



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO


ALGORITMO DISTRIBUÍDO PARA  
AUTORRECUPERAÇÃO DE

# Smart Grids

UTILIZANDO UM SISTEMA MULTIAGENTE REATIVO

@ Italo Ramon Campos  
italo.ramon.campos@gmail.com

@ Filipe Saraiva  
saraiva@ufpa.br

 laai.ufpa.br

# TÓPICOS

1

## Introdução

Sistemas Elétricos de Potência, Sistemas de Distribuição, Smart Grids, autorrecuperação e Sistemas Multiagente

2

## O problema

Descrição do problema, e metodologia

3

## Modelagem

Modelo de testes de rede de distribuição, algoritmo de autorrecuperação e Sistema Multiagente

4

## Simulações

Simulações com o sistema de testes e resultados

5

## Conclusões

Considerações da pesquisa

6

## Referências

Principais referências do trabalho

# 1 | Introdução

## Qual a importância da Computação para o Setor Elétrico?

"Prover novas funcionalidades aos *grids* tradicionais significa aproximar o consumidor final das informações relativas à rede (...), assim como melhorar os canais de comunicação entre as prestadoras de serviço e seus clientes"

[Campos e Saraiva, 2019]



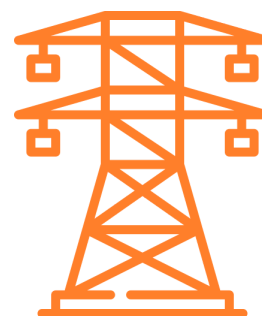
# Sistemas Elétricos de Potência



## Geração

Responsáveis pela geração de energia elétrica, isto é, energia primária em energia utilizável

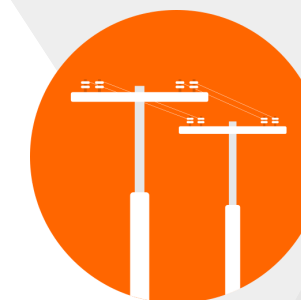
Hidrelétricas, campos de energia eólica, energia solar, energia nuclear...



## Transmissão

Responsáveis pelo transporte à longas distâncias da energia gerada para os consumidores (altas tensões elétricas de corrente alternada)

"Linhões" de transmissão e subestações de transmissão



## Distribuição

Responsáveis por distribuir a energia elétrica em média e baixa tensão aos consumidores

Rede elétrica convencional, transformadores e subestações de distribuição

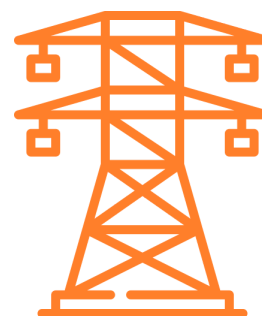
# Sistemas Elétricos de Potência



## Geração

Responsáveis pela geração de energia elétrica, isto é, energia primária em energia utilizável

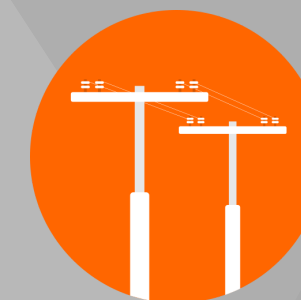
Hidrelétricas, campos de energia eólica, energia solar, energia nuclear...



## Transmissão

Responsáveis pelo transporte à longas distâncias da energia gerada para os consumidores (altas tensões elétricas de corrente alternada)

"Linhões" de transmissão e subestações de transmissão



## Distribuição

Responsáveis por distribuir a energia elétrica em média e baixa tensão aos consumidores

Rede elétrica convencional, transformadores e subestações de distribuição

# Smart Grids

"(...) são resultado da aplicação de dispositivos com capacidade de comunicação e de softwares inteligentes ao longo do sistema elétrico, com o objetivo de promover automação, conectividade e outras funcionalidades."

[Souza 2015].

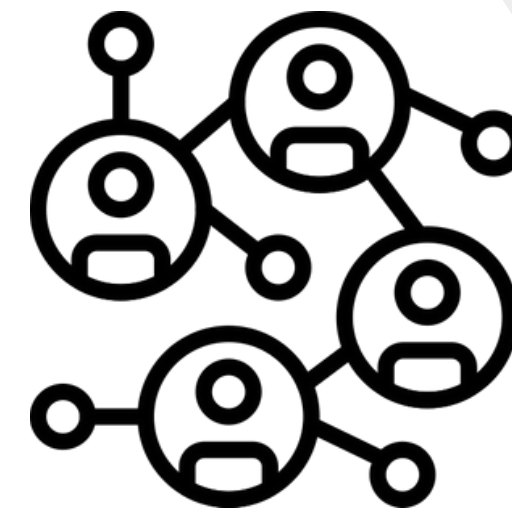
# Outras definições



## Autorrecuperação

"(...) a capacidade do sistema de identificar, isolar e se recompor automaticamente de faltas".

[Lambiase 2012]



## Sistemas Multiagente

"(...) são sistemas compostos por múltiplos agentes, que exibem um comportamento autônomo mas ao mesmo tempo interagem com os outros agentes presentes no sistema (...), levando à satisfação dos seus objetivos."

[Reis, 2003]

# 2 | O problema

**Que passos executar para recuperar uma rede em falta?**

Algoritmo genético? Lógica Fuzzy? Técnicas de ilhamento? Geração Distribuída?





## 2 | O problema

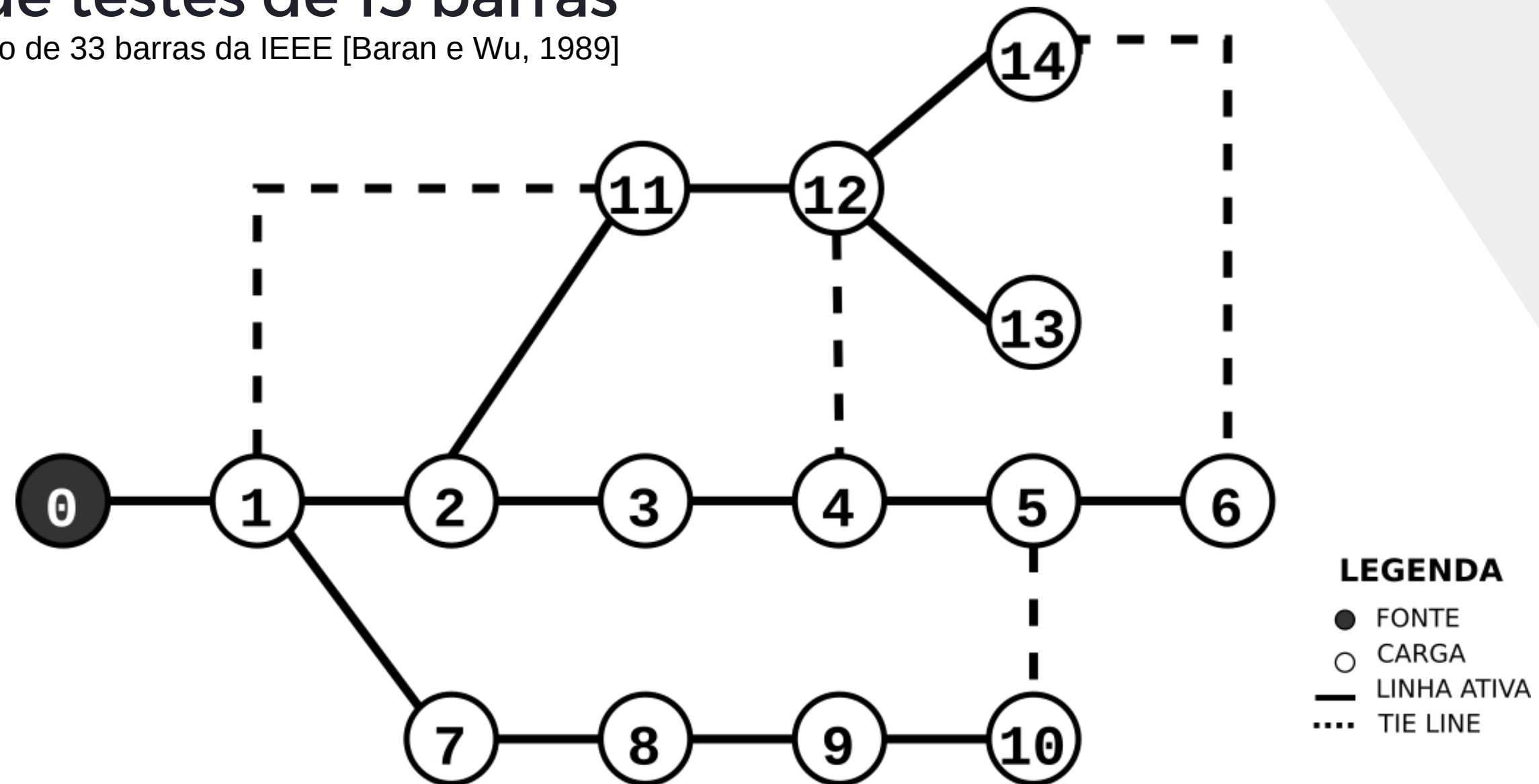
REFERÊNCIA	ABORDAGEM	TÉCNICA UTILIZADA	ILHAMENTO	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	CORTE DE CARGAS
<b>CAMPOS, SARAIVA [2019]</b>	Distribuída	SMA	NÃO	NÃO	NÃO
MAHDI, GENC . [2019]	Centralizada	Clusterização e Lógica Fuzzy	SIM	SIM	SIM
SHARMA, SRINIVASAN E TRIVEDI [2016]	Distribuída	SMA	SIM	SIM	SIM
SOUZA [2015]	Distribuída	SMA	SIM	SIM vs NÃO	SIM
WANG, ET. AL. [2015]	Distribuída	Microgrids	SIM	SIM	NÃO
FERREIRA ET. AL. [2013]	Centralizada	AG	NÃO	NÃO	SIM



## 2 | O problema

### Modelo de testes de 15 barras

Baseado no modelo de 33 barras da IEEE [Baran e Wu, 1989]



Restrição: a estrutura da rede ativa não pode conter ciclos!

$$p = \{v_1, v_2, \dots, v_k, v_{k+1}\}, \forall v_1 \neq v_{k+1}, \text{ tal que } k > 0.$$



# Materiais e métodos



Sistema multiagente do tipo *reativo*;



Implementação com *JADE Framework*;



Simulação computacional;



Arquivos no SO e leitura de *logs*;

# 3 | Modelagem

Como manter o algoritmo distribuído?

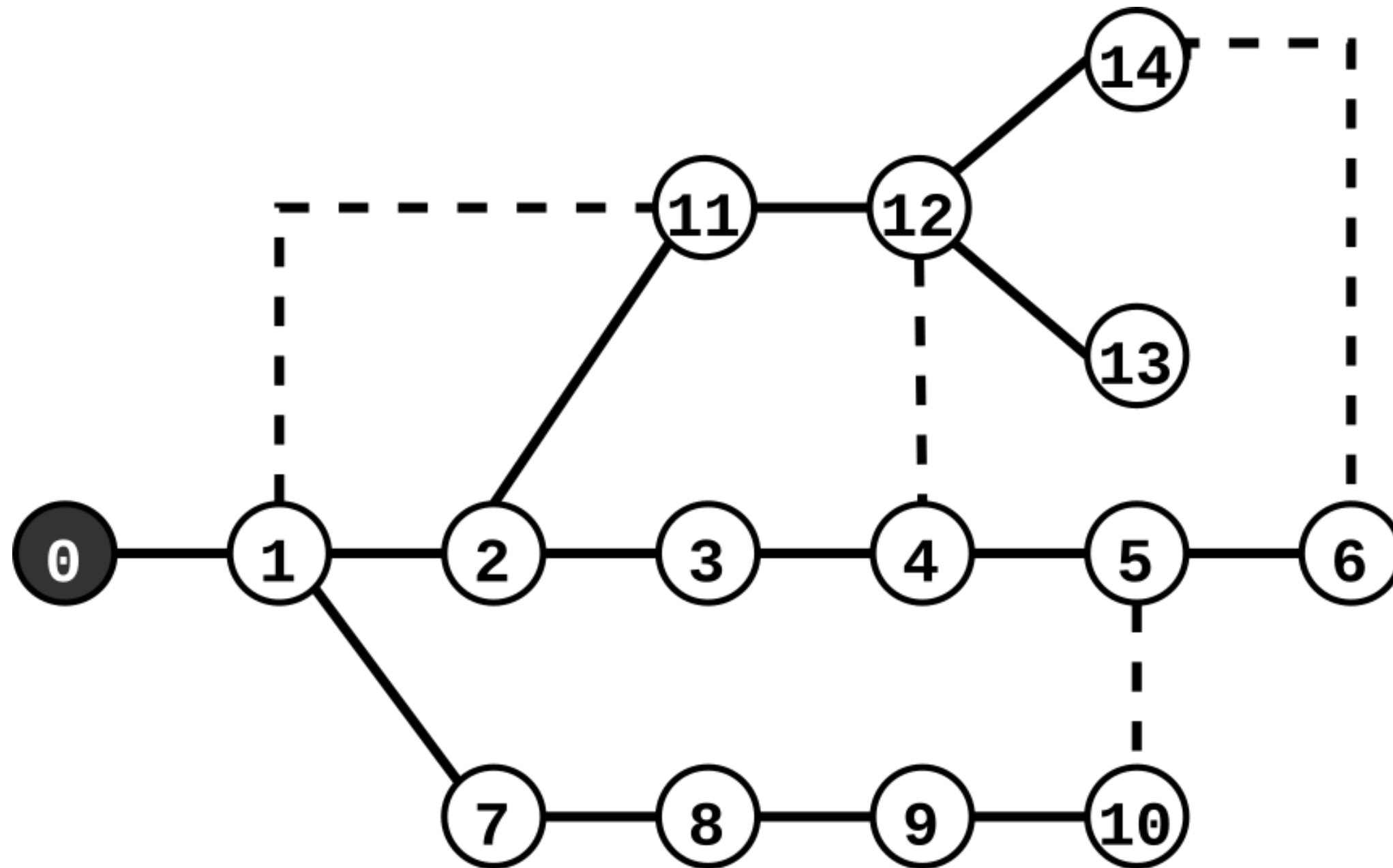
Como garantir que as restrições sejam satisfeitas?

Qual a melhor forma de recuperar a rede?

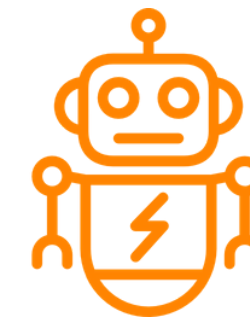
Qual o custo das operações?



### 3 | Modelagem

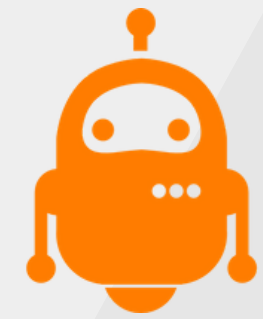


#### AGENTES DESENVOLVIDOS



**Agente de Carga**

Reside nas cargas do sistema



**Agente de Chave**

Reside nas linhas do sistema



Os agentes possuem visão mínima do sistema!



## 3 | Modelagem

Isolamento da área afetada

**ETAPA**  
**1**

Eleição de agente ativo

**ETAPA**  
**2**

Mapeamento da área afetada

**ETAPA**  
**3**

Tomada de decisão e religamento

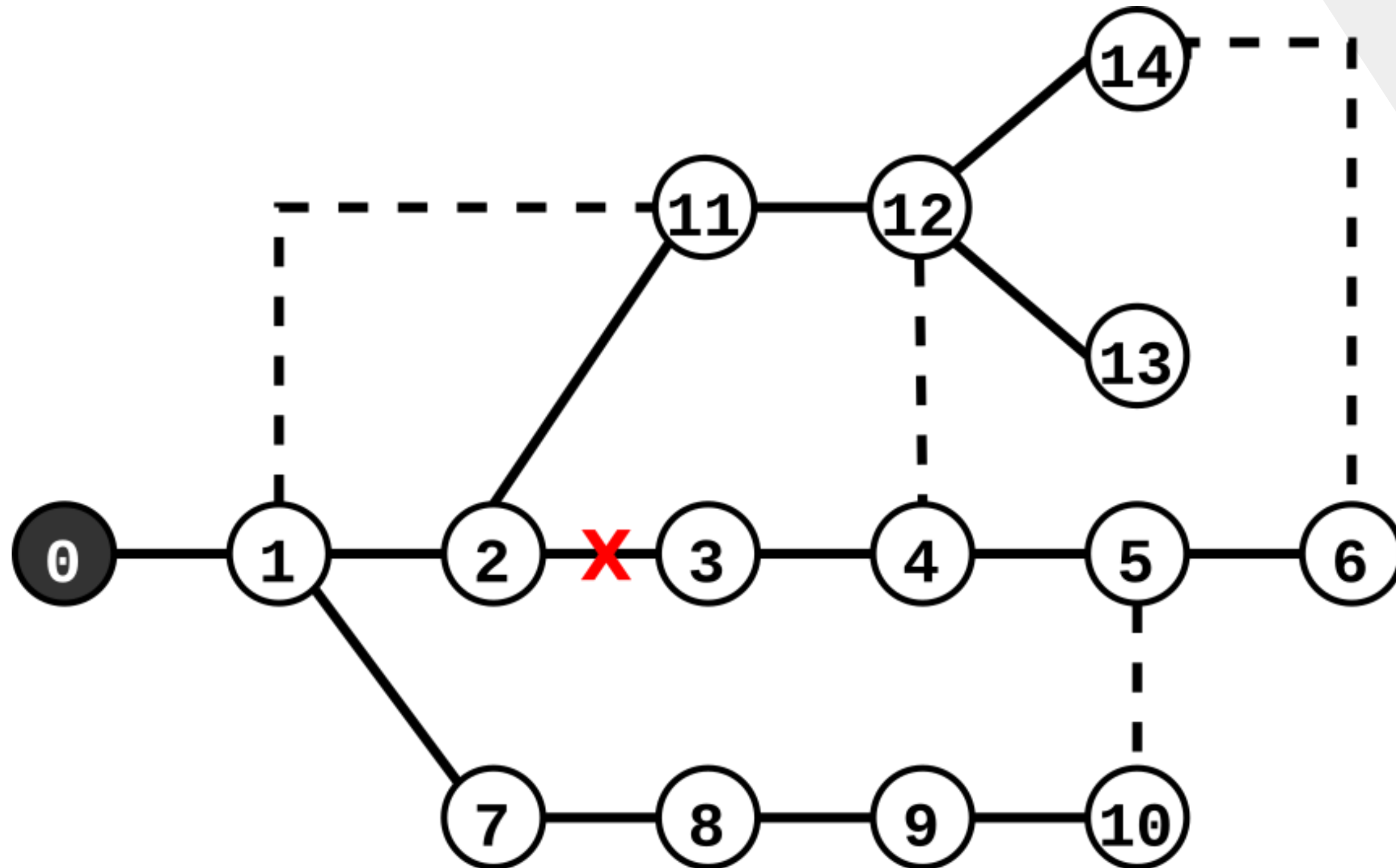
**ETAPA**  
**4**

### **A L G O R I T M O**

Autonomia aos agentes  
Descentralização de processamento  
Operação em conjunto  
Escalabilidade



### 3 | Modelagem

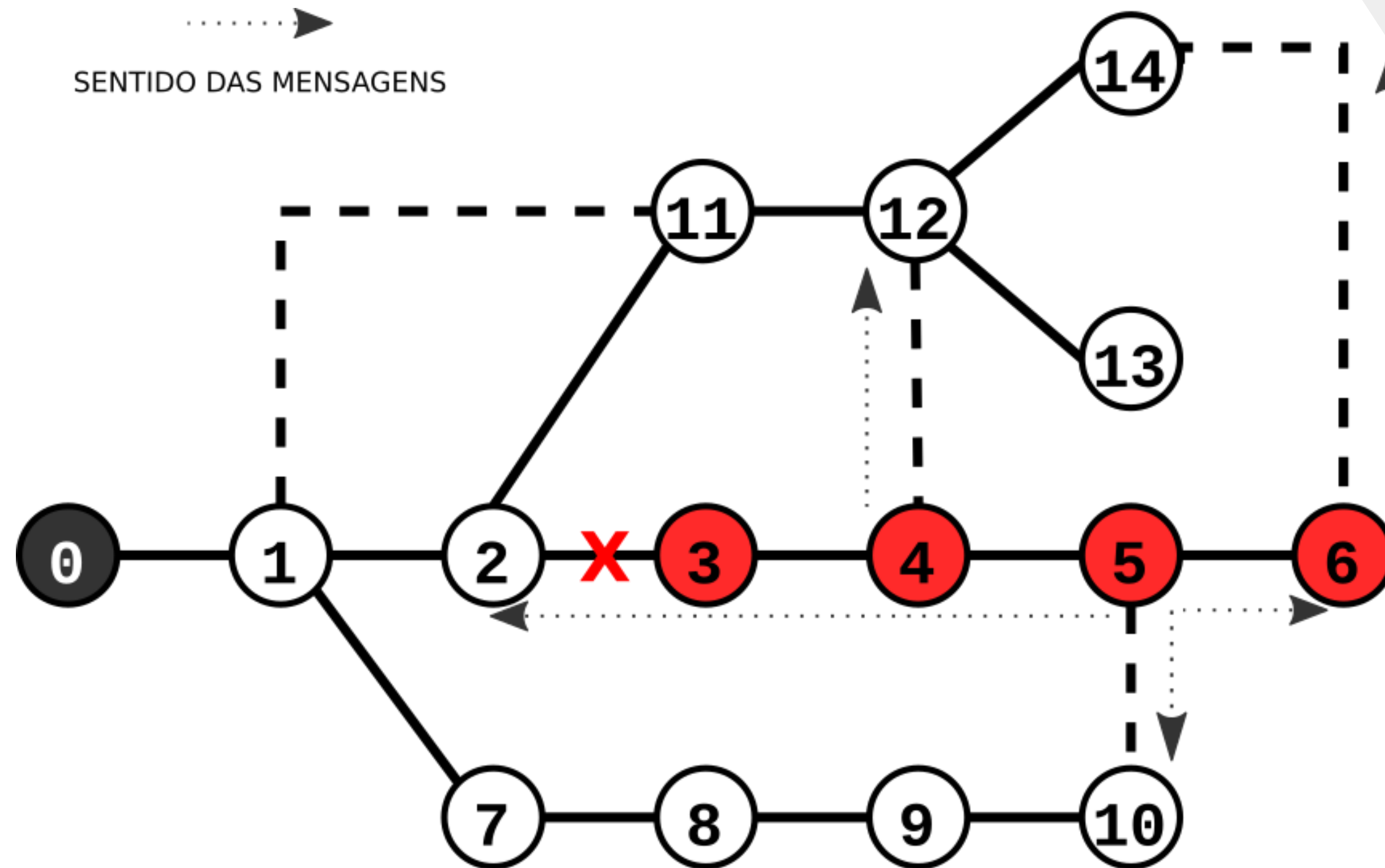


Uma linha para de  
funcionar

**F A L H A**



### 3 | Modelagem



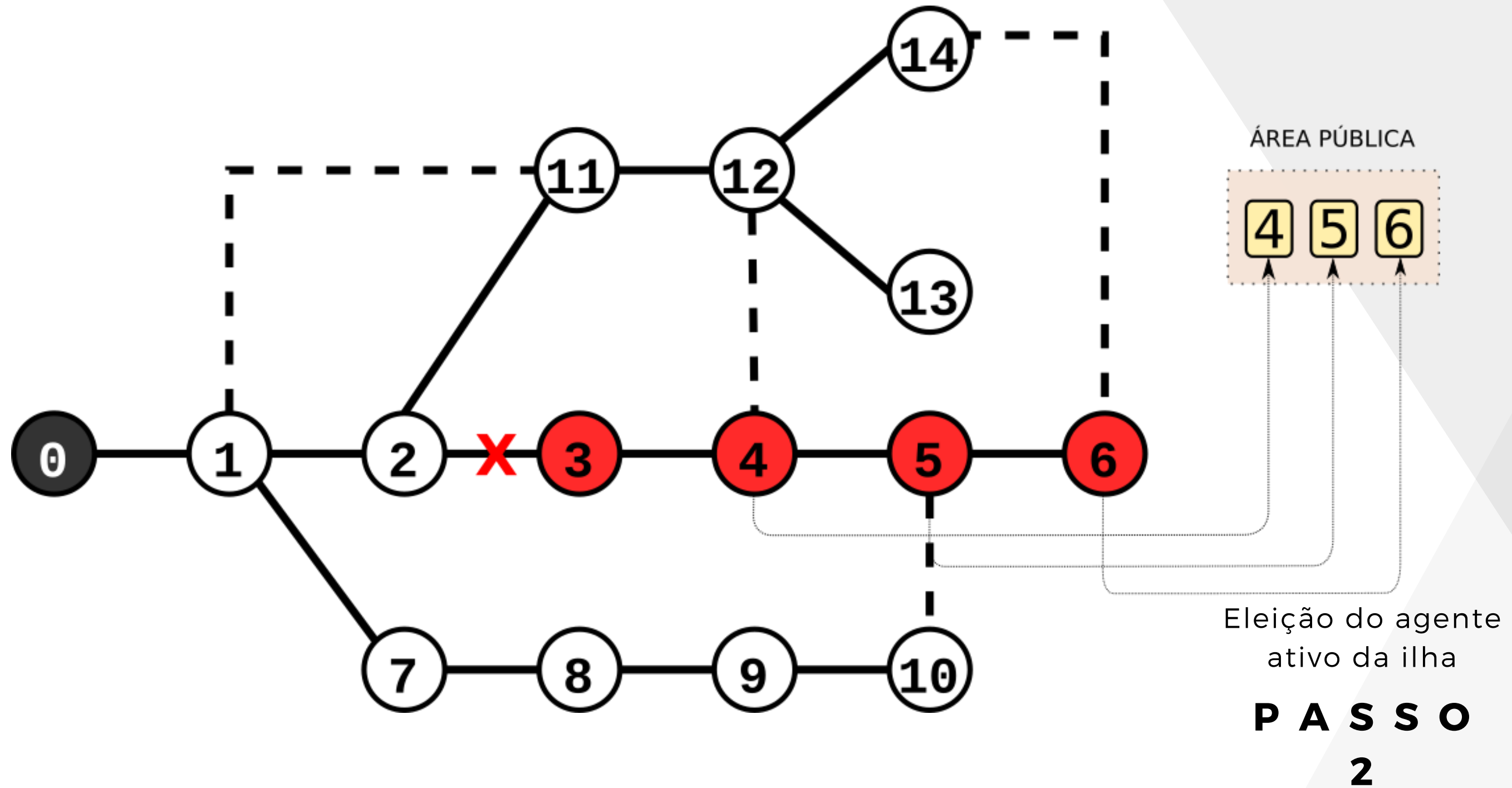
Isolamento da área afetada

**P A S S O**  
**1**

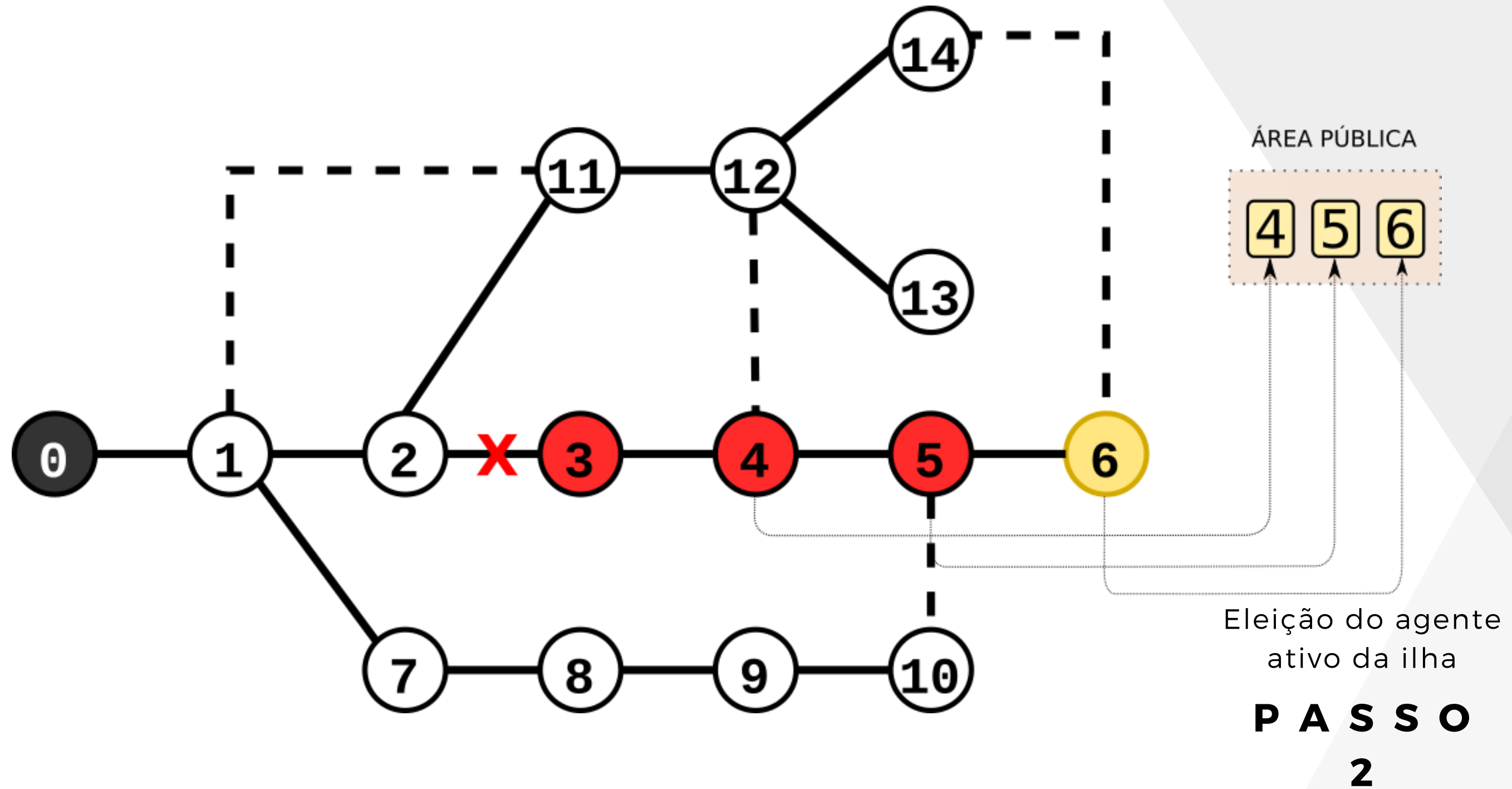




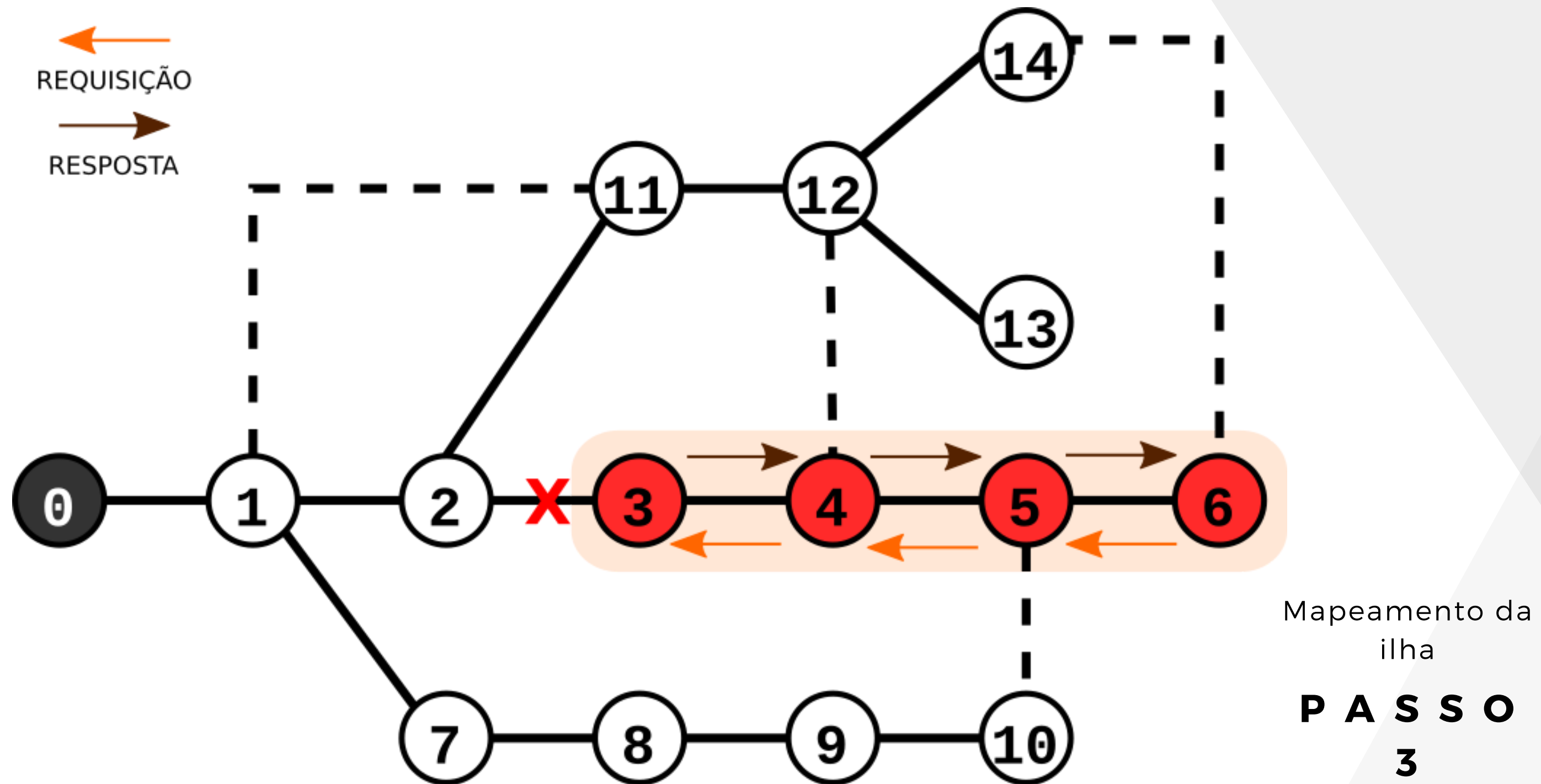
### 3 | Modelagem



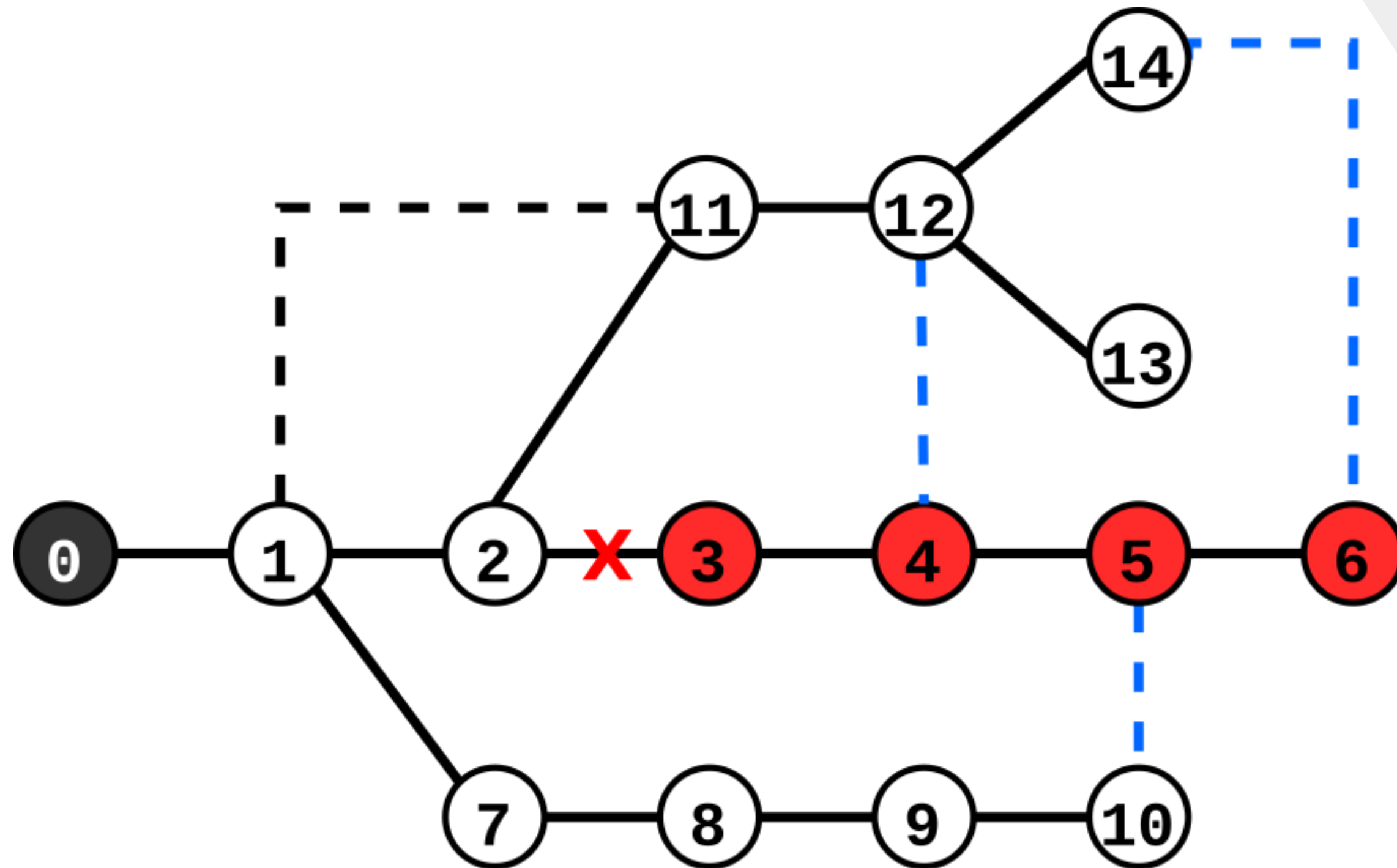
### 3 | Modelagem



### 3 | Modelagem



### 3 | Modelagem

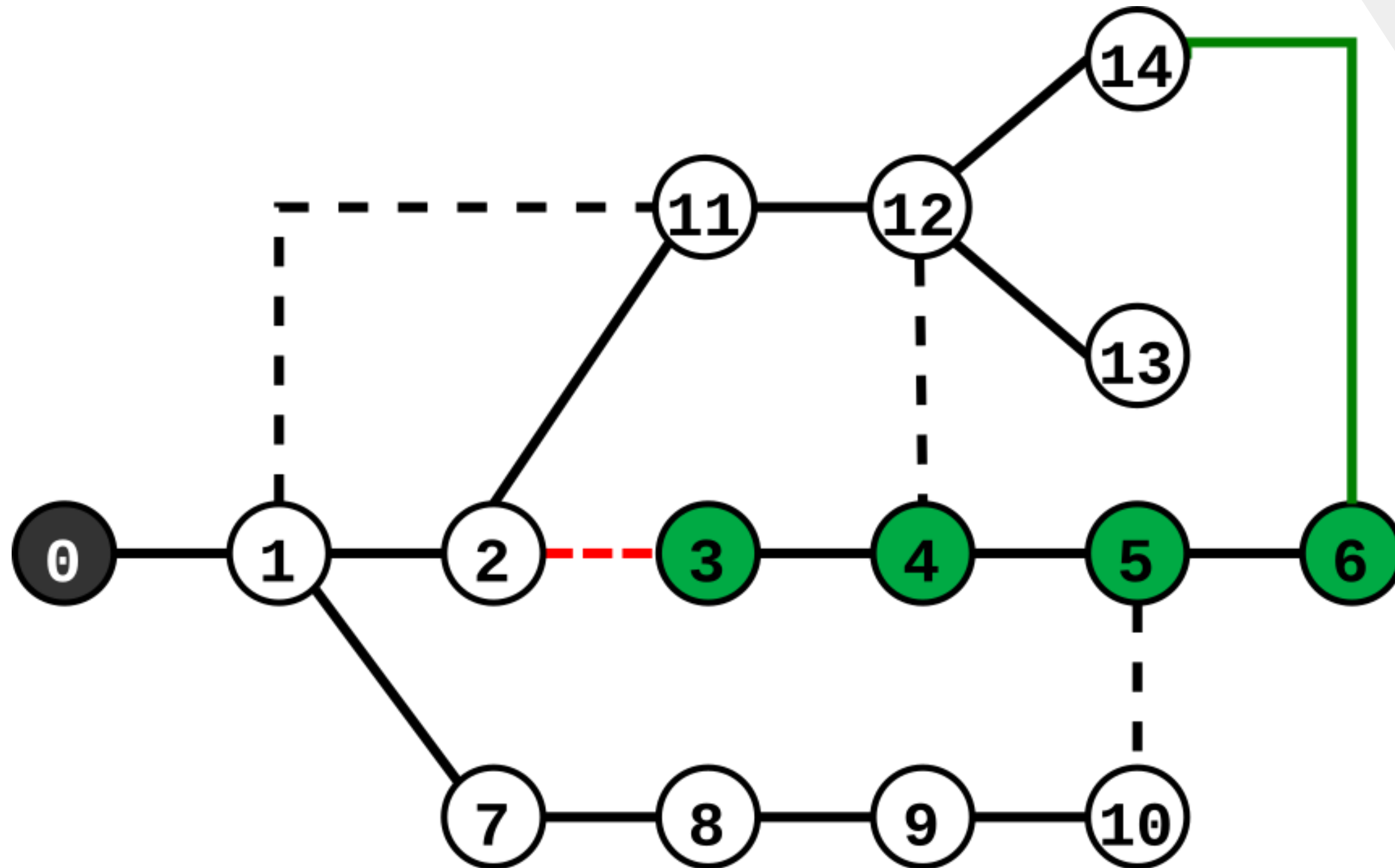


Tomada de decisão  
e religamento

**P A S S O**  
**4**



### 3 | Modelagem



Tomada de decisão  
e religamento

**P A S S O**  
**4**







# 4 | Simulações

## Informações do desktop utilizado nas simulações:

Sistema Operacional Manjaro Linux (Arch) 64 bits,  
memória do sistema de 10,7 GB, Intel® Core™ i5-  
2310 CPU @ 2.90GHz × 4.



# Resultados

-  Foram realizados no total **10 simulações** sobre a topologia sobre a 15-bus;
-  O maior tempo obtido nas simulações foi de **942 ms**;
-  O menor tempo obtido foi de **769 ms**;
-  A média de tempo das autorrecuperações para estas simulações foi de **830,2 ms**;

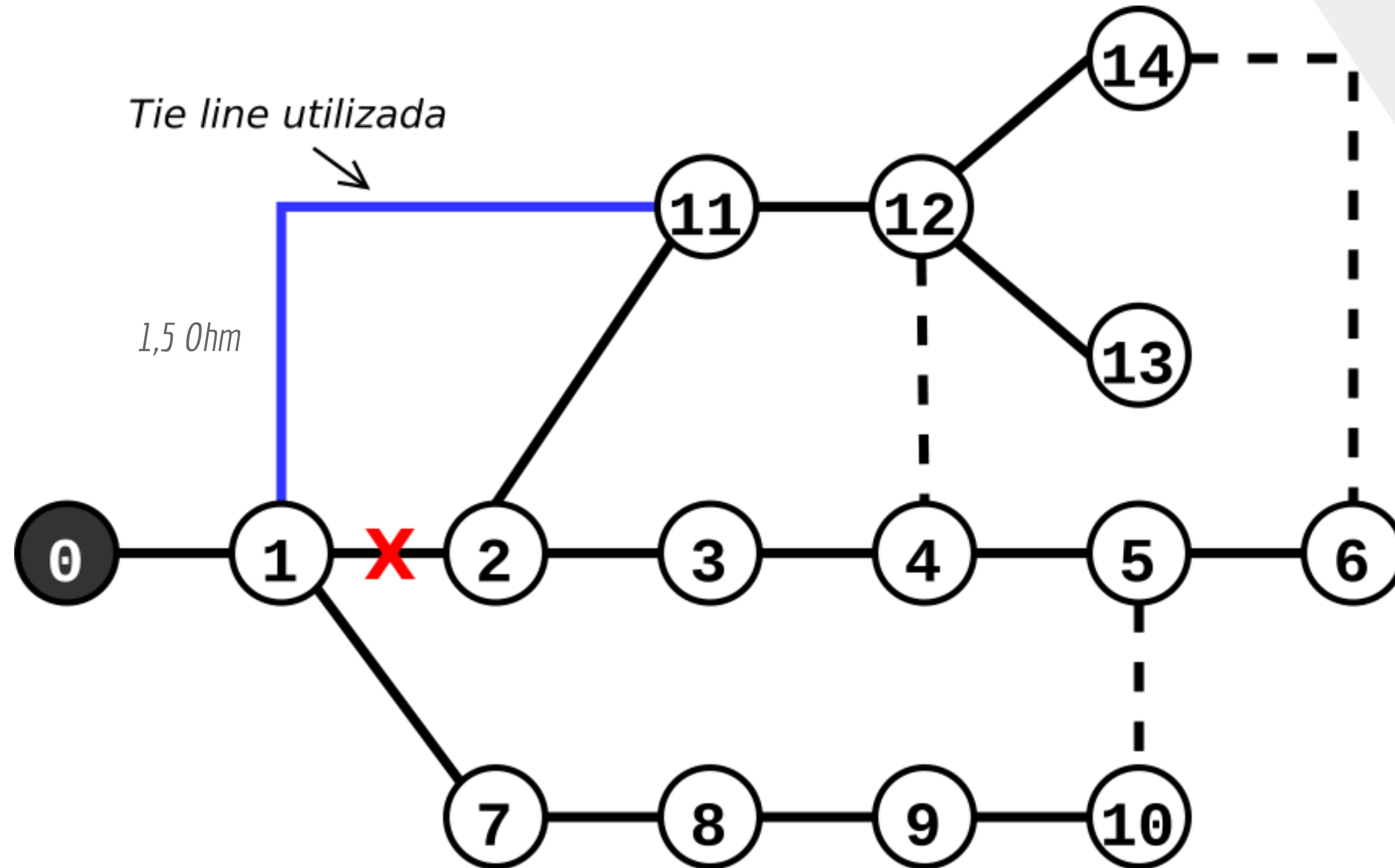
## 4 | Simulações

Simulação	Nós afetados	Tempo (ms)	Chave Aberta	Chave Fechada
1	4	942	(2, 3)	(6, 14)
2	4	862	(1, 7)	(5, 10)
3	3	777	(11, 12)	(6, 14)
4	4	769	(2, 11)	(6, 14)
5	9	856	(1, 2)	(1, 11)
6	9	802	(1, 2)	(1, 11)
7	4	780	(2, 3)	(5, 10)
8	4	858	(2, 3)	(5, 10)
9	9	808	(1, 2)	(5, 10)
10	4	852	(2, 11)	(4, 12)





## 4 | Simulações



### Simulação 5

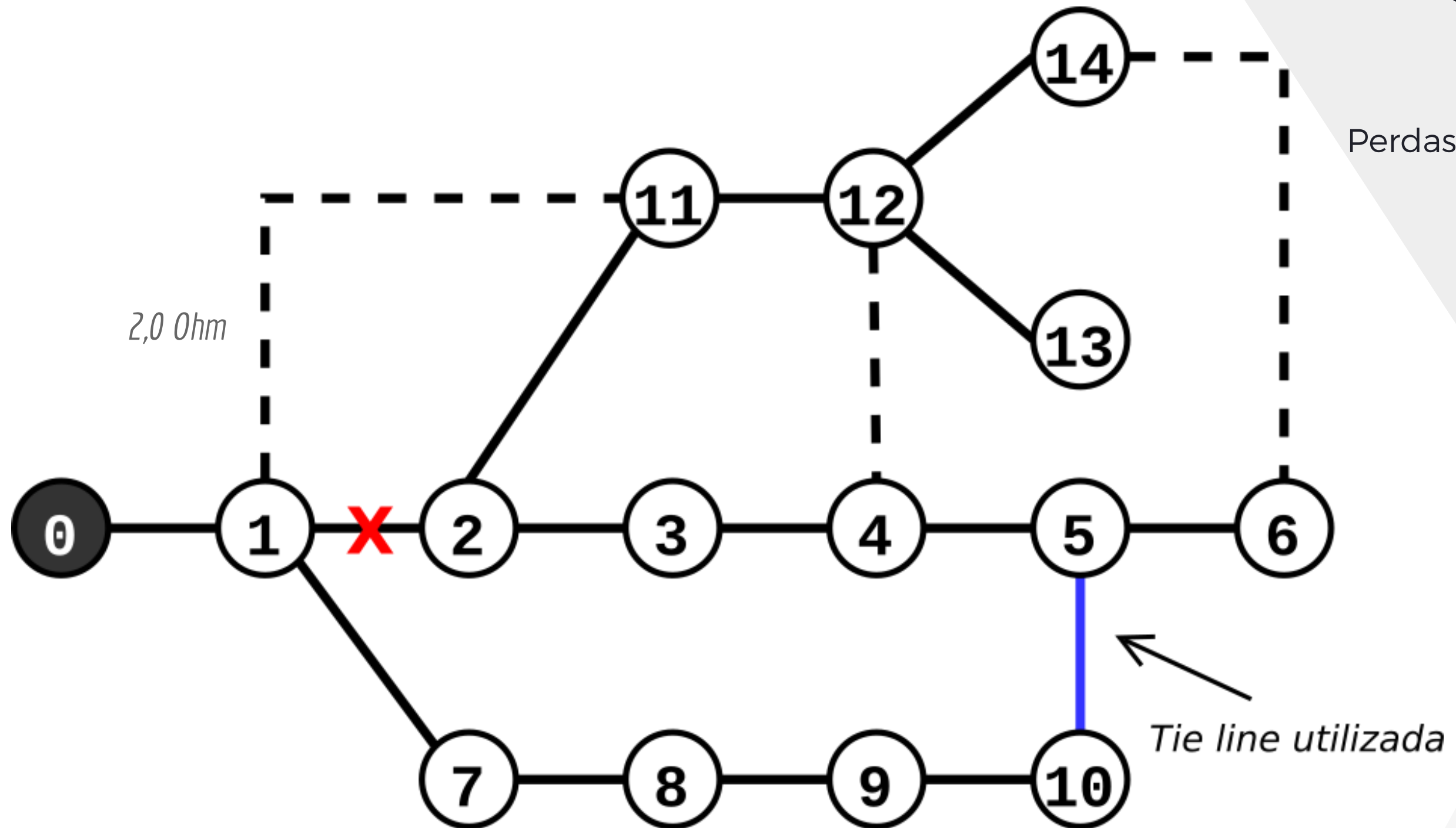
Tempo: 856 ms

Nós afetados: 9

Perdas elétricas: 48,60 kW



## 4 | Simulações



### Simulação 9

Tempo: 852 ms

Nós afetados: 9

Perdas elétricas: 53,27 kW



# 5 | Conclusões

- ✓ Sistemas multiagente podem ser usados para realizar autorrecuperação de *smart grids*;
- ✓ O tempo médio de resposta depende de diversos fatores;
- ✓ O número de operações de chaveamento é constante, para os casos de sucesso;
- ✓ O Sistema multiagente conseguiu responder com sucesso às alterações no sistema em tempo de execução;
- ✓ O método de eleição de agentes ativos não é robusto, pois depende do tempo.



# Melhorias para o SMASH

- ✓ Ampliar a tomada de decisão para considerar **outras variáveis** do Sistema Elétrico;
- ✓ Manter o sistema **descentralizado**;
- ✓ Utilizar balanceamento de cargas no sistema de forma a **diminuir as perdas elétricas**;
- ✓ Incluir **fontes de energia renovável e distribuída** ao longo da rede elétrica (tendência no campo de energias).

# 6 | Referências

**Bellifemine, F., Caire, G. and Greenwood, D.** (2007) "Developing Multi-Agent Systems with JADE", Jhon Willey & Sons, Reino Unido.

**Campos, I. R., Saraiva, F. O.** (2018) "Proposta de modelo de autorrecuperação de sistemas de distribuição de energia elétrica utilizando sistemas multiagente". WESAAC 2018, p. 250-256, Fortaleza, Brasil.

**Ferreira, L. R., et. al.** (2013) "Solução do Problema de Self-Healing para Redes de Distribuição Radiais Através de Otimização via Algoritmo Genético", Universidade de Curitiba.

**Lambiase, C. B.** (2012) "Aplicação de Self Healing em Sistemas Elétricos", Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

**Reis, L. P.** (2003) "Coordenação em Sistemas Multi-Agente: Aplicações na Gestão Universitária e Futebol Robótico", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, UP, Porto, Portugal.

**Saraiva, F. O.** (2015) "Aplicações Híbridas entre Sistemas Multiagentes e Técnicas de Inteligência Artificial para Redes Inteligentes de Distribuição de Energia Elétrica", Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, USP, Brasil.

**Sharma, A., Srinivasan D. and Trivedi A.** (2016) "A Decentralized Multi-Agent Approach for Service Restoration in Uncertain Environment", IEEE publishing.

**Souza, F. A.** (2015) "Modelo Baseado em Sistema Multiagente para Autorrecuperação com Corte Seletivo de Carga e Ilhamento com Geração Distribuída Para Redes Elétricas Inteligentes", Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, UFPR, Brasil.

**Wang, Z., et. al.** (2015) "Networked Microgrids for Self-Healing Power Systems", IEEE publishing.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO

# O B R I G A D O

**Autorrecuperação em Smart Grids Usando Sistemas Multiagente**

Orientador: Filipe O. Saraiva



[italo.ramon.campos@gmail.com](mailto:italo.ramon.campos@gmail.com)  
[saraiva@ufpa.br](mailto:saraiva@ufpa.br)  
[laai.ufpa.br](http://laai.ufpa.br)