

# Procedimento Seguro para Emenda de Condutores em Redes de Distribuição – ID 7185

**Autor:** *Francis Nascimento*

**Coautores:** *Henrique Couto; Josué Bastos; Helvécio Teixeira; Fabio Rafaelli (Celesc)*

**Empresa:** *CEMIG*

Realization:

instituto  
**abradee**



Host Company:

**CEMIG**

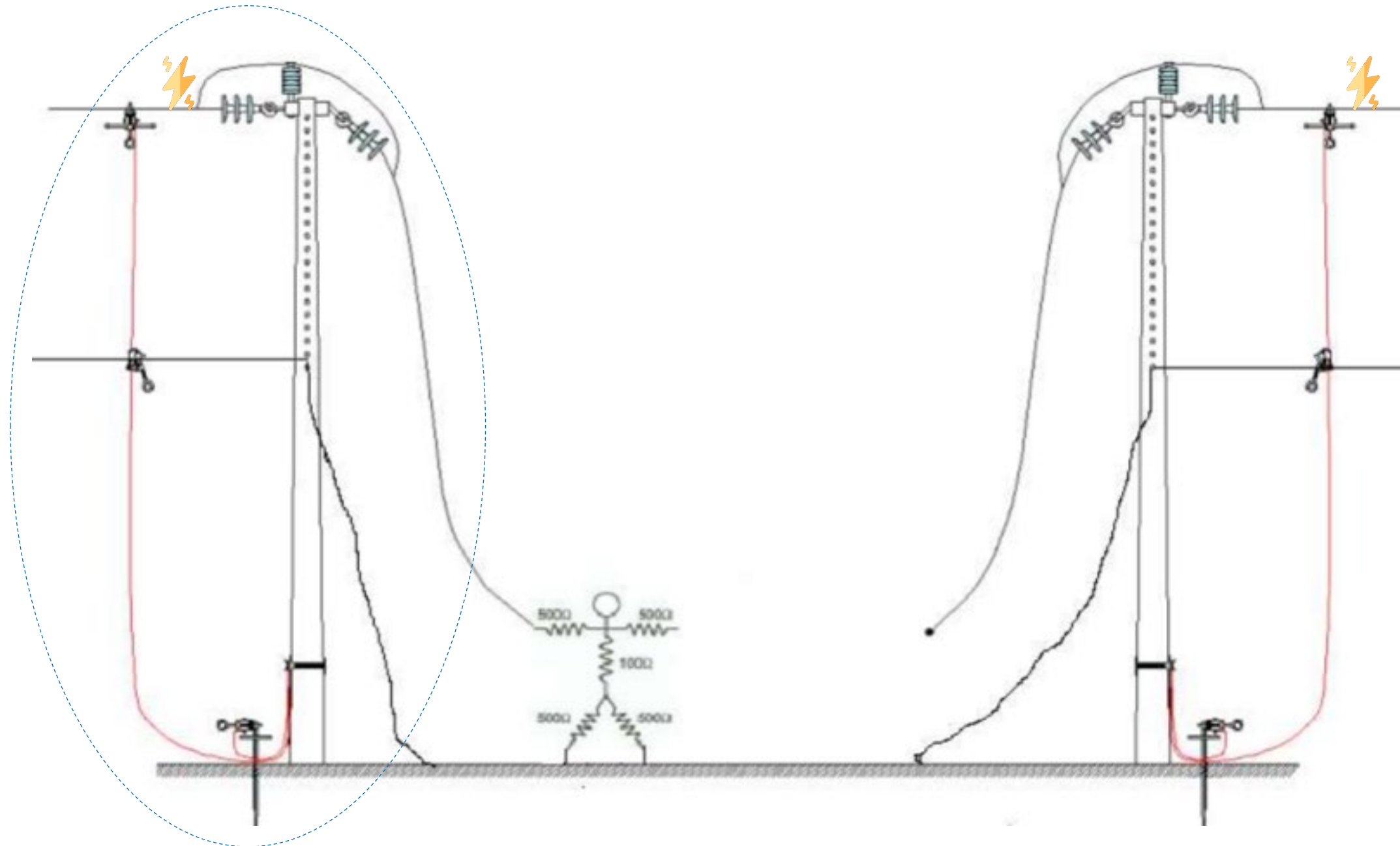


XXV Seminário  
Nacional de  
Distribuição de  
Energia Elétrica

**SENDI**  
**2025**  
BELO HORIZONTE

# Contextualização do problema

A emenda de cabos no solo representa risco para os trabalhadores?



Devemos estabelecer procedimentos específicos para trabalhos nessas condições?

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

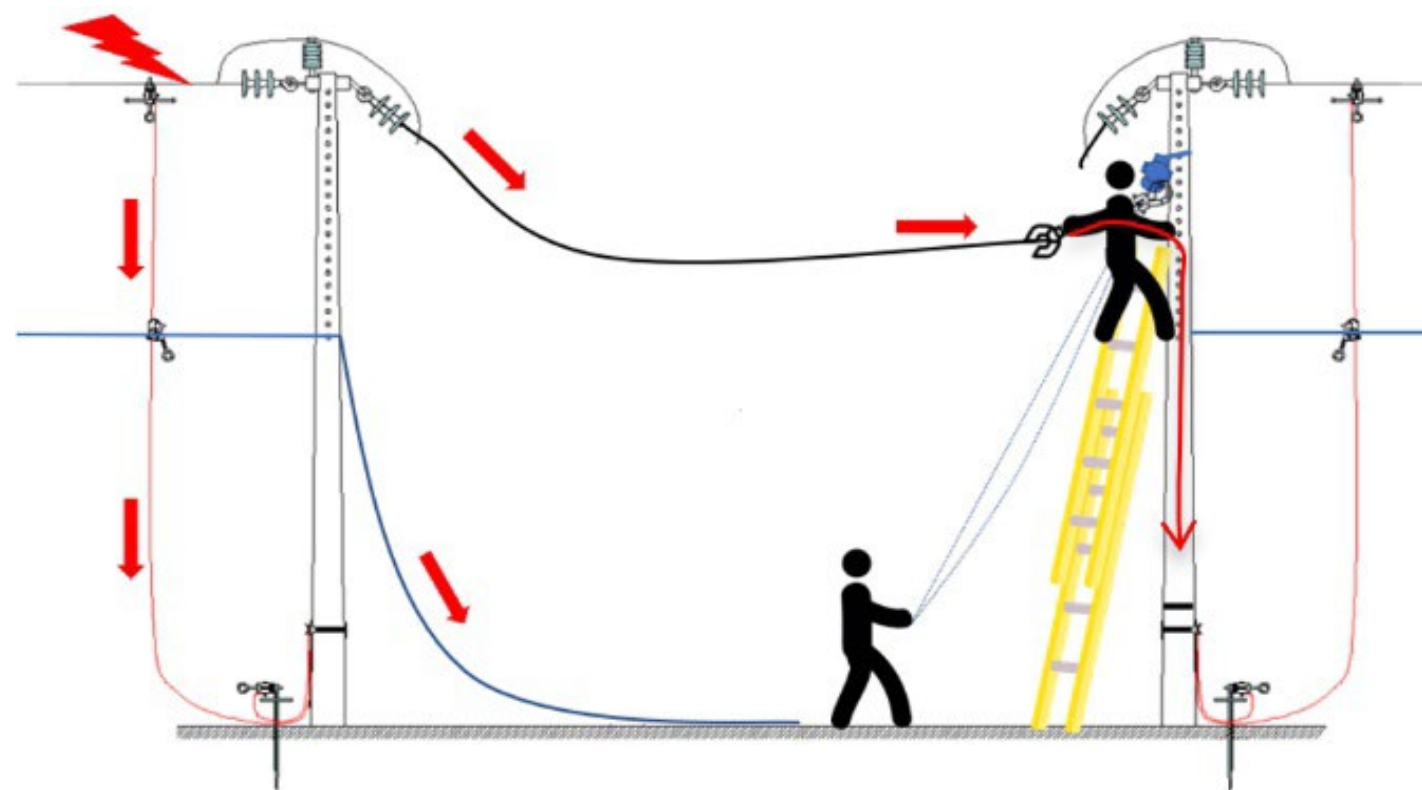
**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Contextualização do problema

## Ocorrência de acidentes

- **Caso 1:** Choque elétrico em 3 executantes com sequelas permanentes por energização acidental em emenda de cabo ao solo, estrutura aterrada, porém com haste mal afundada e grampo frouxo.
- **Caso 2:** Choque elétrico fatal por energização acidental de possível geração particular não cadastrada na concessionária, em zona rural, emenda de cabo ao solo. Sem aterramento.
- **Caso 3:** Energização acidental por descarga atmosférica durante emenda de cabo na estrutura.



Realization:

instituto  
abradee.



HostCompany:

CEMIG

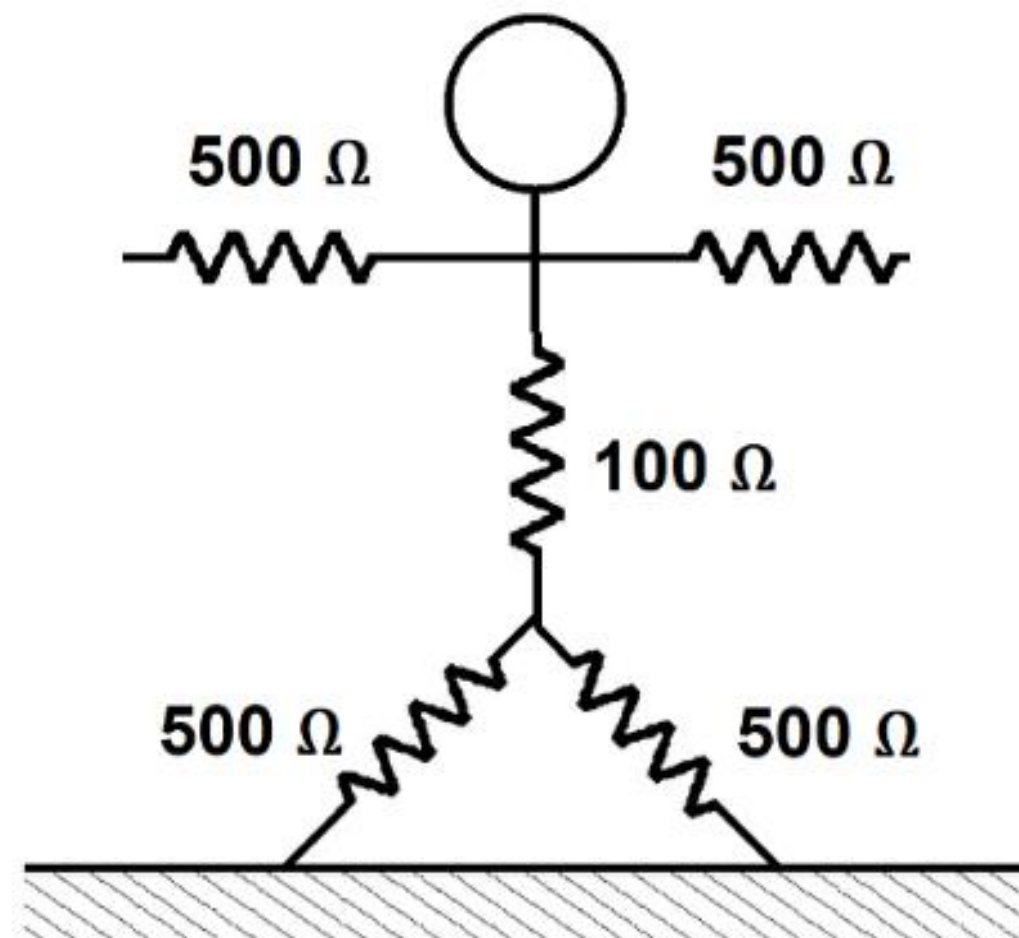
Classificação: Direcionado



# Parâmetros considerados

## Resistência elétrica do corpo humano

- Difícil determinação do valor exato
- Variável com as condições ambientais e equipamentos de proteção usados
- Valores considerados na literatura: 500  $\Omega$  a 1000  $\Omega$
- Tensão de segurança NR-10, 50 Volts V c.a.



$$I = V/R$$

$$I = 50\text{v}/1000\Omega$$

$$I = 50\text{mA}$$

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

Classificação: Direcionado



# Histórico da análise

- Estudo elétrico original realizado em 1986 pela Cemig com UFMG
  - Dimensionamento do conjunto de aterramento temporário
  - Avaliação de 4 casos com eletricista trabalhando no poste
  - Conclusão: Conjunto sela-neutro é necessário para proteção eletricista no poste
- Revisão do estudo em 2023
  - Simulação utilizando softwares como o MATLAB/Simulink e LT-SPICE®
  - Inclusão de 3 novos casos considerando atividades no solo
  - Conclusão: Considerando o trabalho no solo são necessárias outras medidas adicionais além do aterramento temporário

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

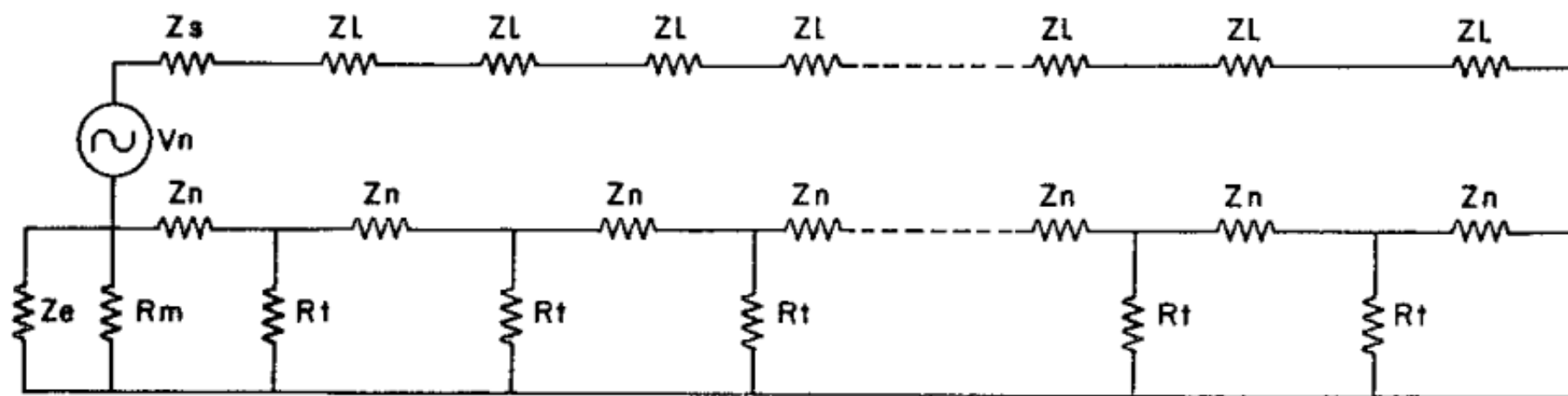
**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Modelagem elétrica

➤ Modelo de rede de distribuição com neutro contínuo e multiterrado

➤ Mantidas as premissas do estudo original



## Parâmetros de cálculo

- $Z_L$  - impedância do condutor fase =  $0,2035 + j0,3914 \ \Omega / \text{km}$   
 $Z_n$  - impedância do condutor neutro =  $0,0195 + j0,0163 \ \Omega / 30\text{m}$   
 $Z_s$  - impedância equivalente do sistema =  $0,44 \ \Omega$   
 $R_m$  - resistência da malha de aterramento =  $0,7 \ \Omega$   
 $R_T$  - resistência de aterramento por poste =  $300 \ \Omega$  (ver obs.1)  
 $R_P$  - resistência do poste de concreto =  $450 \ \Omega / \text{m}$   
 $R_C$  - resistência do conjunto de aterramento =  $0,005 \ \Omega$   
 $R_h$  - resistência do corpo humano =  $1000 \ \Omega$   
 $n$  - número de pontos de aterramento antes = 10  
 $m$  - número de pontos de aterramento depois = 100  
 $d$  - distância entre postes de aterramento = 30 m.

## Características do alimentador

- bitola de condutor fase - 336,4 CA.
- bitola do condutor neutro - 1/0 CA.
- tensão nominal fase, neutro- 7967 V.
- posteação - poste de concreto circular.

Realization:

instituto  
**abradee**

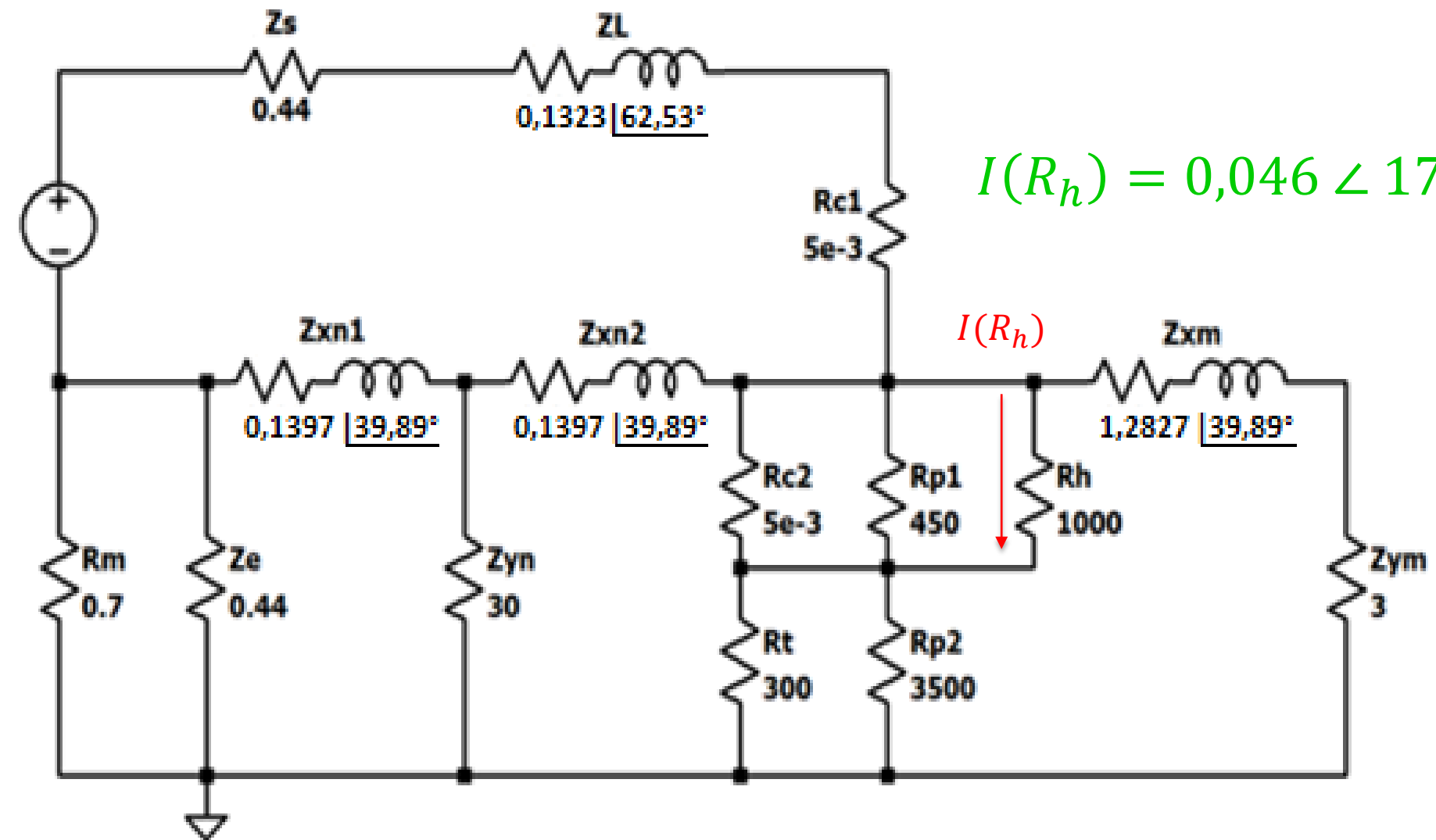
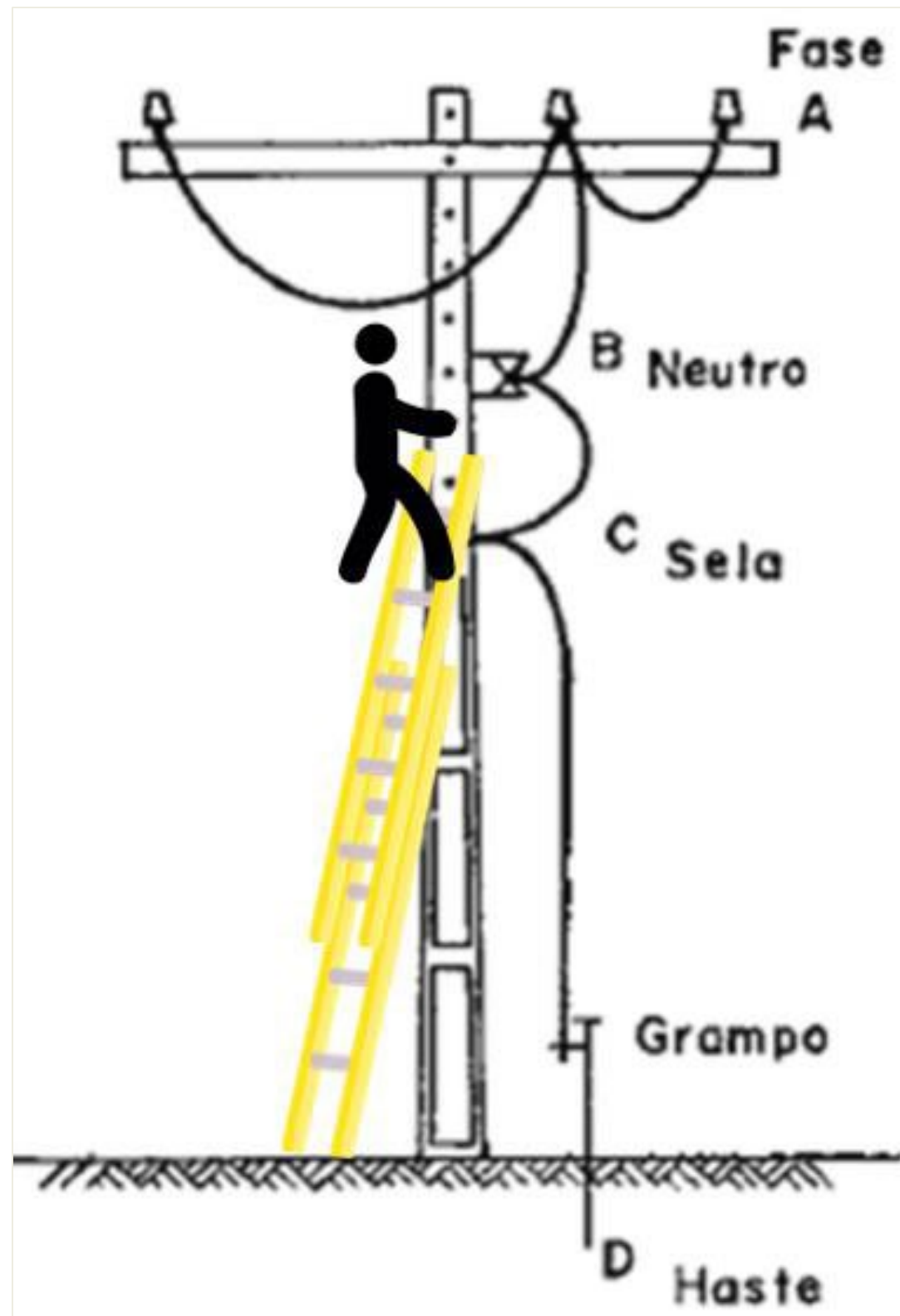
HostCompany:

**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Casos avaliados no estudo original

## Caso 1: Aterramento na estrutura com uso de conjunto sela-neutro



$$I(R_h) = 0,046 \angle 17,38^\circ \text{ mA}$$

Realization:

instituto  
abradee.



HostCompany:

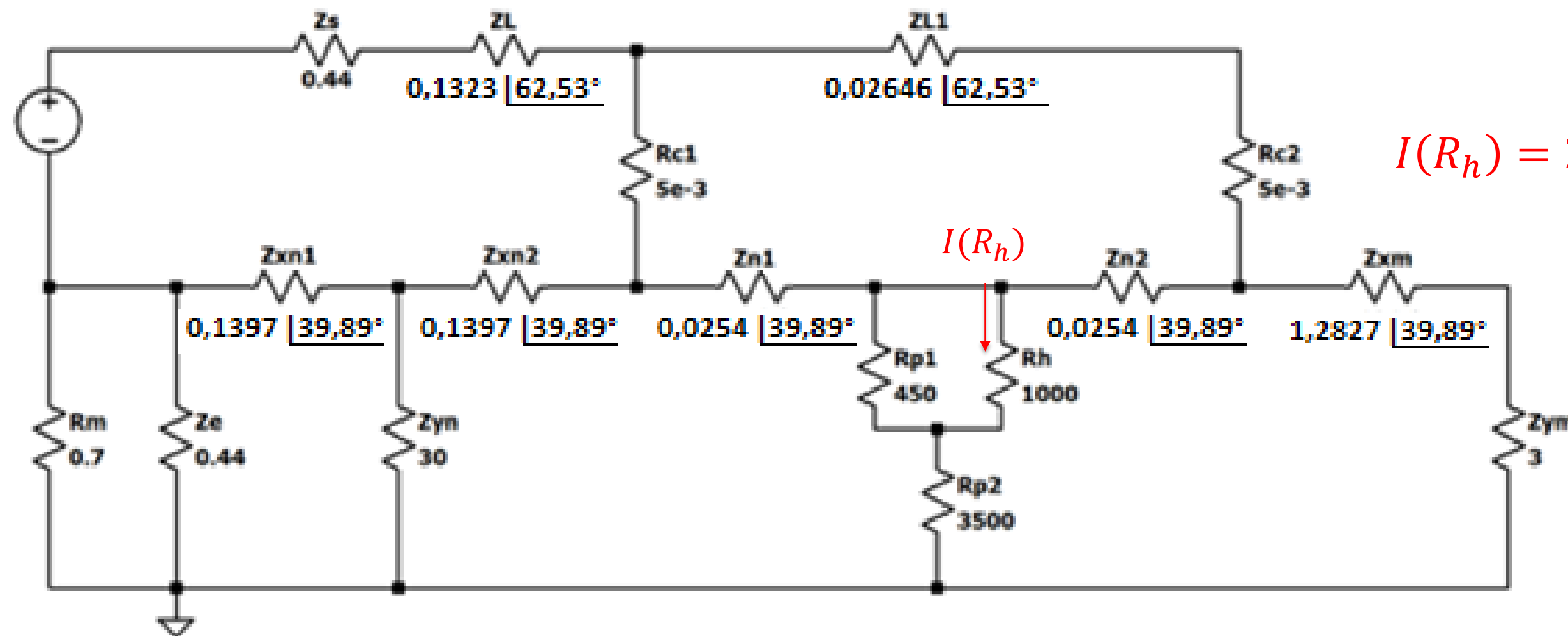
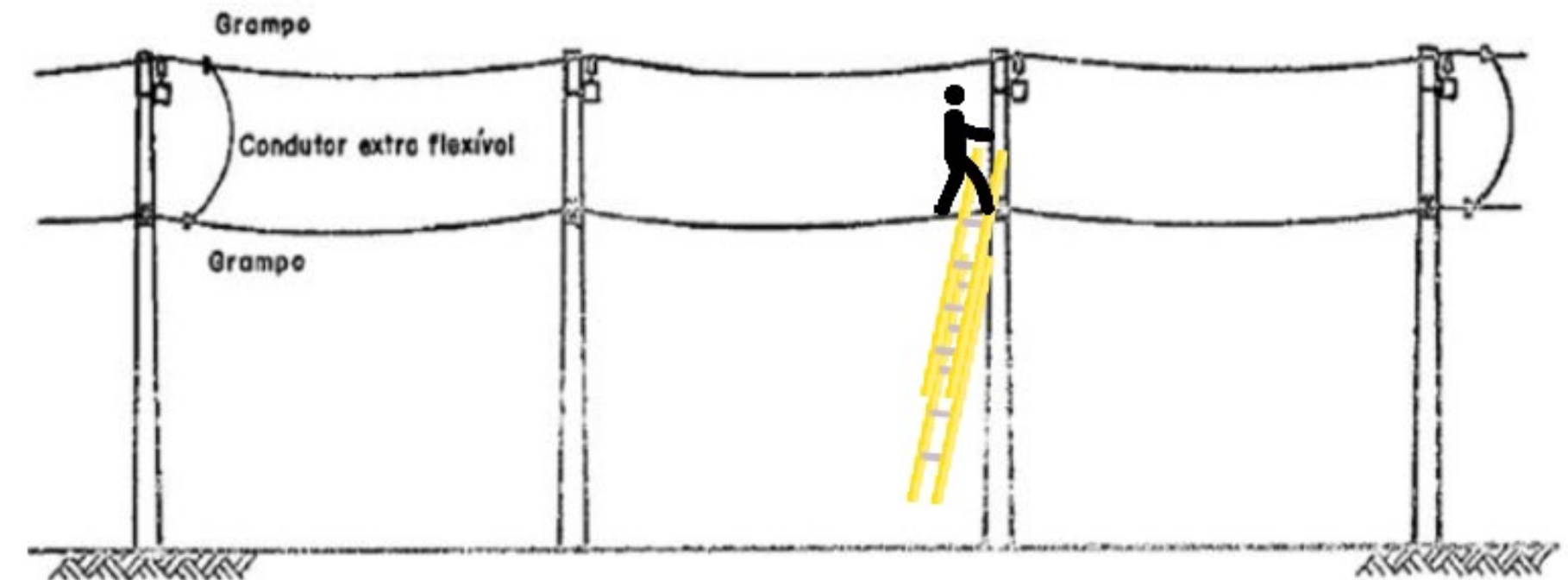
CEMIG

Classificação: Direcionado

# Simulação elétrica

Casos avaliados no estudo original

**Caso 2:** Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro)



$$I(R_h) = 209,47 \angle 17,13^\circ \text{ mA}$$

Realization:

instituto  
abradee.

HostCompany:

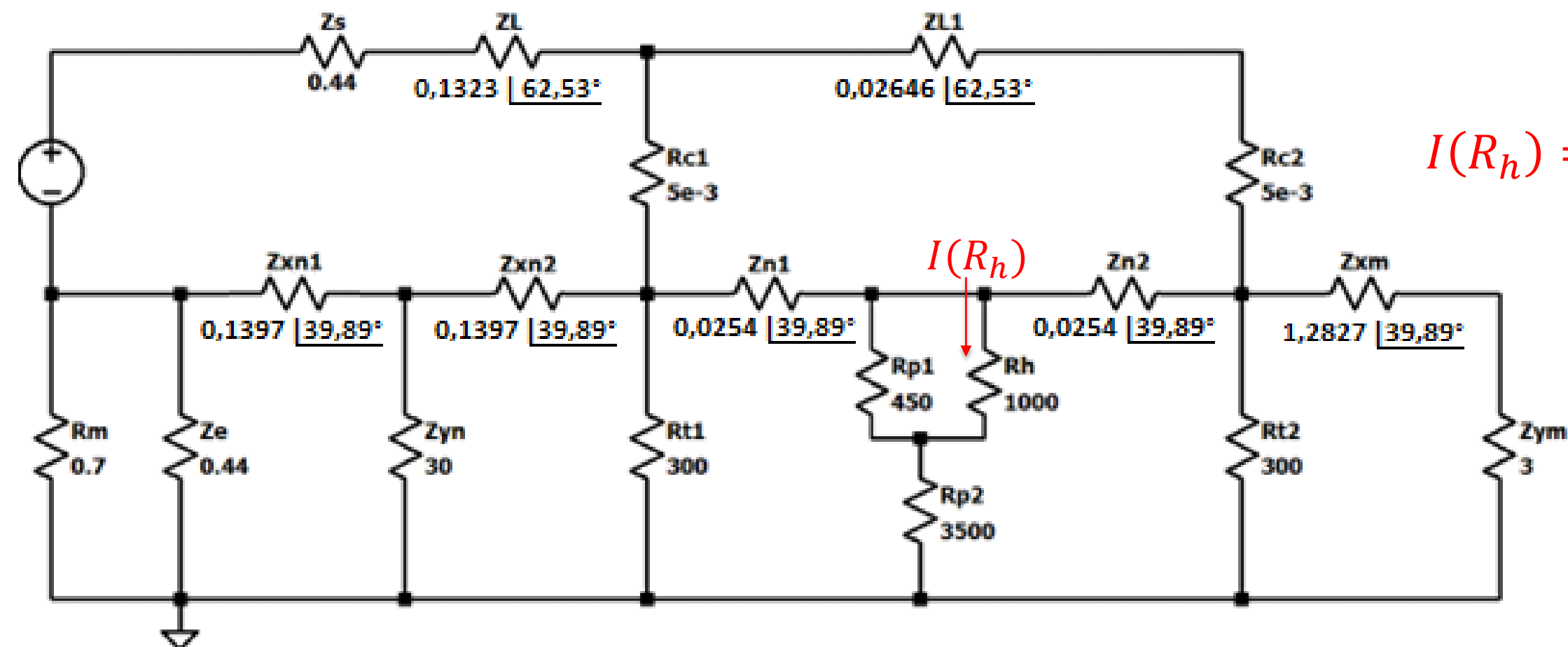
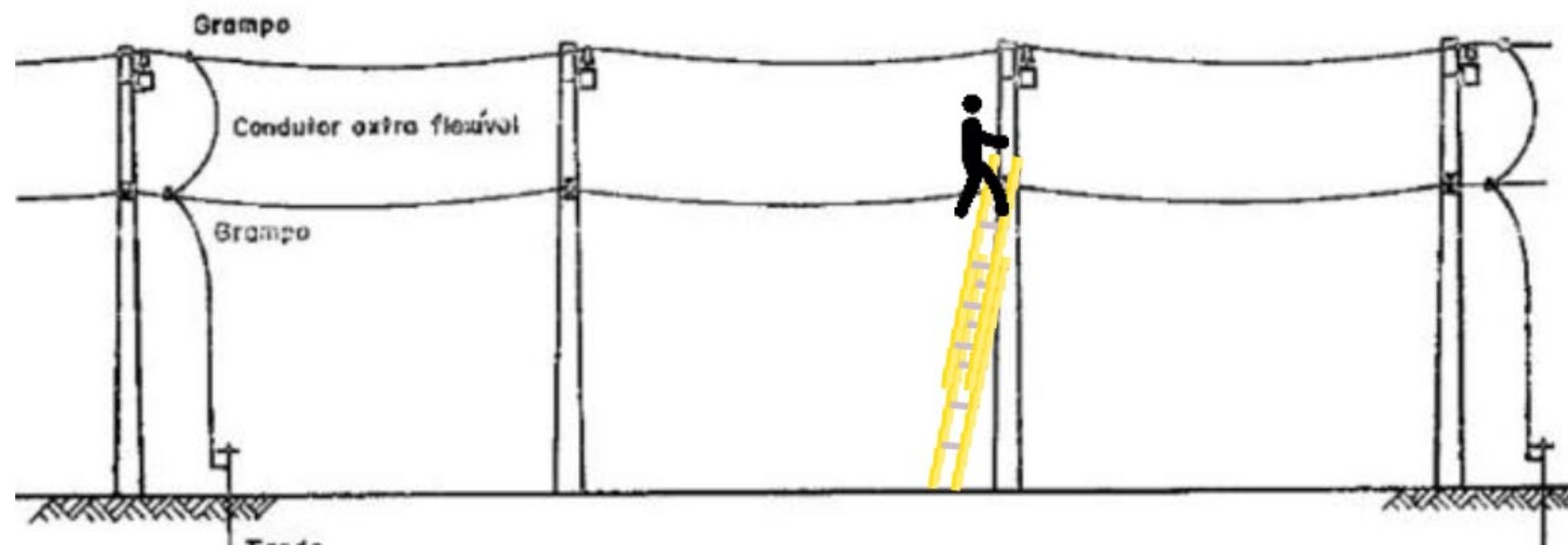
CEMIG

Classificação: Direcionado



# Casos avaliados no estudo original

## Caso 3: Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro-Haste)



$$I(R_h) = 208,93 \angle 17,10^\circ \text{ mA}$$

Realization:

instituto  
abradee.



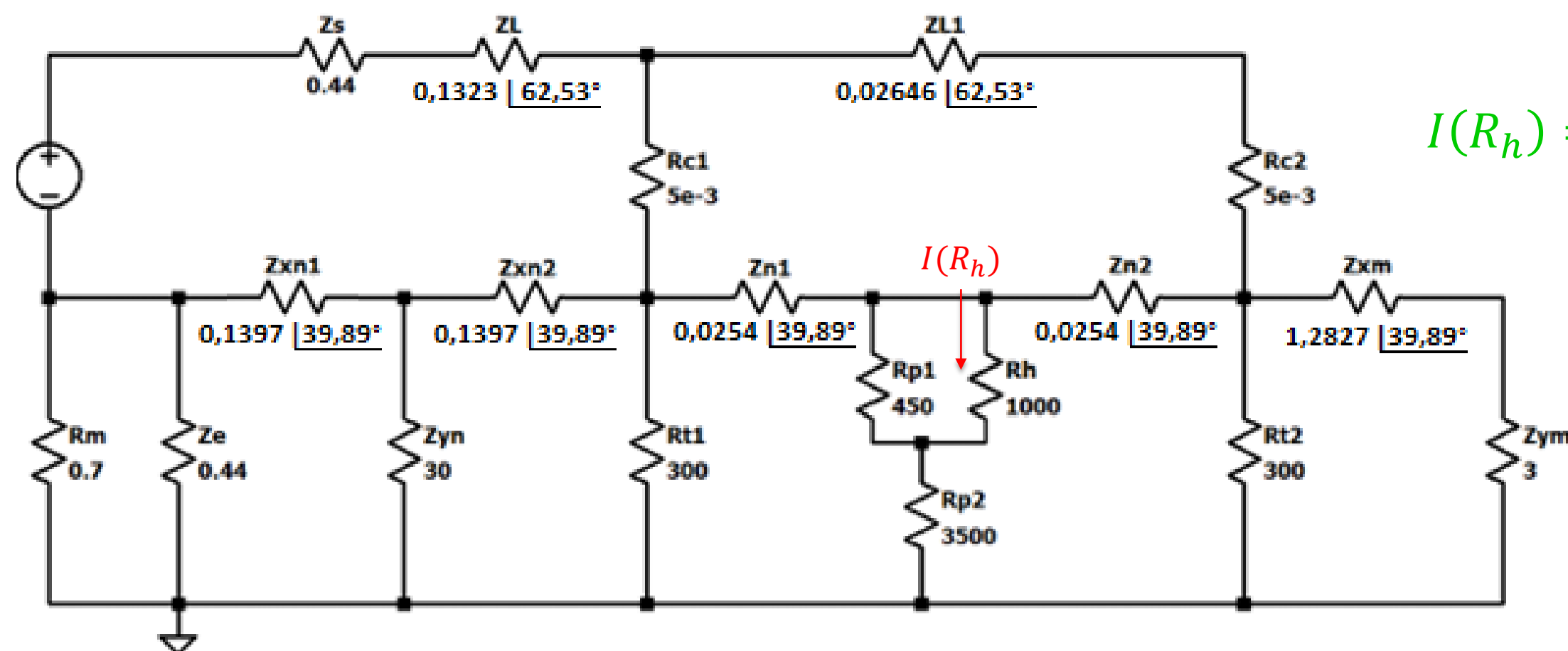
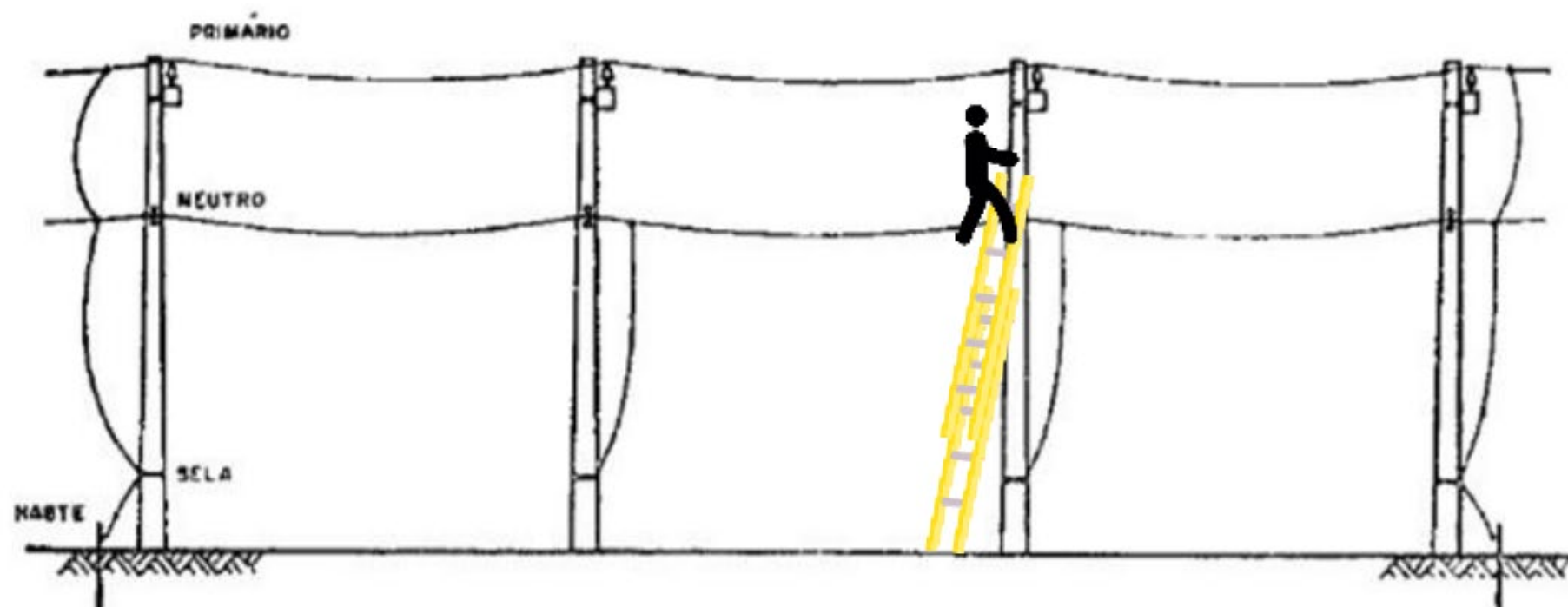
HostCompany:

CEMIG

Classificação: Direcionado

# Casos avaliados no estudo original

## Caso 4: Aterramento de trecho (Conexão Fase-Neutro e sela neutro em todos os postes)



$$I(R_h) = 0,0464 \angle 17,08^\circ \text{ mA}$$

Realization:

instituto  
abradee.

HostCompany:

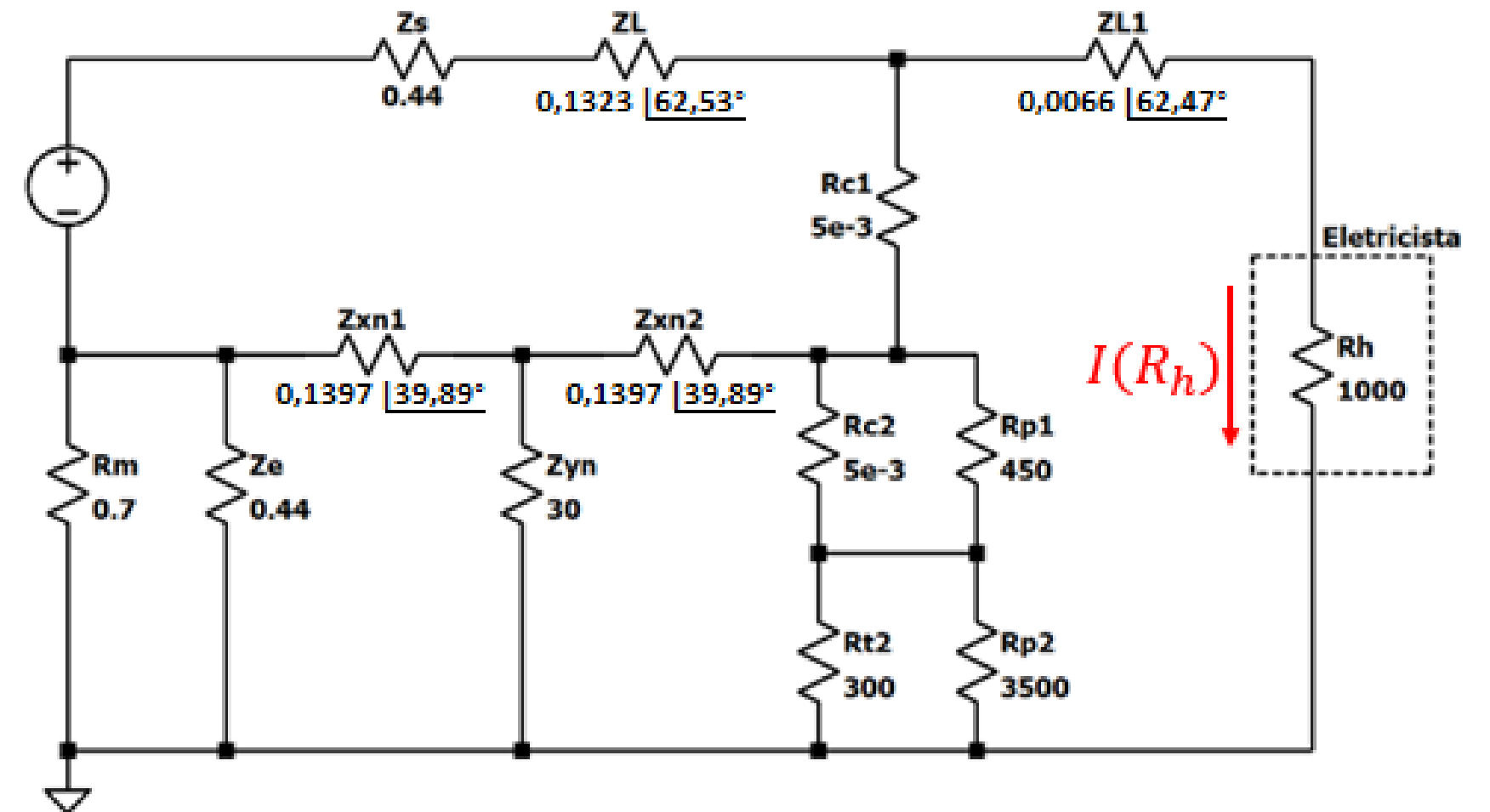
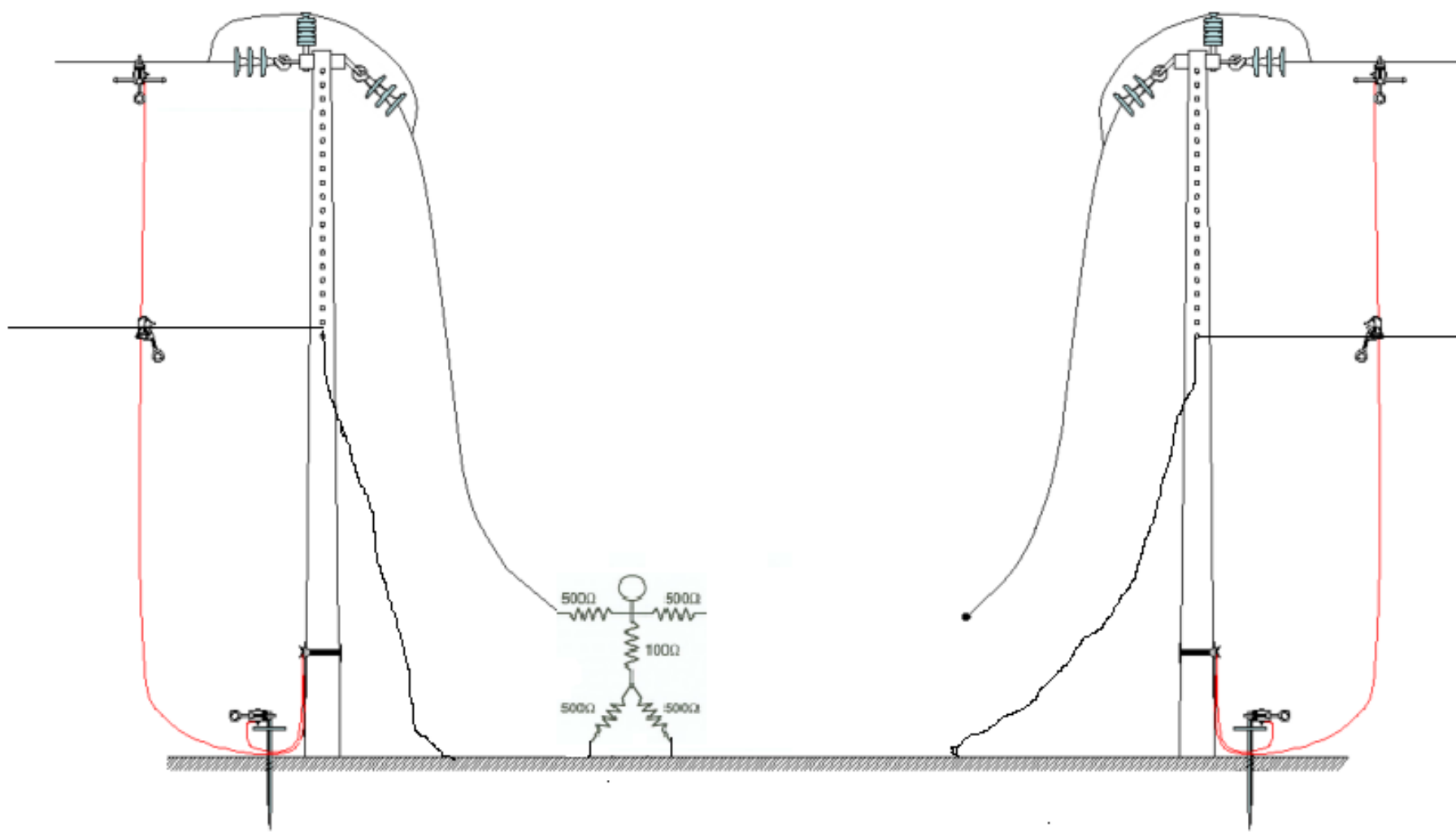
CEMIG

Classificação: Direcionado

# Simulação elétrica

Casos avaliados na revisão do estudo

**Caso 5:** Emenda de cabo no solo (Eletricista tocando um lado do vão rompido)



$$I(R_h) = 2,8750 \angle 16,79^\circ A$$

Realization:

HostCompany:

instituto  
**abradee**

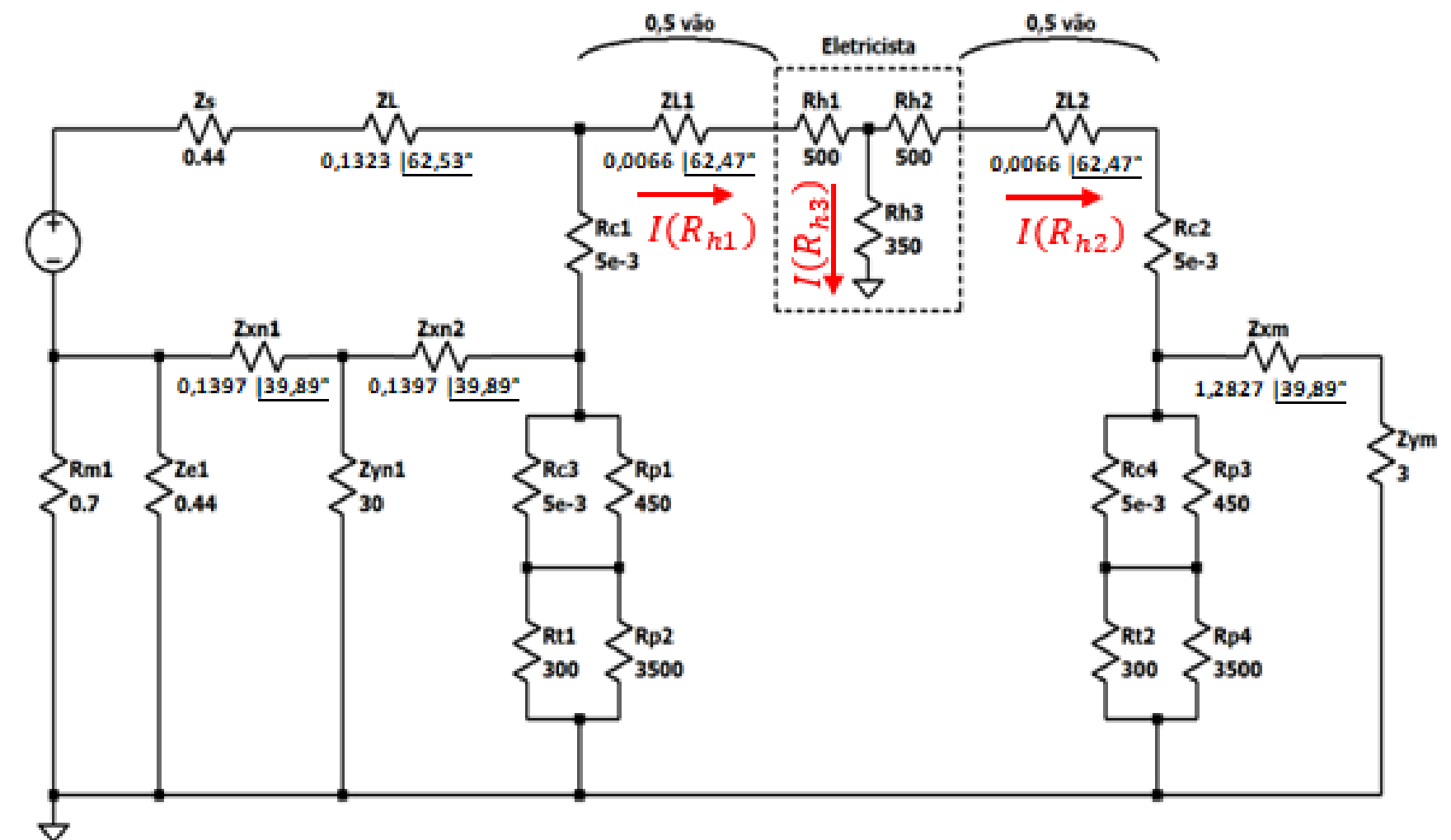
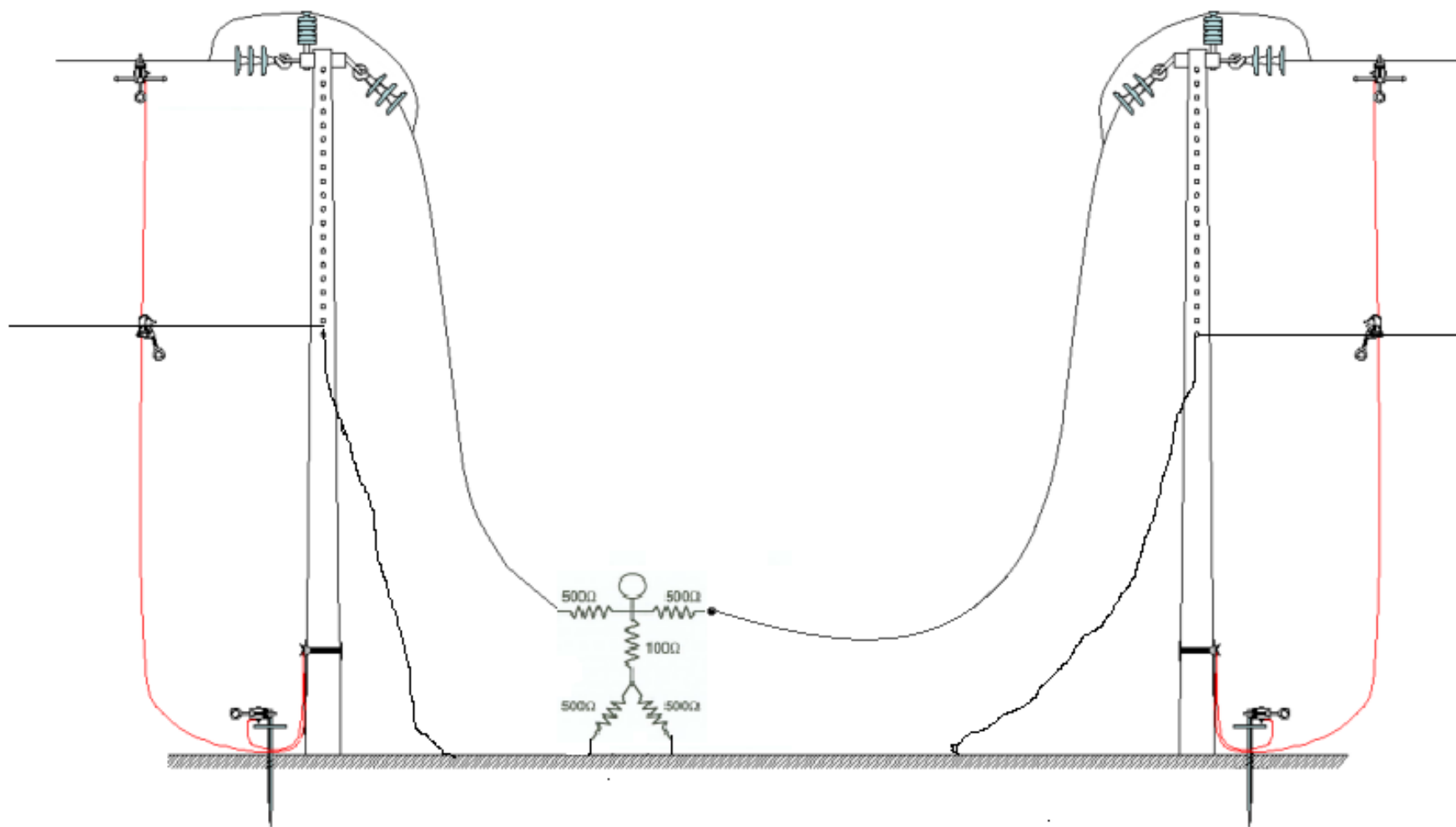
**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Simulação elétrica

## Casos avaliados na revisão do estudo

**Caso 6:** Emenda de cabo no solo (Eletricista tocando os dois lados da fase rompida – neutro rompido)



$$I(R_{h1}) = 4,0684 \angle 16,78^\circ A$$

$$I(R_{h2}) = 1,6675 \angle 16,73^\circ A$$

$$I(R_{h3}) = 2,4009 \angle 16,82^\circ A$$

Realization:

instituto  
**abradee**

HostCompany:

**CEMIG**

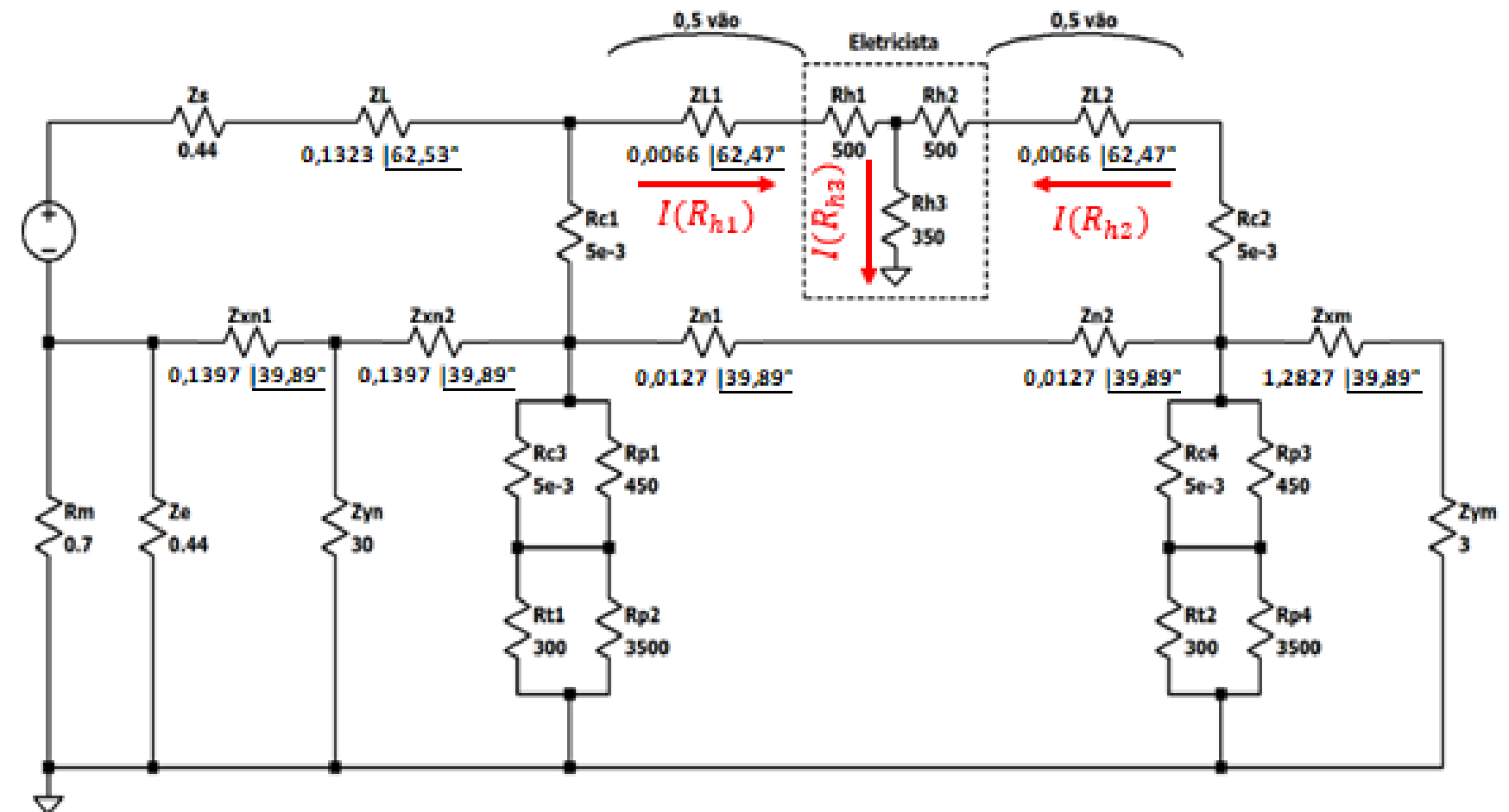
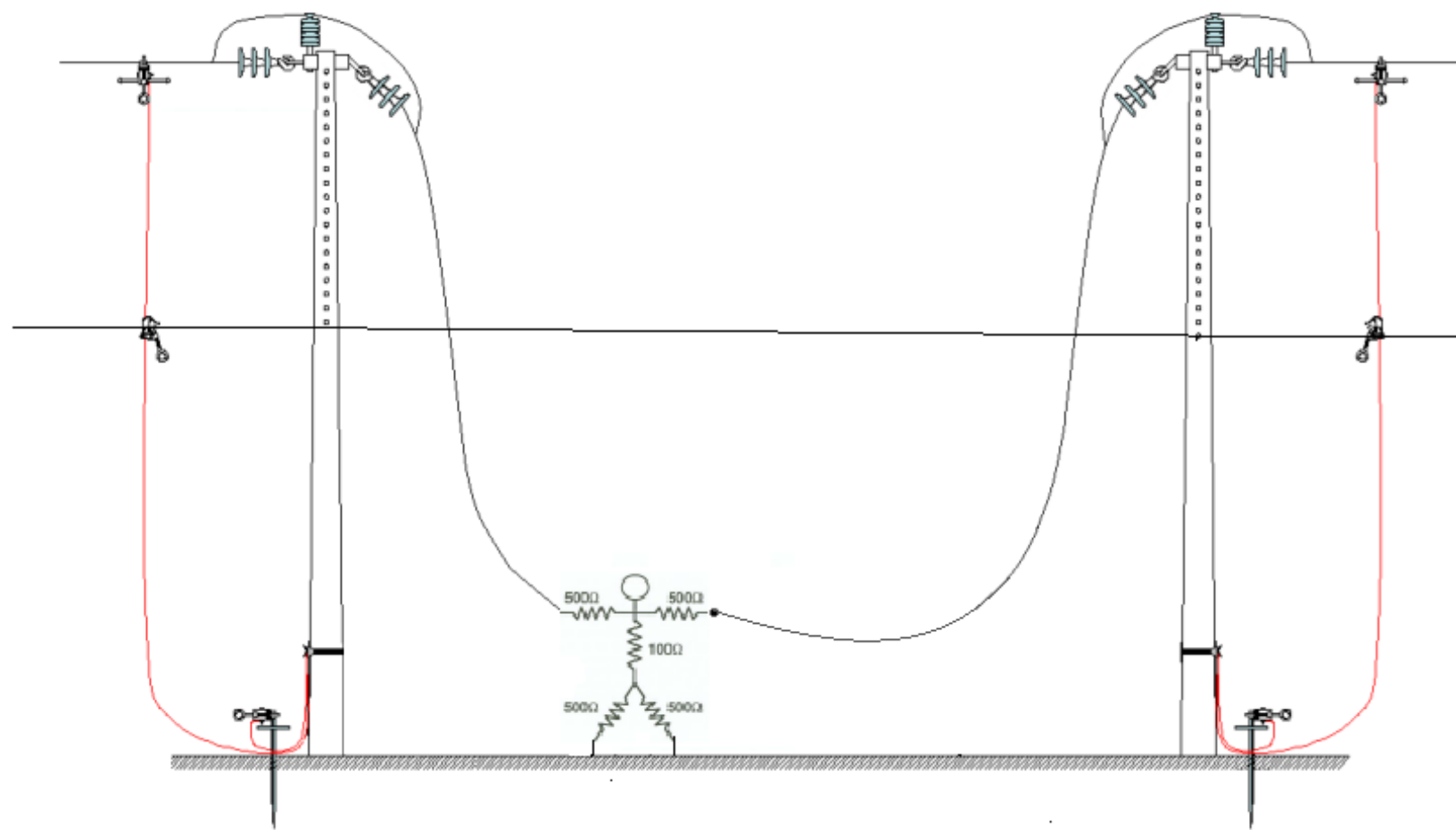
Classificação: Direcionado



# Simulação elétrica

## Casos avaliados na revisão do estudo

**Caso 7:** Emenda de cabo no solo (Contato com os dois lados da fase – neutro contínuo)



$$I(R_{h1}) = 2,1980 \angle 16,28^\circ \text{ A}$$

$$I(R_{h2}) = 2,0881 \angle -162,40^\circ \text{ A}$$

$$I(R_{h3}) = 4,2858 \angle 16,93^\circ \text{ A}$$

Realization:

instituto  
**abradee**

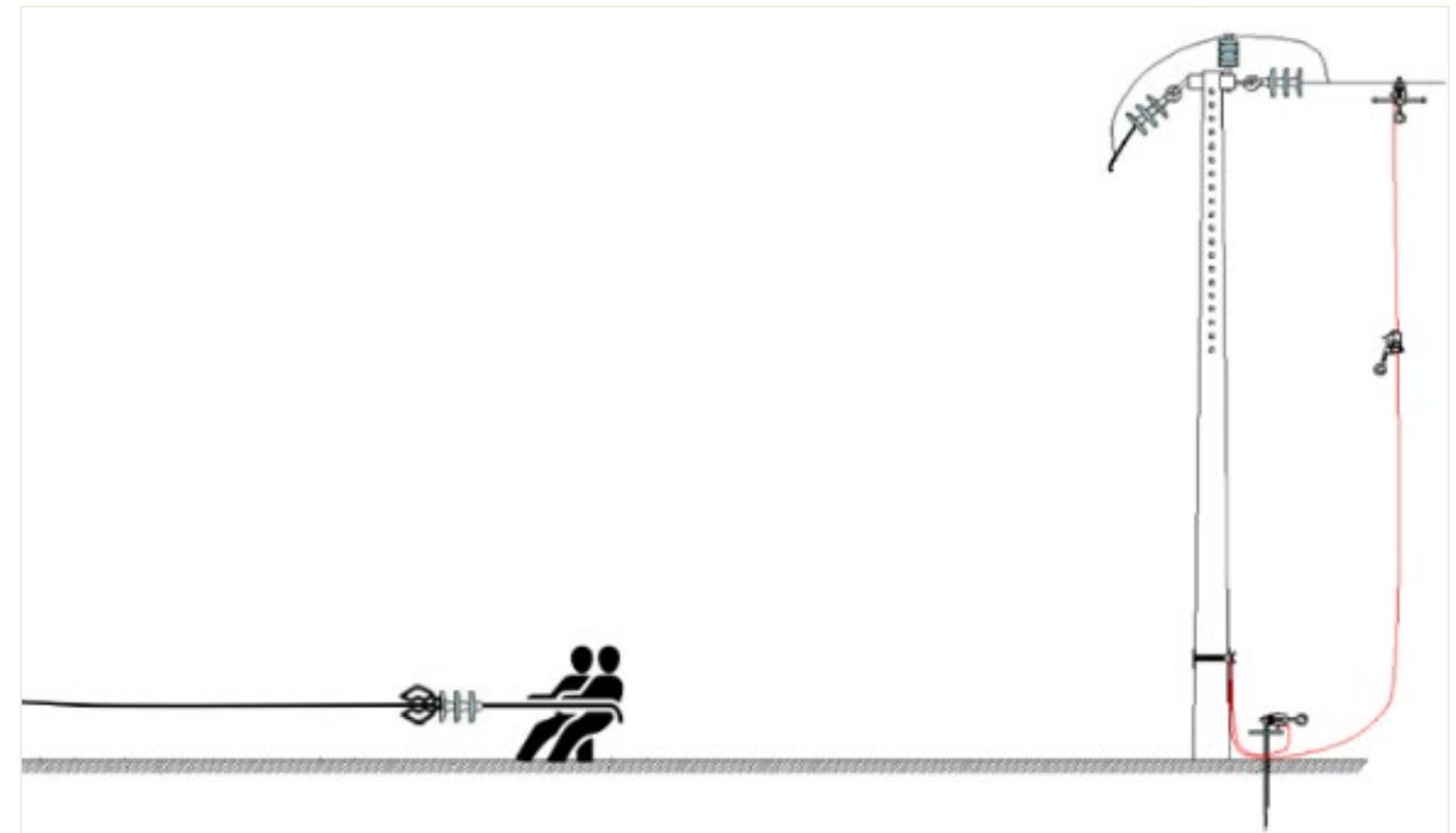
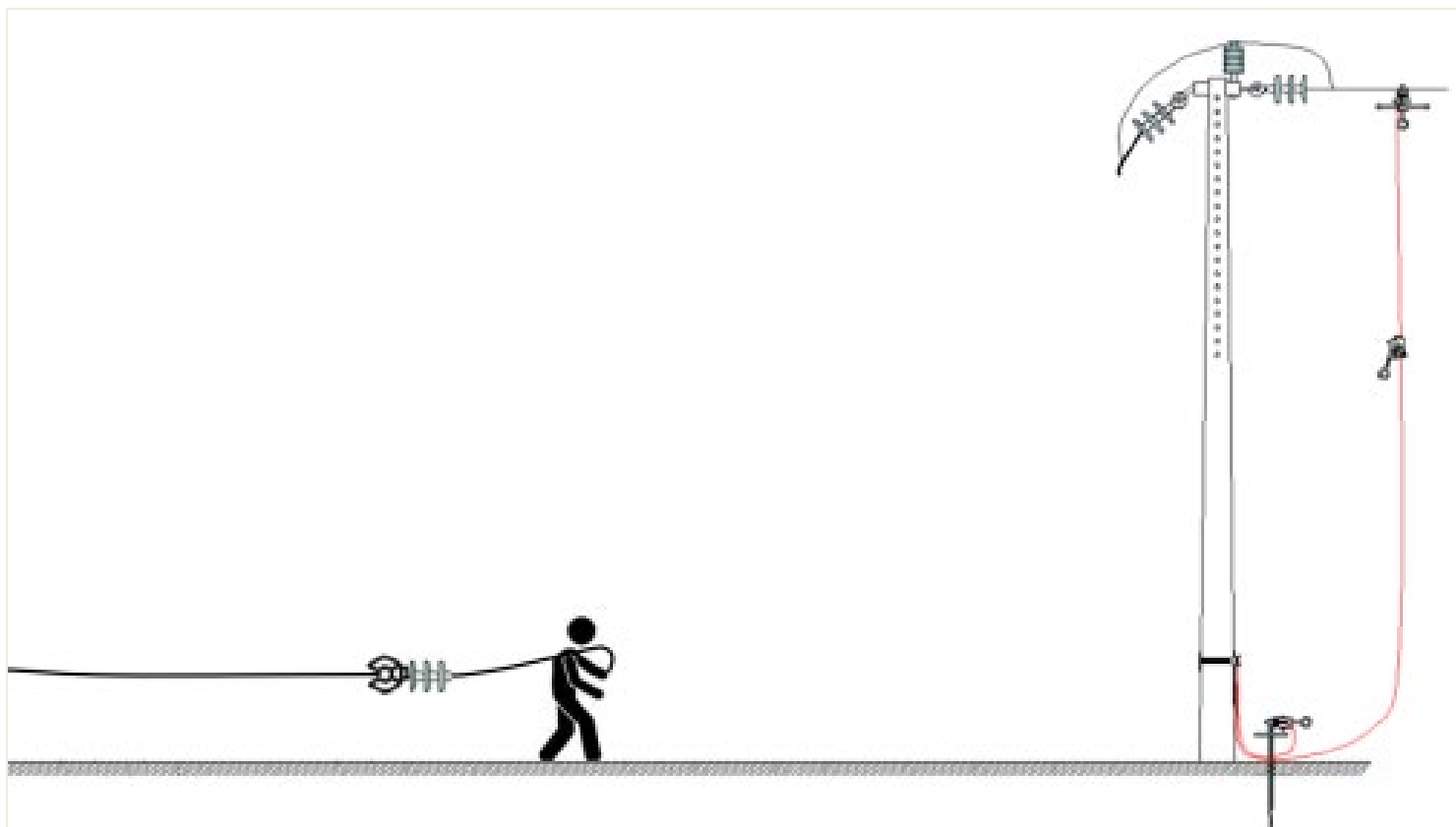
HostCompany:

**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Procedimento seguro - solo

- Uso de luvas isolantes compatíveis com o nível de tensão da rede
- Não tocar no cabo no solo com parte do corpo desprotegida
- Uso de corda com isolador se necessário puxar o cabo



Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

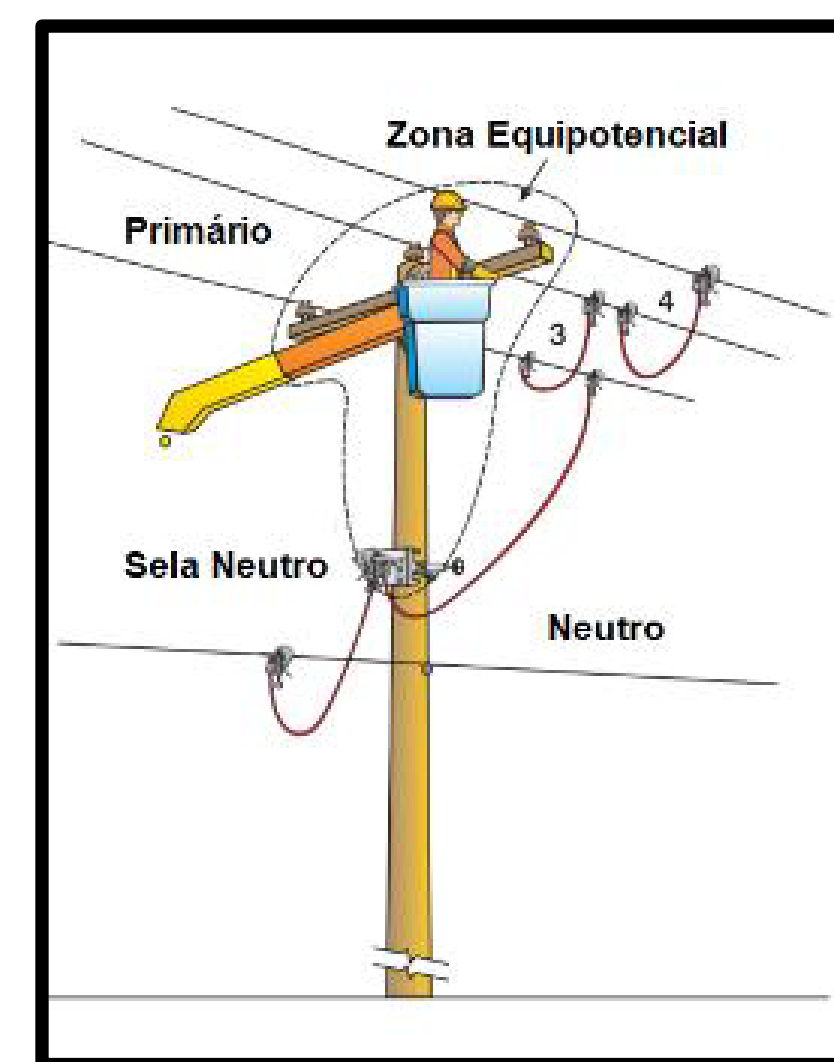
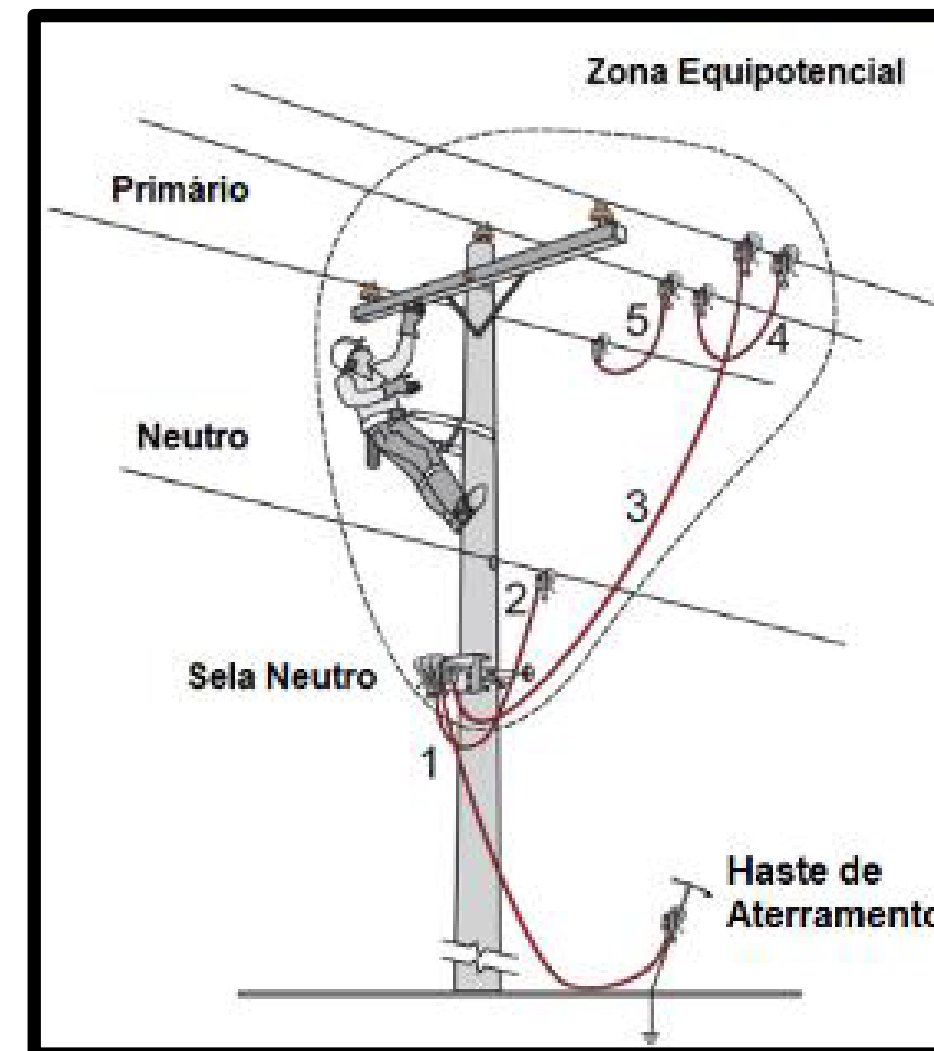
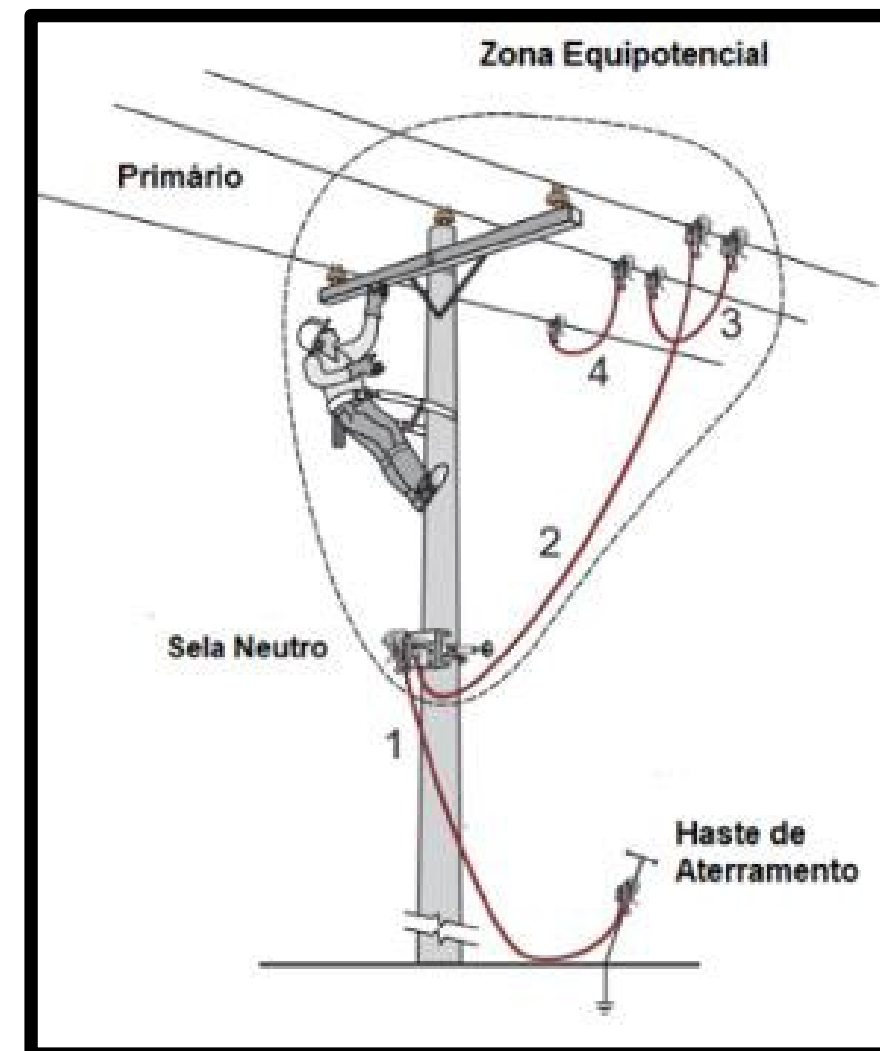
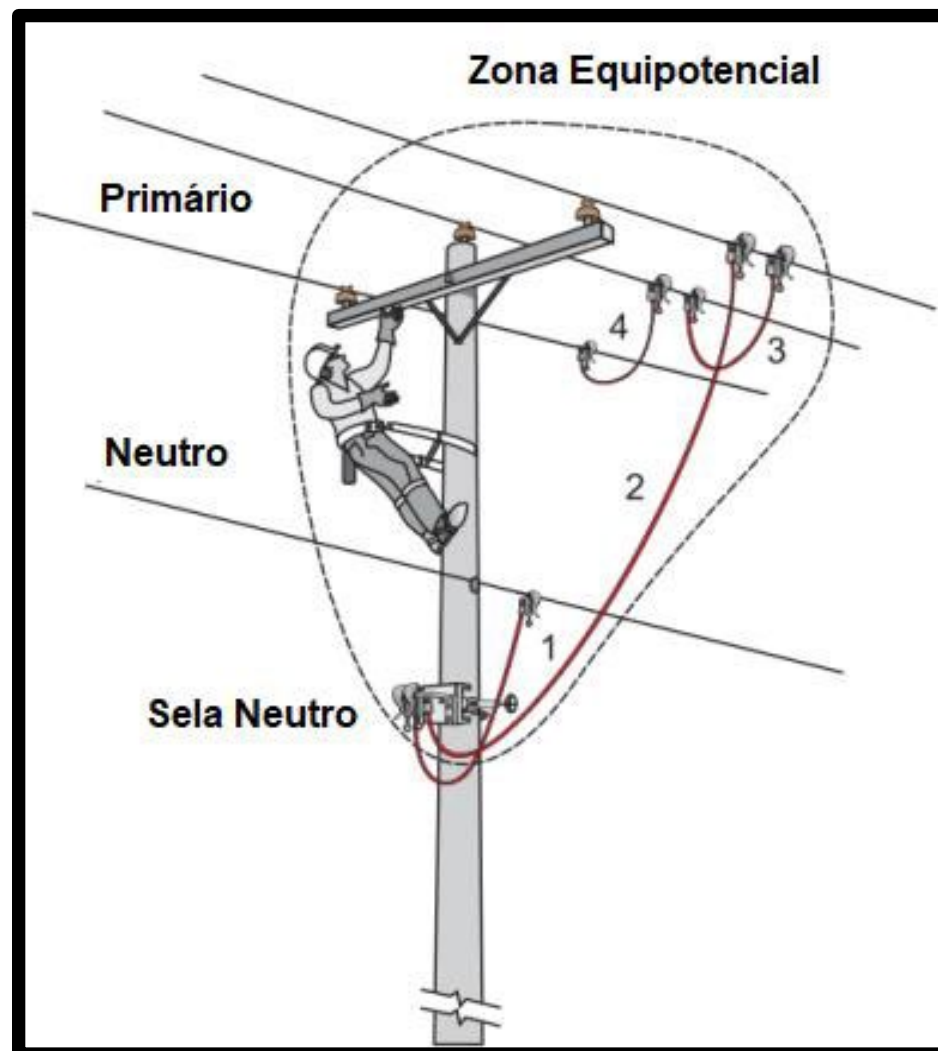
**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Procedimento seguro - estrutura

## Zona equipotencial

Definida pela conexão do conjunto sela neutro



Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

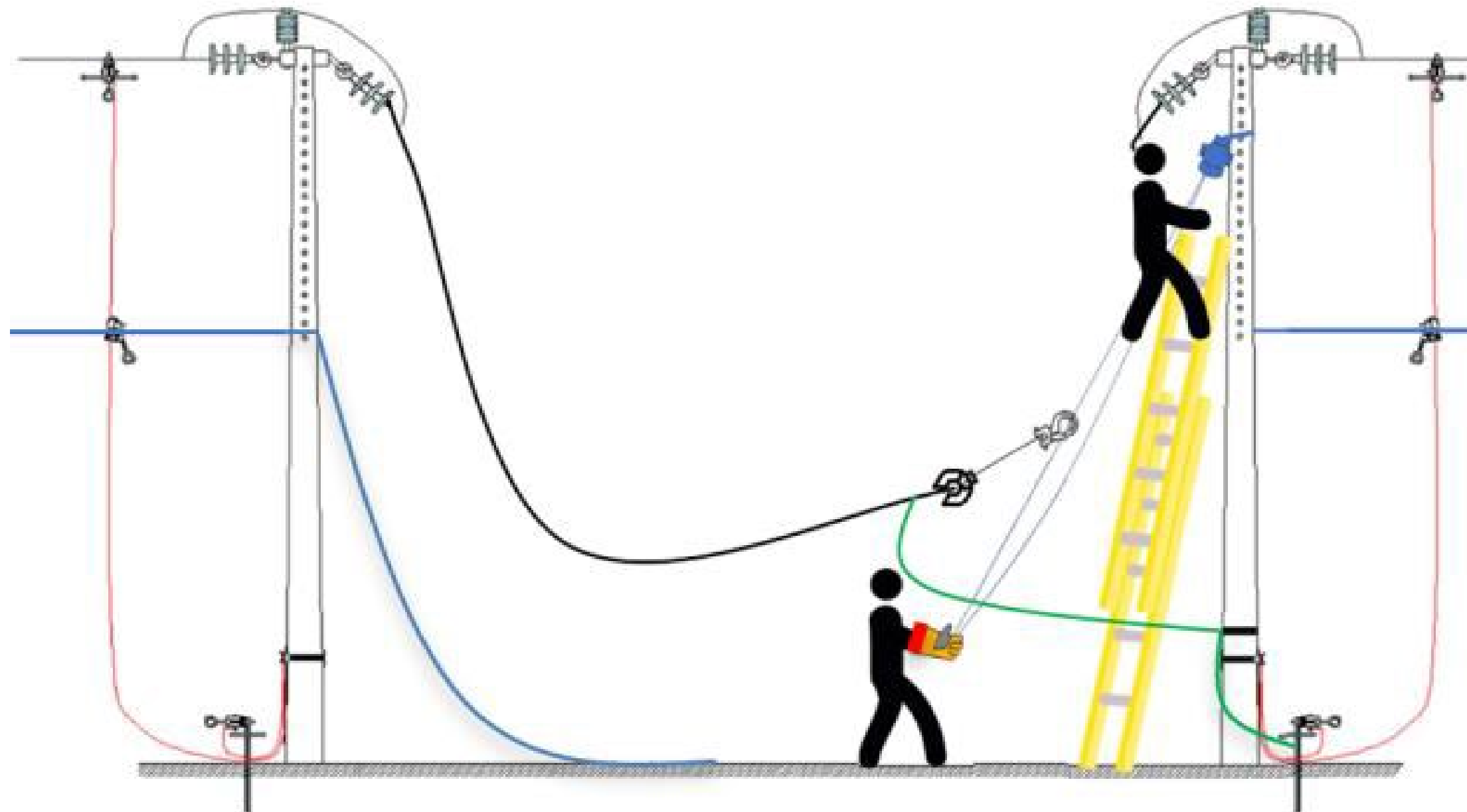
**CEMIG**

Classificação: Direcionado

# Procedimento seguro - estrutura

## Procedimento correto para entrega do condutor rompido

- Enquanto os cabos permanecerem no solo, a equipe não pode manuseá-los com parte do corpo desprotegida de EPI's isolantes, sendo obrigatório o uso de luvas isolantes, inclusive, ao utilizar a carretilha/moitão.



Realization:

instituto  
**abradee**



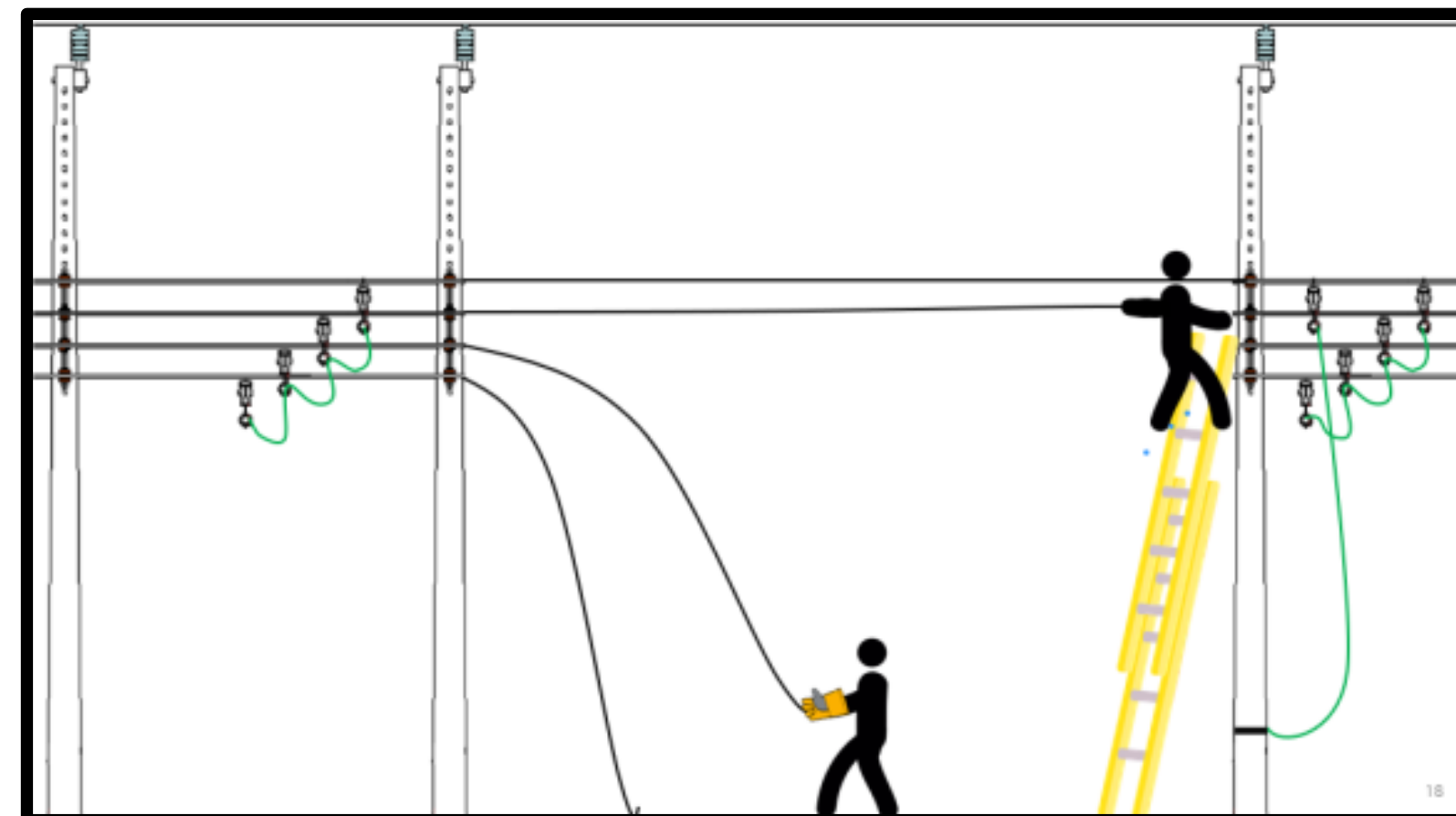
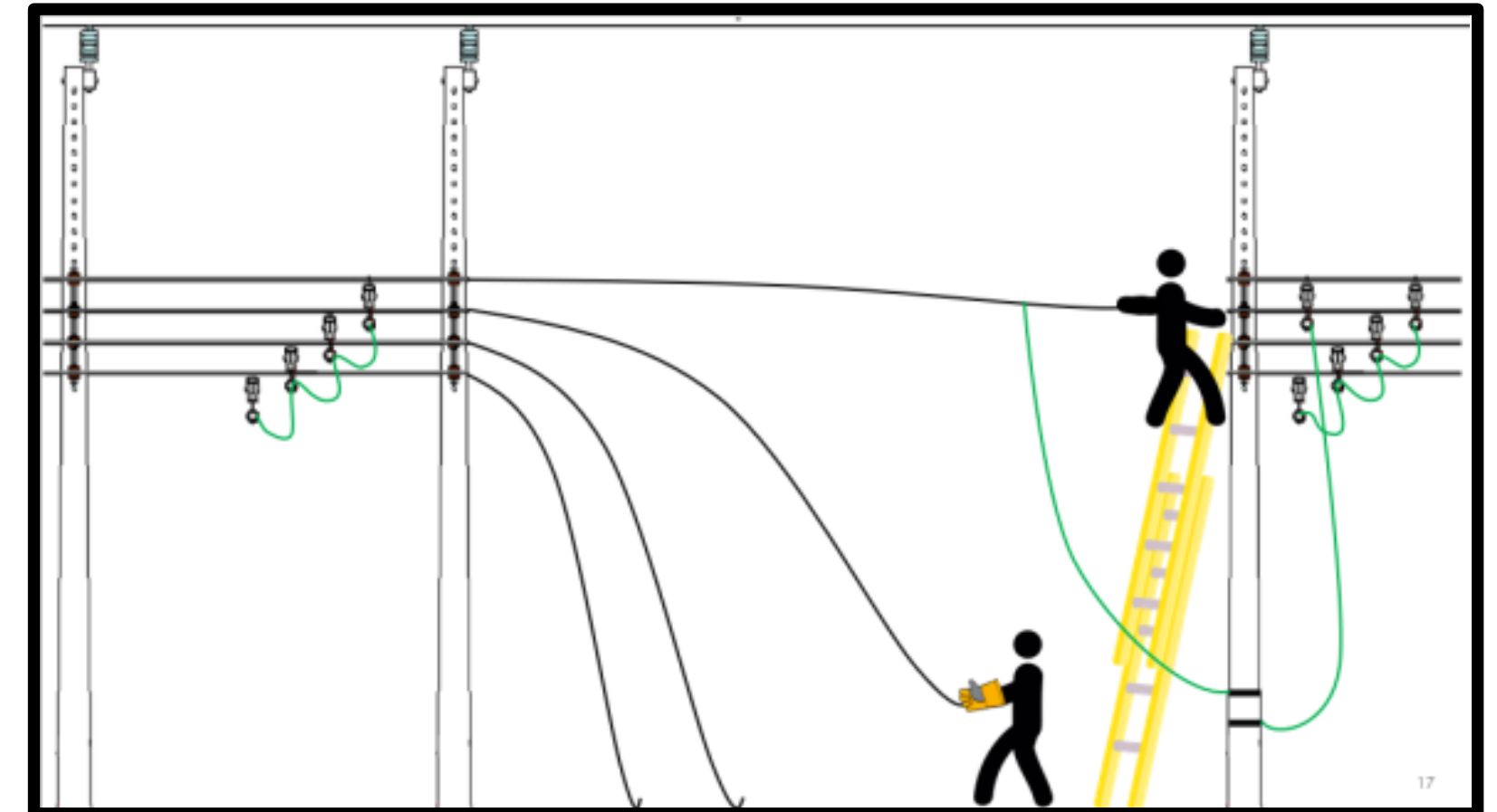
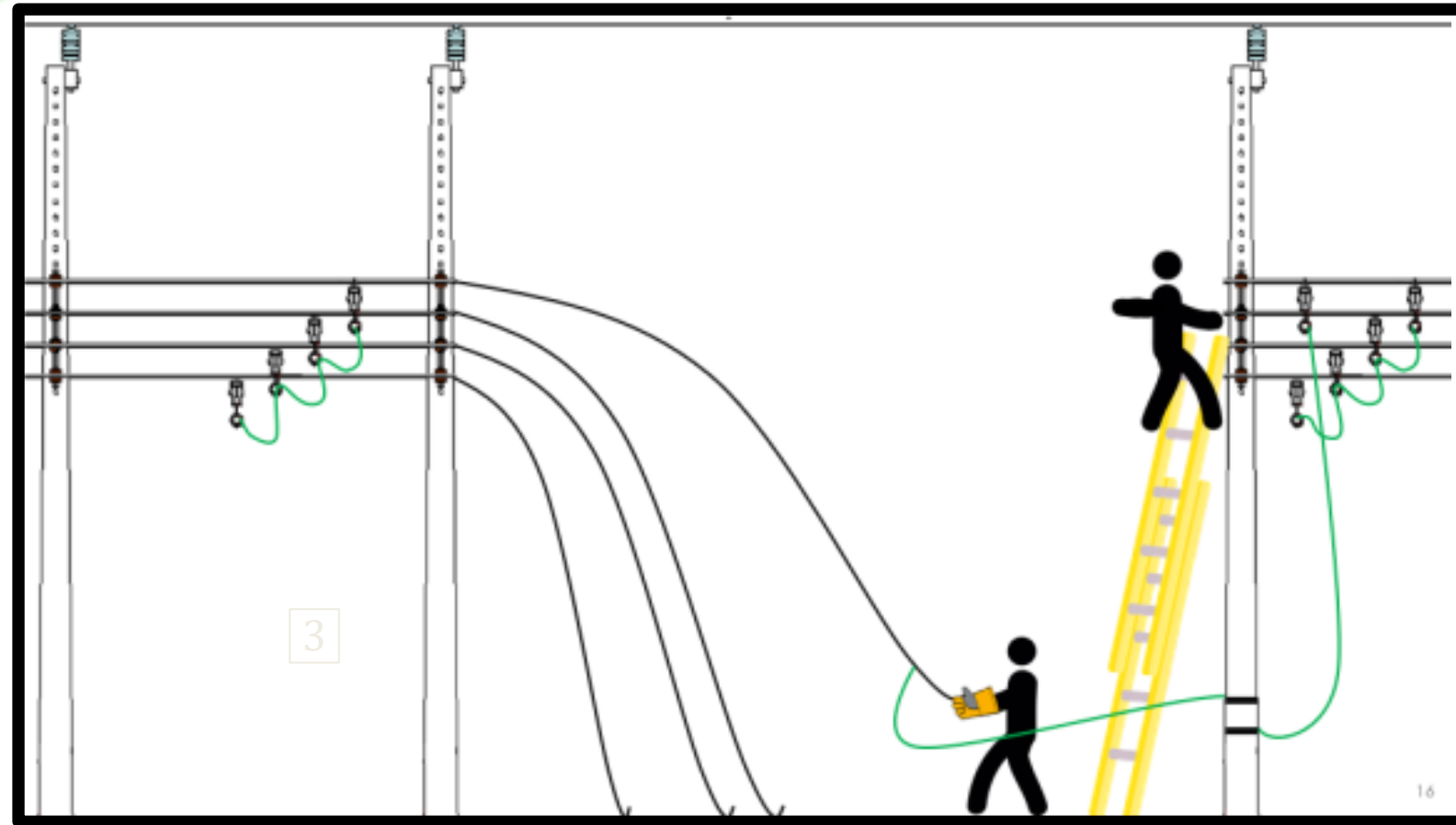
HostCompany:

**CEMIG**

Classificação: Direcionado



# Procedimento seguro - estrutura



Realization:

instituto  
abradee.



HostCompany:

CEMIG

Classificação: Direcionado

# Conclusão

- **A Zona de equipotencialização criada pelo sela neutro garante a proteção do eletricista no alto da estrutura**
  - Todo o trabalho deve ser realizado dentro dessa zona
- **Foi demonstrado o risco de manusear condutores rompidos no solo**
  - Instalação de aterramento temporário e sela neutro não controla o risco
  - Necessária isolação adequada para realização do trabalho
- **O Brasil não exige, como os EUA e Canadá, a obrigatoriedade da Zona Equipotencial nas atividades no SEP, além dos procedimentos de emenda de cabo no solo não serem eficazes para o controle do risco choque elétrico dos trabalhadores.**

Realization:

instituto  
**abradee**



HostCompany:

**CEMIG**

Classificação: Direcionado





OBRIGADO!