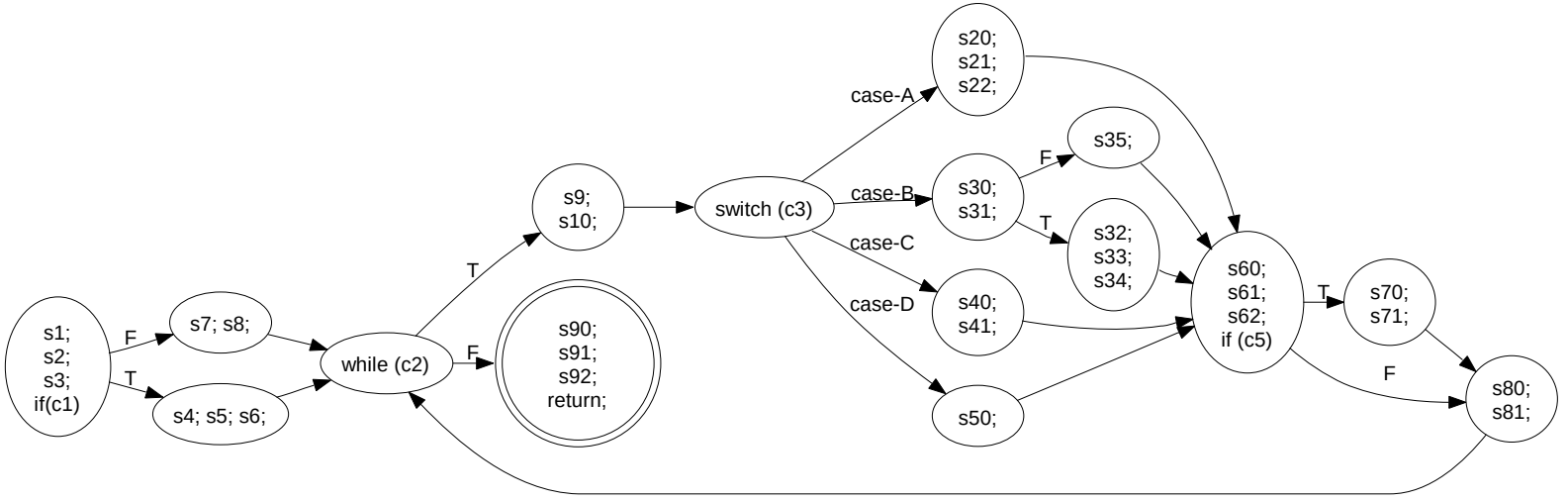


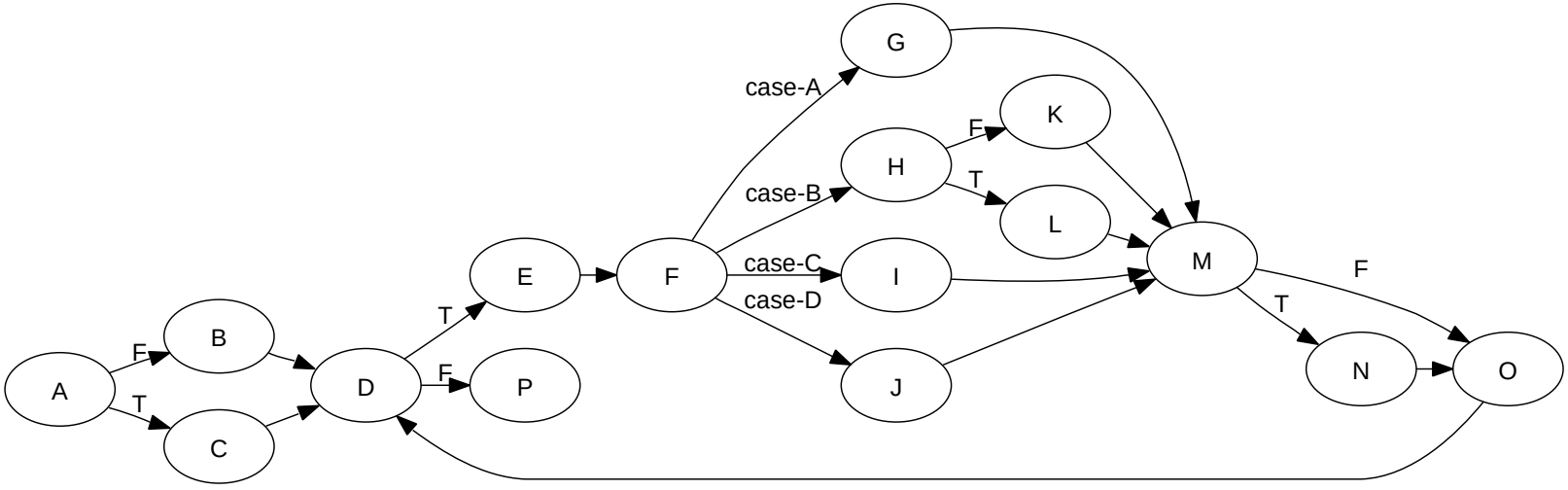
- Requisitos de testes derivado pelo critério.
  - ABDEGKMQS
  - ACDEGKMQS
  - ABDFILORS
  - ABDEHKMQS
  - ABDEGKNQS
  - ACDFJLORS
  - ACDFILPRS
- Conjunto criado não é único.
- Propriedade: o conjunto de teste que exercita os caminhos básicos também exercita todos-nós e todos-arcos do programa.

Exercício

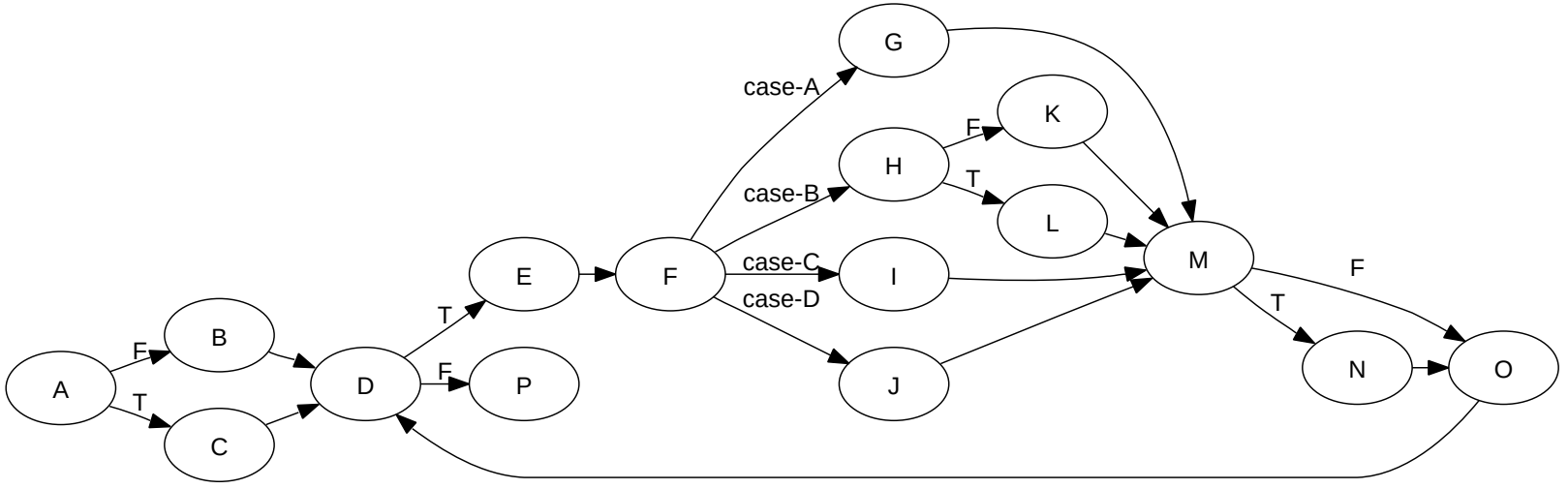
```
1   boolean evaluateBuySell (TickerSymbol ts) {
2   s1;
3   s2;
4   s3;
5   if (c1) {s4; s5; s6;}
6   else {s7; s8;}
7   while (c2) {
8      s9;
9      s10;
10     switch (c3) {
11        case_A:
12           s20;
13           s21;
14           s22;
15           break; // End of Case_A
16        case_B:
17           s30;
18           s31;
19           if (c4) {
20              s32;
21              s33;
22              s34;
23           }
24           else {
25              s35;
26           }
27           break; // End of Case_B
28        case_C:
29           s40;
30           s41;
31           break; // End of Case_C
32        case_D:
33           s50;
34           break; // End of Case_D
35        } // End Switch
36        s60;
37        s61;
38        s62;
39        if (c5) {s70; s71; }
40        s80;
41        s81;
42  } // End While
43  s90;
44  s91;
45  s92;
46  return result;
```

Solução – GFC


s1;
s2;
s3;
if(c1)
F
T
s7; s8;
s4; s5; s6;
while (c2)
T
F
s9;
s10;
s90;
s91;
s92;
return;
switch (c3)
case-A
case-B
case-C
case-D
s20;
s21;
s22;
s30;
s31;
s40;
s41;
s50;
F
T
s35;
s32;
s33;
s34;
s60;
s61;
s62;
if (c5)
T
F
s70;
s71;
s80;
s81;


A
F
T
B
C
D
T
F
E
P
F
case-A
case-B
case-C
case-D
G
H
I
J
F
T
K
L
M
F
T
N
O

Solução – complexidade



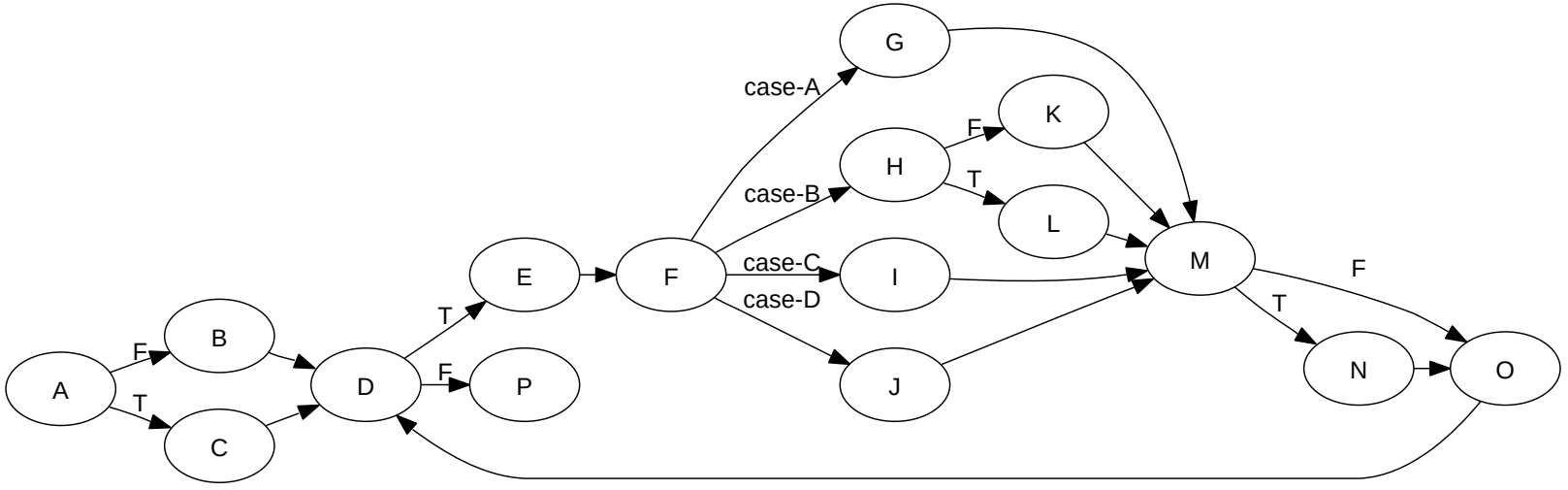
- Cálculo da complexidade ciclomática para o GFC acima:

  C = arcos - nós + 2

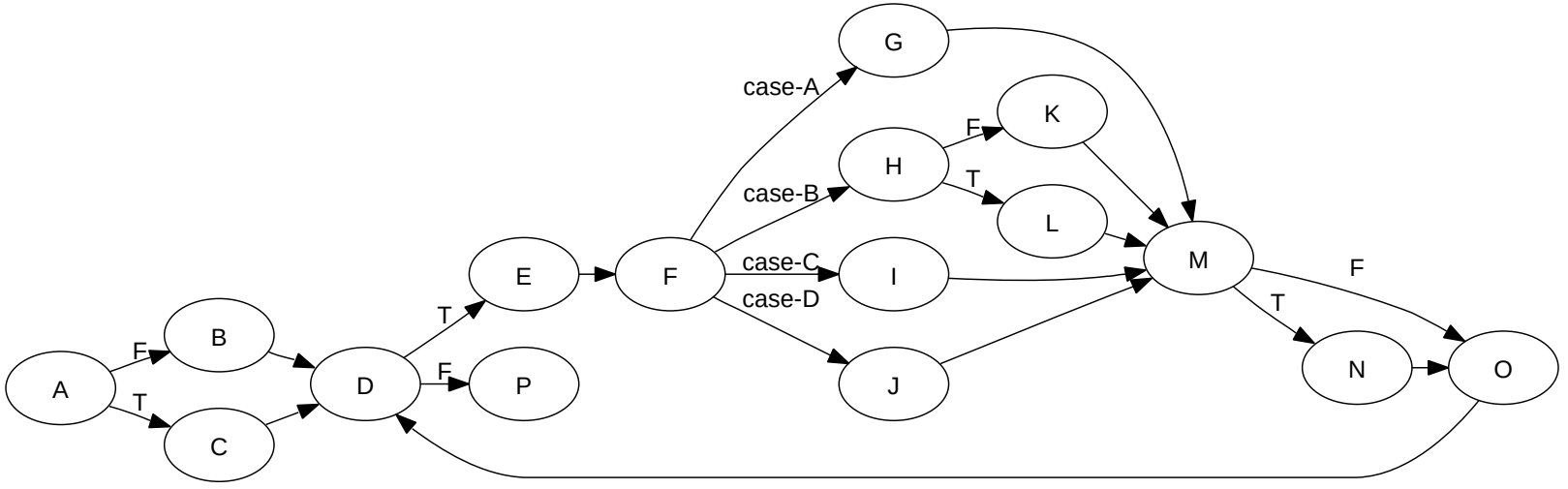
  C = 22-16+2

  C = 8

Solução – requisitos



Solução – requisitos



1. ABDP
2. ACDP
3. ABDEFGMODP
4. ABDEFHKMODP
5. ABDEFIMODP
6. ABDEFJMODP
7. ABDEFGMNODP
8. ABDEFHLMODP

Solução – casos de teste

1. ABDP
2. ACDP
3. ABDEFGMODP
4. ABDEFHKMODP
5. ABDEFIMODP
6. ABDEFJMODP
7. ABDEFHLMODP
8. ABDEFIMNODP

Caso Teste	C1	C2	C3	C4	C5
1	False	False	N/A	N/A	N/A
2	True	False	N/A	N/A	N/A
3	False	True	A	N/A	False
4	False	True	B	False	False
5	False	True	C	N/A	False
6	False	True	D	N/A	False
7	False	True	A	N/A	True
8	False	True	B	True	False

Exercício

- Mostre que se o GFC tem mais do que um nó de saída, a fórmula C = arestas - nós + 2 pode dar um resultado incorreto
- Sugira uma outra forma de computar o valor da CC para esses casos

Executabilidade

- Um dos problemas no teste estrutural, em geral, é a executabilidade

Executabilidade

- Um dos problemas no teste estrutural, em geral, é a executabilidade
- Um caminho π é dito não executável quando não existe um dado de entrada que faça com que esse caminho seja executado

Executabilidade

- Um dos problemas no teste estrutural, em geral, é a executabilidade
- Um caminho π é dito não executável quando não existe um dado de entrada que faça com que esse caminho seja executado
- Ao se determinarem os requisitos de teste é impossível determinar se são executáveis ou não

Executabilidade

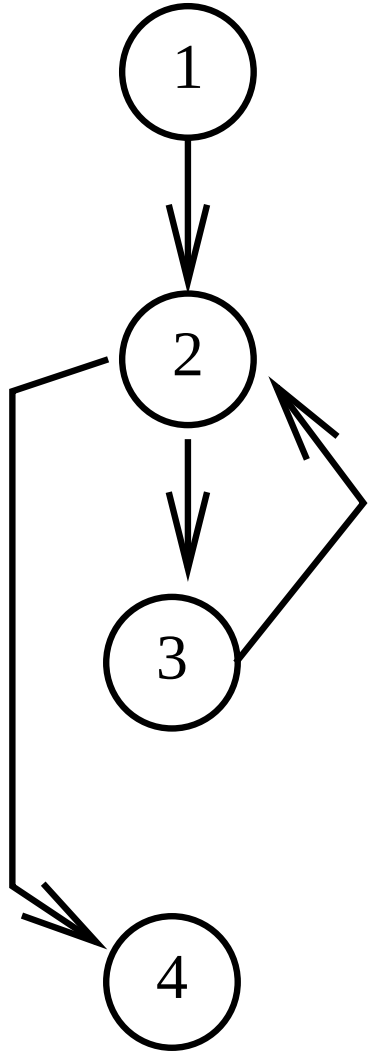
- Um dos problemas no teste estrutural, em geral, é a executabilidade
- Um caminho π é dito não executável quando não existe um dado de entrada que faça com que esse caminho seja executado
- Ao se determinarem os requisitos de teste é impossível determinar se são executáveis ou não
- Esse é um problema provado indecidível

Executabilidade

- Um dos problemas no teste estrutural, em geral, é a executabilidade
- Um caminho π é dito não executável quando não existe um dado de entrada que faça com que esse caminho seja executado
- Ao se determinarem os requisitos de teste é impossível determinar se são executáveis ou não
- Esse é um problema provado indecidível
- É um problema para a automatização da atividade de teste

Executabilidade

```
for (i = 0; i < 10; i++)
{
   printf("\%d", i);
}
return;
```



1 2 4

1 2 3 2 4

Critérios de Rapps-Weyuker

- Proposto na década de 1980
- Estabelece precisamente os requisitos de teste
- Inclui também critérios de fluxo de dados
- Todos-nós: requer que todos os vértices sejam executados pelo menos uma vez
  - Equivale a executar cada comando um vez
- Todas-aresta: requer que todas as arestas sejam executadas pelo menos uma vez
  - Equivale a dizer que todos os desvios devem ser executados pelo menos uma vez
- Todos-caminhos: requer que todos os possíveis caminhos do grafo sejam executados pelo menos uma vez

R&W – fluxo de controle

- Critério **todos-nós** estabelece que um conjunto de teste adequado deve fazer com que cada um dos vértices seja executado pelo menos uma vez
  - Conjunto de teste $T = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ e os caminhos completos por ele definidos $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, ..., \pi_n\}$. Critério exige que cada um dos vértices apareça pelo menos uma vez em algum caminho de Π

R&W – fluxo de controle

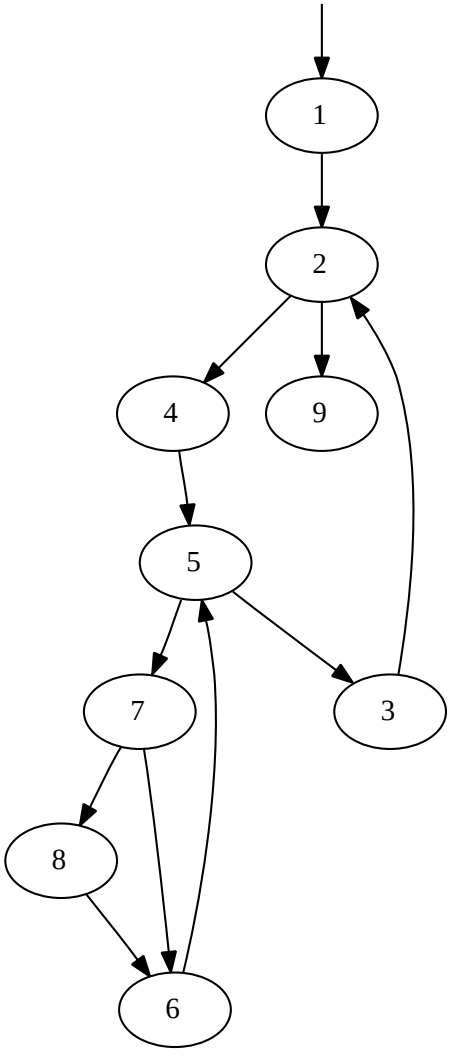
- Critério **todos-nós** estabelece que um conjunto de teste adequado deve fazer com que cada um dos vértices seja executado pelo menos uma vez
  - Conjunto de teste $T = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ e os caminhos completos por ele definidos $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, ..., \pi_n\}$. Critério exige que cada um dos vértices apareça pelo menos uma vez em algum caminho de Π
- Critério **todas-arestas** (ou todos-arcos) é similar mas os **requisitos de teste** são as arestas do GFC. O critério requer que cada uma das arestas seja executada pelo menos uma vez

R&W – fluxo de controle

- Critério **todos-nós** estabelece que um conjunto de teste adequado deve fazer com que cada um dos vértices seja executado pelo menos uma vez
  - Conjunto de teste $T = \{t_1, t_2, ..., t_n\}$ e os caminhos completos por ele definidos $\Pi = \{\pi_1, \pi_2, ..., \pi_n\}$. Critério exige que cada um dos vértices apareça pelo menos uma vez em algum caminho de Π
- Critério **todas-arestas** (ou todos-arcos) é similar mas os **requisitos de teste** são as arestas do GFC. O critério requer que cada uma das arestas seja executada pelo menos uma vez

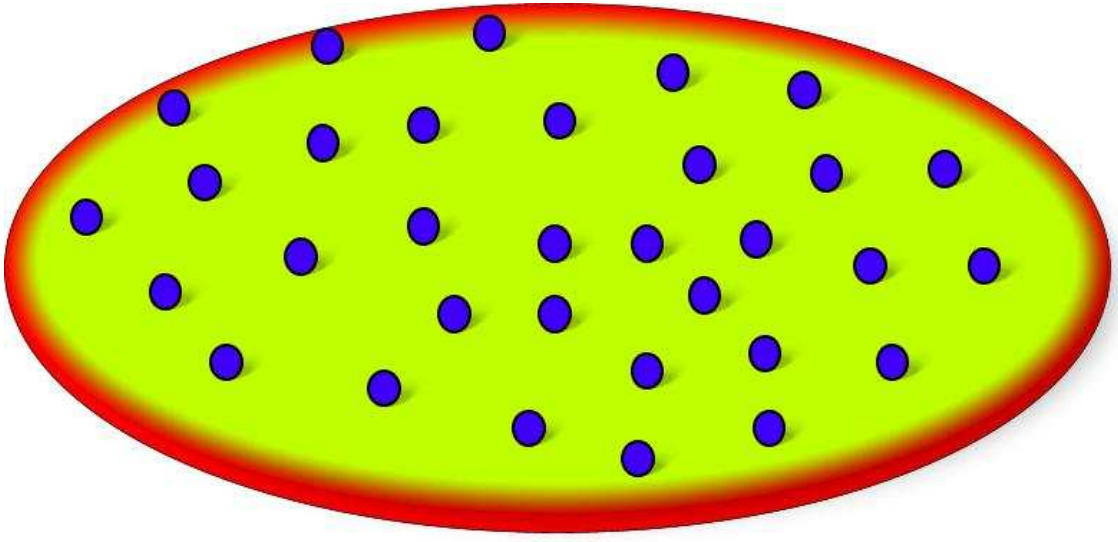
Requisitos de teste

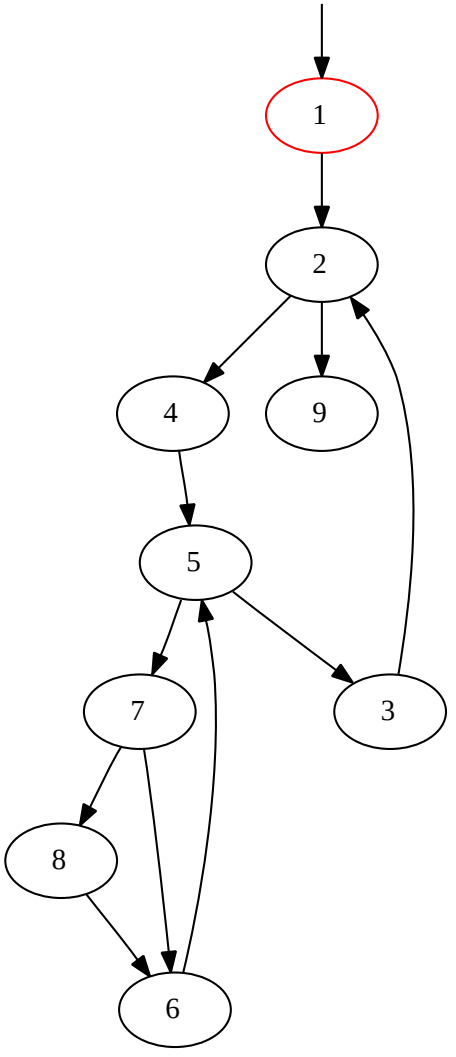
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdomínio a ser amostrado



Requisitos de teste

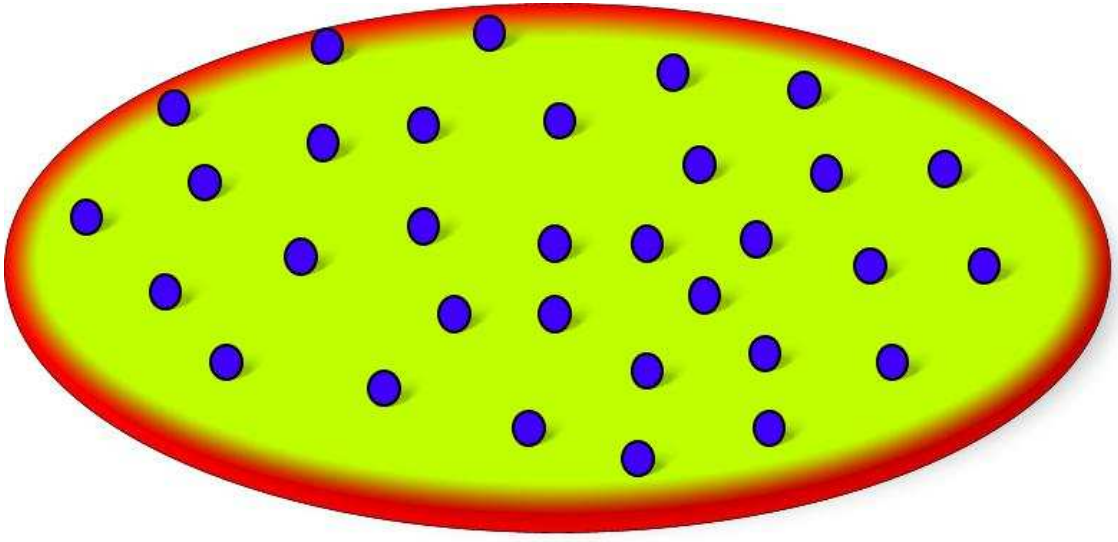
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdo-mínio a ser amostrado

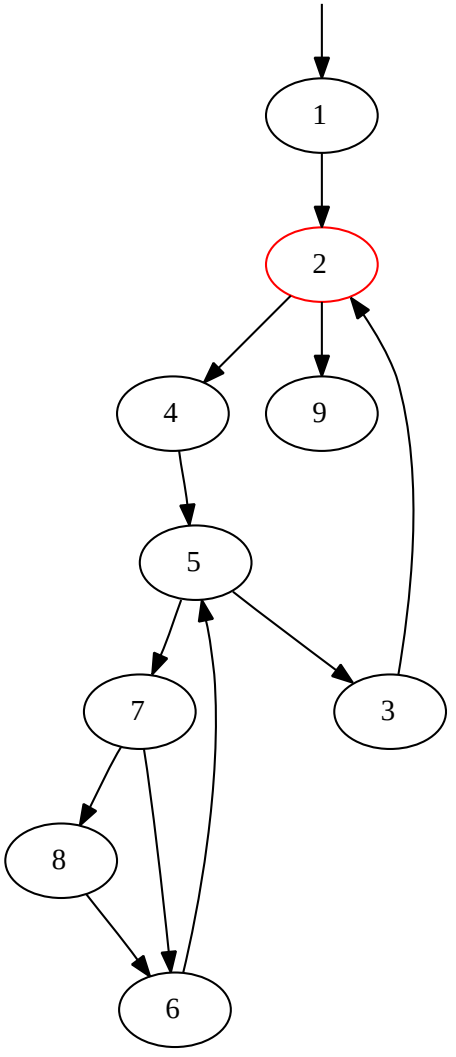




Requisitos de teste

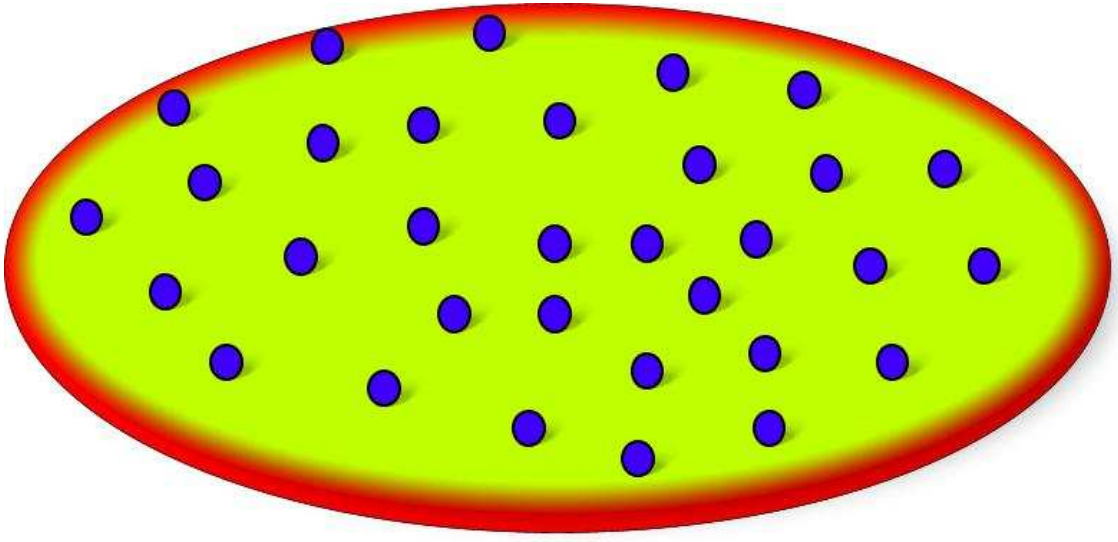
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdomínio a ser amostrado

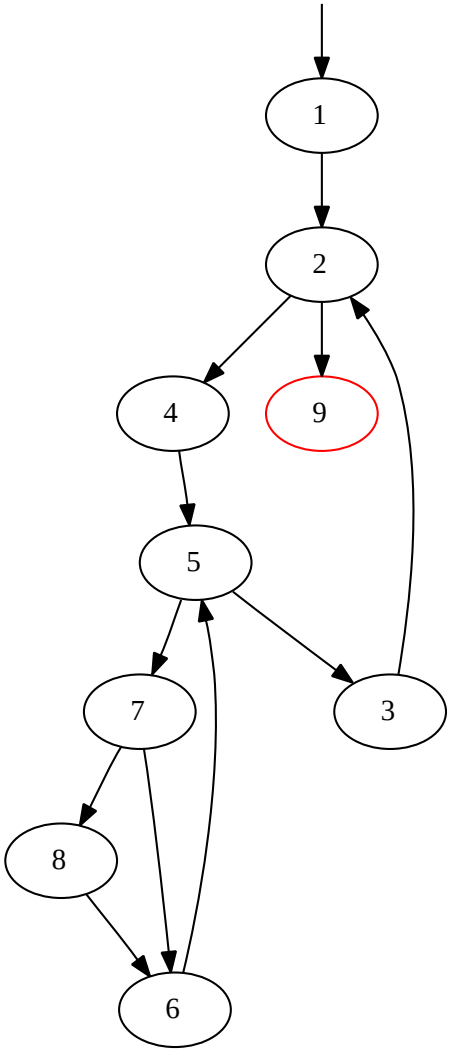




Requisitos de teste

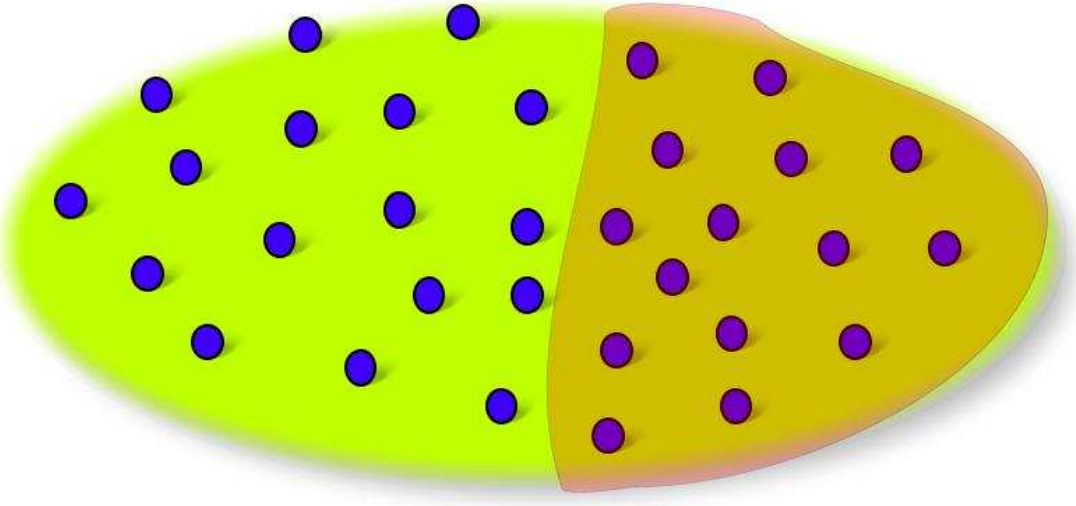
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdomínio a ser amostrado

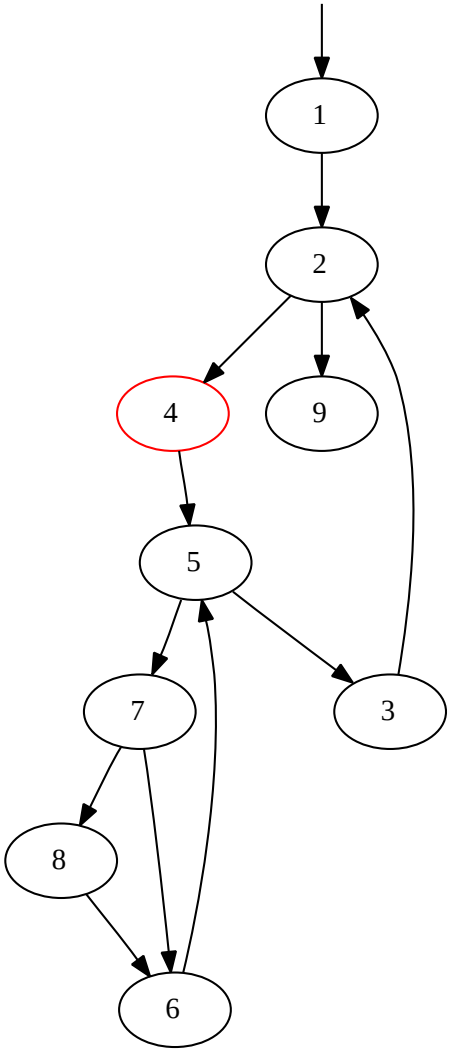




Requisitos de teste

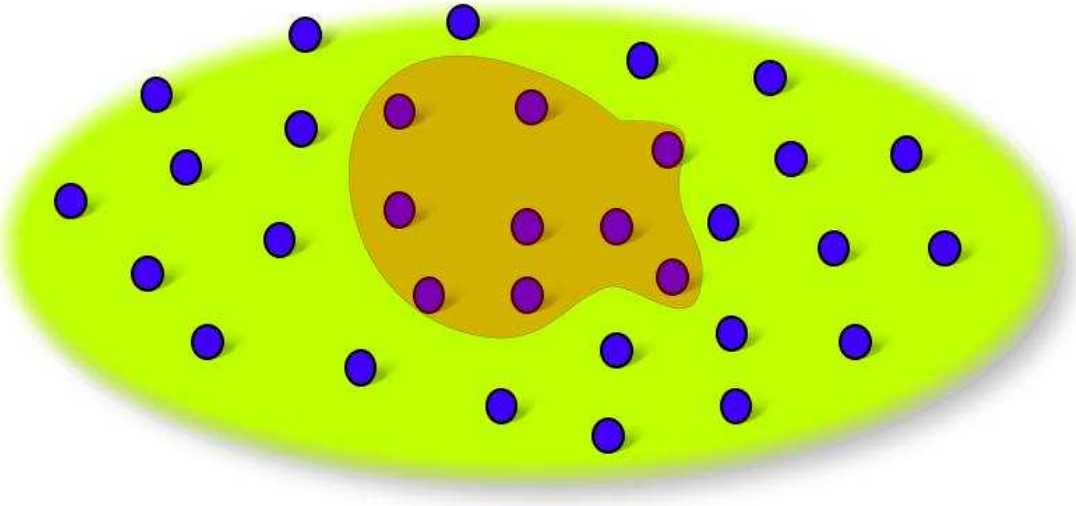
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdomínio a ser amostrado

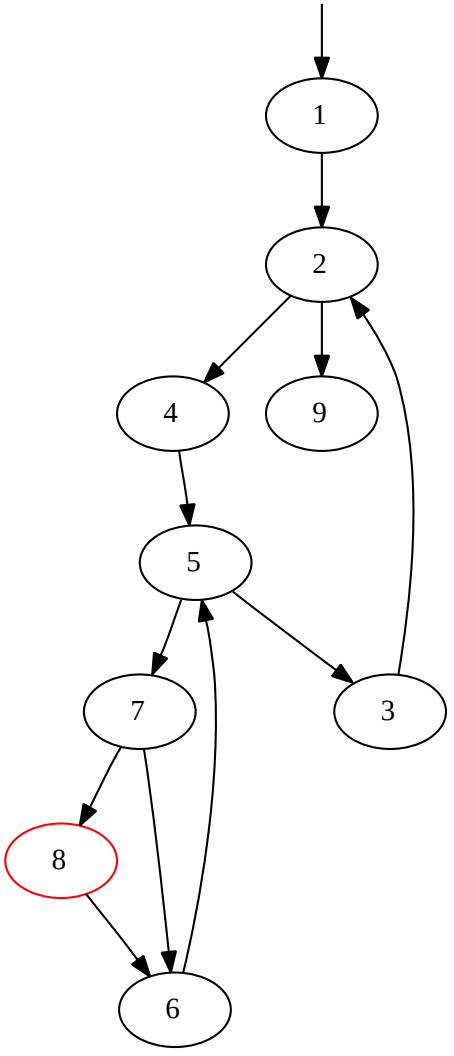




Requisitos de teste

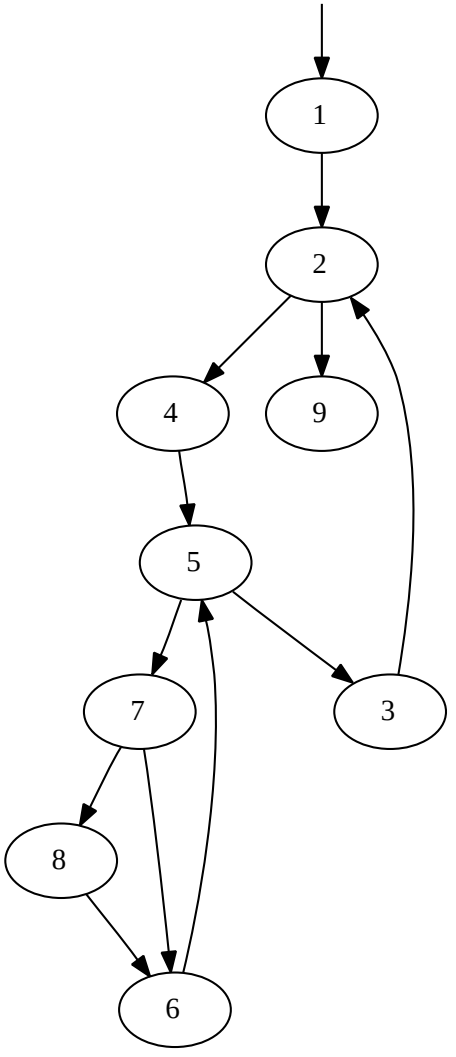
- Cada critério define um conjunto de requisitos
- Cada requisito define um subdomínio a ser amostrado





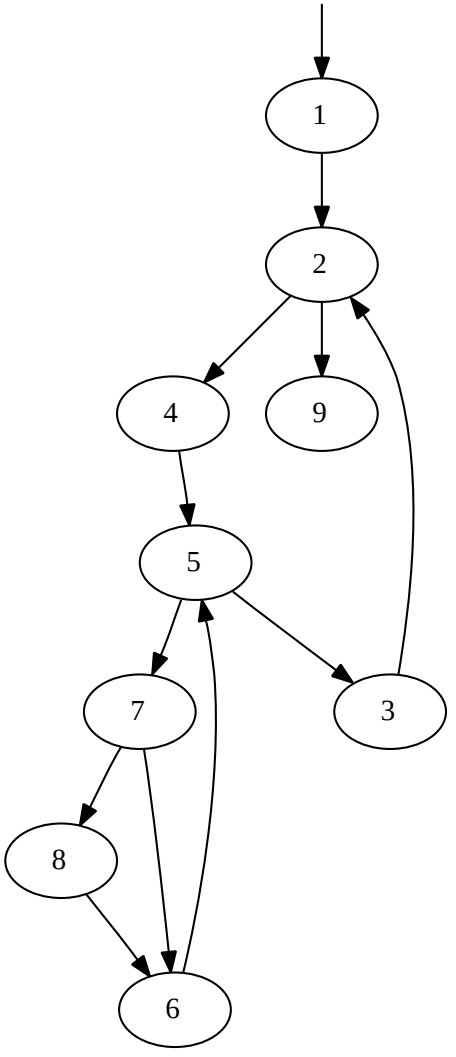
todos-nós– exemplo

- Para o *bubbleSort* usamos o caso de teste [3 2 1]
- O Caminho executado: (1, 2, 4, 5, 7, 8, 6, 5 7, 8, 6, 5, 3, 2, 4, 5, 7, 8, 6, 5, 3, 2, 9)
- Todos os vértices aparecem nesse caminho



todas-arestas– exemplo

- Mas a aresta (7, 6) nunca é executada
- Usamos então o caso de teste [1 2 3]
- O Caminho executado: (1, 2, 4, 5, 7, 6, 5 7, 6, 5, 3, 2, 4, 5, 7, 6, 5, 3, 2, 9)
- Todas aparecem considerando esses dois caminhos

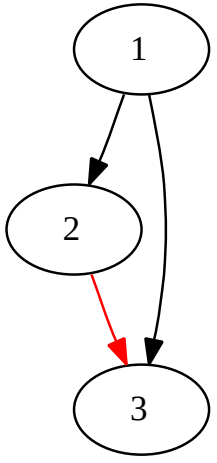


Requisitos não executáveis

- Elementos que são requeridos por algum critério mas que são impossíveis de serem satisfeitos
- No caso geral, é um problema indecidível
- Fica por conta da análise do testador o julgamento sobre a possibilidade ou não de se satisfazer um requisito
- No caso dos critérios de FC, existem requisitos não executáveis?

Requisitos não executáveis – exemplo

```
int div(int a, int b) {
    if ( b == 0 )
        System.exit(-1);
    return a / b;
}
```



Observações

- Critérios simples mas efetivos
- É uma forma simples de garantir alguma qualidade no conjunto de teste
- Critérios para teste de unidade (integração?)
- Pode ser usado em outras fases também
- Poucos softwares conseguem 100% de cobertura desses critérios

Exercício

Para os seguintes programas ache:

- Requisitos de teste para os critérios todos-nós e todas-arestas
- Requisitos não executáveis
- Conjunto de teste que seja todos-nós adequados mas que não seja todas-arestas adequado
- Conjunto de teste que seja todas-arestas adequado

Exercício – numZero

```
public static int numZero (int[] x) {
// Funcao: se x==null lanca NullPointerException
// senao retorna o número de ocorrências de 0 em x
   int count = 0;
   for (int i = 0; i < x.length; i++)
   {
      if (x[i] == 0)
      {
         count++;
      }
   }
   return count;
}
```

Exercício – oddOrPos

```
public static int oddOrPos(int[] x) {
// Funcao: se x==null lanca NullPointerException
// senao retorna o numero de elementos em x que
// sao impar ou positivo (ou ambos)
   int count = 0;
   for (int i = 0; i < x.length; i++) {
     if (x[i]%2 == 1 || x[i]%2 == -1 || x[i] > 0)
     {
         count++;
      }
   }
   return count;
}
```

Exercício – insertion sort

```
void insercao(int a[], int size) {
     int i, j, aux;
     for (i = 1; i < size; i++) {
          aux = a[i];
          j = i - 1;
          while (j >= 0 && a[j] >= aux) {
               a[j + 1] = a[j];
               j--;
          }
          a[j + 1] = aux;
     }
 }
```

SSC 0125 – Verificação Validação e Teste de Software

Critérios de fluxo de controle

Prof. Marcio E. Delamaro

delamaro@icmc.usp.br