

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**  
ESCOLA DE ENGENHARIA / ENGENHARIA ELÉTRICA  
Trabalho Final de Curso II

**Maurício Pereira Gonzaga de Souza**  
**Lucas Bernardino Teixeira Guimarães**

Proteção do Sistema Elétrico de Potência – Análise de Caso.

Trabalho Final de Curso como parte dos requisitos para  
obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica  
apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Esp. Alair Gomes Camargo – Orientador. PUC-GO**  
**Prof. Dr. Cassio Hideki Fujisawa – PUC-GO**  
**Eng. Eletricista Adelmo Wener Carneiro Camargo**

Goiânia, 20 de Novembro de 2020.

# Proteção do Sistema Elétrico de Potência – Análise de Caso.

Maurício Pereira Gonzaga de Souza  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Departamento de Engenharia Elétrica - PUCGO  
Goiânia-Goiás, Brasil  
mauricio.jti@gmail.com

Lucas Bernardino Teixeira Guimarães  
Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Departamento de Engenharia Elétrica - PUCGO  
Goiânia-Goiás, Brasil  
lucas.btg19@outlook.com

**Resumo** — Neste trabalho realizaremos um estudo de caso de um evento real, ocorrido na linha de transmissão (LT) com origem na subestação Dumas que alimenta as subestações de Cervantes e Verner na tensão de 34,5kV. A proteção atuou na cabeceira da S.E. Dumas, interrompendo o abastecimento de energia elétrica das duas cidades que são alimentadas pela LT-34,5kV.

Ao longo da linha, também estão conectados vários ramais com clientes rurais alimentados diretamente na rede de 34,5kV. Um desses ramais que, por defeito, provocou o desarme da proteção na cabeceira da S.E. Dumas contava com proteção de elo fusível, o qual não atuou como esperado. Neste estudo demonstraremos por meio de cálculos matemáticos quais as proteções que deveriam ter atuado, se a seletividade e a coordenação estavam contempladas e quais as melhorias poderiam ser adotadas.

## I. INTRODUÇÃO

No estado de Goiás, os clientes atendidos pela concessionária de Distribuição e conectados na média tensão (MT) podem ser alimentados em duas tensões de 13,8kV ou 34,5kV. As linhas de transmissão (LT) 34,5kV são destinadas a conectarem S.E. rebaixadoras de tensão a cargas de pequenos e médios centros consumidores. Dadas as distâncias, essas LTs podem chegar a mais de 100km de comprimento. No estado de Goiás, é normal alimentar clientes rurais com tensão de 34,5kV se aproveitando da proximidade dessas LTs, no entanto tal prática pode implicar em um grande prejuízo, visto que se houver algum defeito entre a fonte e a carga e não houver uma proteção eficaz atuando, pode-se tirar todo um centro consumidor que geralmente está conectado no final da LT.

No caso que vamos analisar, a LT possui uma extensão aproximada de 50km sentido Cervantes e por volta do Km 30 sai um ramal que alimenta Verner, totalizando uma distância de 38km de rede para S.E. Verner. A LT atende um total de 36.984 consumidores, sendo que destes 58 estão conectados diretamente na rede de 34,5kV e os demais são

rebaixados para a tensão de 13,8kV pelos transformadores da S.E. Cervantes e da S.E. Verner, ambos de 3,75MVA.

O ramal trifásico que provocou o desarme fica localizado no km 42 da LT, é protegido por um elo fusível do tipo 20K e uma cruzeta quebrada foi o que provocou o curto-circuito. A LT possui condutores 1/0 CAA com extensão total de aproximadamente 50km. Imagem da LT disponível no Anexo1. Tabela 1 traz mais informações sobre as características do cabo 1/0 CAA (cabo de alumínio com alma).

Tabela I - Características do condutor 1/0 CAA

CA	Ø [mm]	Seção [mm <sup>2</sup> ]	Carga de Ruptura [Kg]	Corrente Admissível [A]
1/0	10,10	53,48	1940	200

## II. DEFINIÇÕES PARA O CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO

Primeiramente, em estudos de curto-circuito é necessário um levantamento de dados, após isso é necessário elaborar um esquema unifilar simplificado para o estudo do mesmo.

Nos cálculos de curto-circuito, é importante notar os valores das grandezas na qual estamos calculando, para facilitar os cálculos utiliza-se o valor “por unidade” (p.u.) de uma grandeza, que é definida como sendo a relação entre dois números, um que consiste no valor real e outro que é tomado como base, resultando assim, em um número adimensional, conforme ilustrado na (1). O conceito se baseia na definição de duas grandezas elétricas (normalmente, tensão e potência), e calcula-se a impedância e a corrente.

$$VALOR\ PU = \frac{VALOR\ ATUAL}{VALOR\ BASE} \quad (1)$$

A impedância é a carga resistiva total de um circuito de corrente alternada, esse componente gera uma resistência à passagem de corrente, consumindo parte da energia que é dissipada em forma de calor. Dessa forma, tem-se o efeito Joule e para esse tipo de impedância chamamos de resistência. Caso não haja gasto de energia por efeito Joule, é denominado reatância. Quando se somam resistência e reatância, é denominado impedância. Para o cálculo de

valores de curto-circuito, é importante passar os valores das impedâncias para PU. A (2) demonstra o cálculo da impedância base.

$$Z_{base} = \frac{kV_{base}^2}{MVA_{base}} \quad (2)$$

A impedância não é um fasor, porém é expressa apresentando um número complexo, possuindo parte real R (resistência) e uma parte imaginária X (reatância). Sua grandeza é expressa em ohms ( $\Omega$ ). O valor da corrente base é calculado pela equação:

$$I_{base} = \frac{MVA_{base} \times 10^3}{\sqrt{3} \times KVA_{base}} \quad (3)$$

Nos estudos de Engenharia, é comum adotar a potência base sendo 100MVA. A Tabela II a seguir, contempla a corrente e a impedância base para as principais medidas de tensões.

Tabela II - Valores das Grandezas de Base

Tensão de Base [kV]	Potência de Base [MVA]	Corrente de Base [A]	Impedância de Base [ $\Omega$ ]
230,000	100	251,02	529,0000
138,000	100	418,37	190,4400
69,000	100	836,74	47,6100
34,000	100	1673,48	11,9025
13,800	100	4183,70	1,9044
0,380	100	151934,28	0,0014
0,220	100	262431,94	0,0005

Para os cabos, já é definido o valor da resistência ( $R_c$ ) e da reatância ( $R_x$ ) em  $\Omega/km$ , deve-se também conhecer a distância ( $l$ ). Logo, são relacionadas as seguintes equações:

$$Z_1 = \frac{R_c \times l}{Z_{base}} \quad (4.1)$$

$$Z_0 = \frac{R_x \times l}{Z_{base}} \quad (4.2)$$

Em 1918, Fortescue publicou o artigo "Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks", no qual ele concluiu que um sistema trifásico pode ser decomposto em três sistemas equilibrados, onde essa decomposição é única, formada por componentes de sequência positiva ( $Z_1$ ), negativa ( $Z_0$ ) e zero. Desta decomposição que surgiram as componentes simétricas descritas na (4.1) e (4.2), das quais utilizamos para realizar os cálculos de curto-circuito.

Após esse passo, deve-se somar as impedâncias encontradas às impedâncias de base que, geralmente, são informadas pela concessionária para que se tenha a impedância total do sistema.

Para se chegar nas correntes de curto-circuito, após todos os levantamentos e cálculos considerados até aqui, é

necessário calcular as correntes de curto-circuito trifásico (5.1) e monofásico (5.2) a seguir:

$$I_{cc3\phi} = \frac{I_{base}}{Z_1} \quad (5.1)$$

$$I_{cc1\phi} = \frac{3 \times I_{base}}{2 * Z_1 + Z_0} \quad (5.2)$$

Para as equações acima basta acrescentar as componentes de sequência positiva  $Z_1$  e de componente negativa  $Z_0$ , juntamente com a corrente de base da tensão que se deseja calcular de acordo com a Tabela II.

### III. CÁLCULO DE CURTO CIRCUITO.

Para começarmos os cálculos de curto-circuito vamos consultar a tabela de impedância do cabo 1/0 AWG na tensão de 34,5kV.

Tabela III - Impedâncias cabo 1/0 AWG

TENSÃO [V]	CABO	RESISTÊNCIA (OHM)/KM	REATÂNCIA INDUTIVA (H)/KM
34,5kV	1/0 AWG - SEQ (+)	0,697	0,528
34,5kV	1/0 AWG - SEQ (-)	0,868	1,979

A concessionária informou as impedâncias de base em p.u. para o cálculo de curto-circuito.:

Tabela IV - Impedâncias de base do circuito

	RESISTÊNCIA (OHM)/	REATÂNCIA INDUTIVA (H)/K
SEQ (+)	0,02417	0,10684
SEQ (-)	0,02717	0,21047

Com base em todos esses dados, segue um resumo do que será demonstrado na Figura 1 onde os cálculos de curto-circuito serão exibidos.

Levando em consideração a impedância de base informada pela concessionária e a impedância do condutor convertida para p.u., de acordo com a (4.1) e (4.2), multiplicam-se essas impedâncias pela distância e depois divide pelo  $Z_{base}$  de acordo com a Tabela II. Em seguida, somam-se as impedâncias de sequência positiva e as de sequência negativa do sistema para chegar na impedância total  $Z_{1eqT}$  e  $Z_{0eqT}$ . Por fim, calcular de acordo com a (5.1) e (5.2) as correntes de curto circuito do sistema elétrico no qual se deseja analisar.

### IMPEDÂNCIA EQUIVALENTE EM p.u:

$$Z_{1eq} = 0,02417 + j0,10684 \text{ p.u.}$$

$$Z_{0eq} = 0,02717 + j0,21047 \text{ p.u.}$$

### IMPEDÂNCIA EQUIVALENTE DO CABO 1/0 AWG PARA SISTEMA DE POTÊNCIA 34,5KV:

$$Z_1 = 0,697 + j0,528 \Omega$$

$$Z_0 = 0,868 + j1,979 \Omega$$

### CAB 1/0 AWG CÁLCULO DE MUDANÇA DE BASE:

$$Z_1 = \frac{0,697 + j0,528}{11,9025} \rightarrow Z_1 = 0,0585 + j0,0443 \text{ p.u.}$$

$$Z_0 = \frac{0,868 + j1,979}{11,9025} \rightarrow Z_0 = 0,0729 + j0,1666 \text{ p.u.}$$

### CABO 1/0 AWG CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA DO CABO CONSIDERANDO A DISTÂNCIA DE 44Km:

$$Z_1: 0,0585 + j0,0443 * (44) \rightarrow Z_1 = 2,5766 + j1,9518 \text{ p.u.}$$

$$Z_0: 0,0729 + j0,1666 * (44) \rightarrow Z_0 = 3,2087 + j7,3157 \text{ p.u.}$$

### IMPEDÂNCIA EQUIVALENTE TOTAL:

$$Z_1: (2,5766 + j1,9518) + (0,02417 + j0,10684) \rightarrow Z_{1eqT} = 2,6013 + j2,0587 \text{ p.u.}$$

$$Z_0: (3,2087 + j7,3157) + (0,02717 + j0,21047) \rightarrow Z_{0eqT} = 3,2358 + j7,5261 \text{ p.u.}$$

### CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO:

$$I_{cc3\Phi} = \frac{I_{B34,5kv}}{z_{1eqT}} \rightarrow \frac{1673,40}{(2,6013 + j2,0587)} \rightarrow \underline{I_{cc3\Phi} = 504 \text{ A}}$$

### CÁLCULO DE CURTO-CIRCUITO MONOFÁSICO:

$$I_{cc1\Phi} = \frac{I_{B34,5kv} * (3)}{(2 * z_{1eqT}) + (z_{0eqT})} \rightarrow \frac{1673,40 * (3)}{((2) * 2,6013 + j2,0587) + (3,2358 + j7,5261)} \rightarrow \underline{I_{cc1\Phi} = 349 \text{ A}}$$

Figura 1 - Cálculo das Correntes de Curto Circuito trifásicas e monofásicas.

Para confirmar os cálculos apresentados acima, utilizaremos o programa Anafas para modelar o circuito e comparar os resultados obtidos.

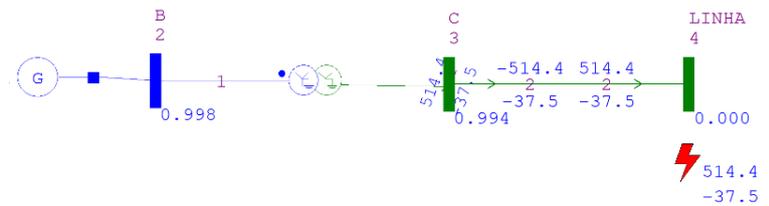


Figura 2 - Simulação curto circuito trifásico- Anafas

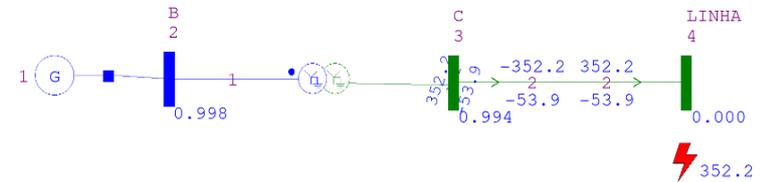


Figura 3 - Simulação curto circuito monofásico- Anafas

As Figuras 2 e 3 acima foram geradas a partir dos mesmos dados de impedância utilizados na Figura 1. Porém, foi necessário transformar em porcentagem, que é como são inseridos os dados no Anafas. Foi criado uma fonte geradora (G) e interligada ao barramento (B2) no qual o circuito na cor azul representa a tensão de 138kV. Em seguida, foi interligado um transformador rebaixador estrela-estrela aterrado, sabendo que o circuito 34,5kV é representado pela cor verde. Após o transformador, foi interligado o barramento 34,5kV (C3), que sai até o ramal onde se deseja calcular o curto-circuito (LINHA 4).

Analisando os resultados, verificamos que os valores obtidos através dos cálculos matemáticos estão de acordo com os obtidos através da simulação do programa Anafas e podem ser confirmados como corretos.

## IV. EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO.

Neste estudo de proteção, vamos analisar os dois equipamentos que estão inseridos neste caso. O primeiro equipamento é o relé de sobrecorrente (50/51) que está inserido no religador da cabeceira da S.E. Dumas, no qual atuou acusando a falha no sistema elétrico. O segundo equipamento é o elo fusível de 20k que estava protegendo o ramal no qual houve o defeito. Neste tópico vamos descrever suas funções.

### A. Relé de Sobrecorrente (50/51)

Relé de proteção de sobrecorrente é aquele que atua para proteger o circuito quando a corrente é superior ao valor ajustado, essa é a proteção mínima a ser garantida para qualquer circuito. Os relés digitais de sobrecorrente são fabricados em unidades compactas, nas versões de embutir ou para montagem de sobrepor. Construídos nas versões monofásica e trifásica, podem ser configurados para operarem como um relé de sobrecorrente monofásico instantâneo, evoluindo até para a proteção trifásica com neutro e terra.

Os relés podem ser ajustados no local da sua instalação ou remotamente, como em um Centro de Operação do Sistema, por exemplo. No Brasil, os relés são fabricados

tropicalizados, próprios para operar no interior de painéis, ao tempo ou abrigados, sujeitos a temperaturas elevadas de nossa região e à umidade elevada e são imunes às interferências eletromagnéticas, já que operam em ambientes excessivamente hostis.

O funcionamento básico de um relé de sobrecorrente digital é simples: a corrente que chega a seus terminais, fornecida pelos transformadores de corrente de linha, é reduzida novamente por transformadores de corrente instalados internamente que modulam o seu valor para a entrada do conversor analógico/digital; esse conversor transforma a corrente em valores digitais que serão devidamente analisados pelo processador. Os valores ajustados no relé pelo operador são armazenados numa memória não volátil garantindo, assim, a integridade dos dados mesmo com ausência de tensão auxiliar por um longo período. Dependendo do fabricante, os relés digitais de sobrecorrente dispõem de várias funções, sendo essas as mais ofertadas:

- Proteção de sobrecorrente a tempo definido e/ou tempo inverso.
- Intertravamento reverso, utilizado na proteção de barra. Proteção de falha do disjuntor.
- Indicação dos valores de corrente de carga.
- Oscilógrafa de falhas.
- Disparo com rearme elétrico.
- Sinalização por fase e neutro.
- Entradas e saídas programáveis.
- Funções programáveis.
- Indicação de corrente.
- Registro de eventos e diagnóstico.
- Auto supervisão.
- Comunicação serial.

Um relé digital típico é formado por uma unidade de sobrecorrente de tempo e uma unidade instantânea com temporização ajustável. Relativamente aos ajustes dessas unidades, pode-se ter:

- Ajuste da unidade temporizada de fase.
- Ajuste da unidade temporizada de neutro.
- Ajuste da unidade instantânea de fase.
- Ajuste da unidade instantânea de neutro.

### B. Elos Fusíveis

Fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrentes e curtos-circuitos em circuitos elétricos. É formado por um elemento condutor de baixo ponto de fusão que, ao detectar um aumento na corrente elétrica do circuito acima de sua capacidade nominal por efeito Joule, se funde ao circuito, interrompendo-o.

A utilização de elos fusíveis como forma de proteção é conhecida por ser barata, em que o elo consiste em uma cápsula com um elemento fusível dentro. Por se tratar de um equipamento exposto às condições climáticas, com o tempo, ele perde as suas características originais de fábrica se tornando menos eficaz. Normalmente, esses elos são utilizados em redes de distribuição, principalmente aéreas.

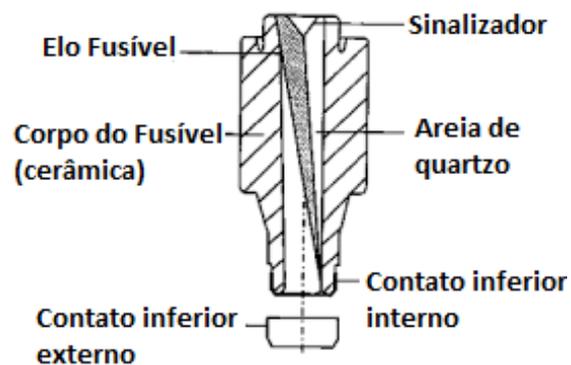


Figura 4 – Composição do Elo Fusível

Existem três tipos de elos fusíveis de distribuição prescritos pela Norma Brasileira NBR-5359 (EB 123) [84] da ABNT:

- i. ELO Tipo K;
- ii. ELO Tipo H;
- iii. ELO Tipo T.

Os elos do tipo K são do tipo “rápido” e são especificamente utilizados para a proteção de ramais e alimentadores.

Os elos do tipo T são do tipo “lento”.

Já os elos do tipo H são do tipo “alto surto” e são normalmente utilizados na proteção de transformadores.

Enquanto os elos do tipo K e T suportam, constantemente, em torno de 150% do valor de seus respectivos elos, os elos do tipo H suportam, de forma contínua, em torno de 100% do valor de seus elos.

### V. DEFINIÇÕES PARA O ESTUDO DE COORDENAÇÃO DA PROTEÇÃO RELIGADOR/ELO FUSÍVEL

A coordenação entre religadores e elos fusíveis é essencial, visto que a maioria das subestações estão equipadas com religadores e que as saídas dos ramais dos alimentadores são protegidas por elos fusíveis.

Para que haja coordenação entre religador e elo fusível é necessário que a curva máxima de fusão do elo não seja maior que o tempo de ajuste temporizado do religador e que o tempo mínimo de fusão do elo deve ser maior que o tempo de operação rápido do religador multiplicado pelo fator de multiplicação  $K$  (função do ajuste do religador e do tempo de religamento).

A melhor coordenação entre o religador e o elo fusível é obtida ajustando o religador para duas operações rápidas seguidas de duas operações lentas. Desse modo, nos dois testes rápidos o religador vai testar o circuito antes que o elo se funda e nos religamentos lentos o religador servirá como proteção de retaguarda do elo fusível, como mostra a Figura 5.



Figura 5 - Curvas para religamento coordenado com elo fusível do lado da carga.

A Figura 5 ilustra como devem ser ajustados os disparos do religador para uma melhor coordenação com o elo fusível do lado da carga. A curva 1 com uma operação mais rápida que a curva de fusão do elo, curva 2 mais retardada, curva 3 próxima à curva mínima de fusão do elo e a curva 4 próxima ao tempo total de interrupção do elo.

A coordenação entre relé de sobrecorrente e elo fusível é feita através do estudo de curvas tempo x corrente. Para que a seletividade esteja assegurada deve se considerar que a curva característica tempo x corrente do relé de fase, fique no mínimo 0,2 segundos acima da curva de tempo total de fusão do elo fusível em toda faixa de coordenação.

Com base nesses conceitos estabelecidos fica definido como será analisado o caso de curto circuito proposto neste trabalho.

## VI. ANÁLISE DE RESULTADO

Neste tópico, analisaremos os ajustes do relé de sobrecorrente (50/51) em comparativo às curvas de atuação do elo fusível de 20k para sabermos se há coordenação ou não entre esses equipamentos de proteção no caso em análise.

No Anexo 2, está ilustrada a curva do elo fusível de 20K retirada do catálogo da Delmar (Empresa fabricante de elos fusíveis). No Anexo 3, estão os dados de ajuste do religador da cabeceira da S.E. Dumas fornecidos pela distribuidora.

Duas observações sobre a configuração do religador devem ser levadas em consideração. A primeira é que este religador não possui ajuste de elemento instantâneo, pois há um ponto de geração de energia neste alimentador e quando isso ocorre, essa função deve ficar em modo desabilitado. A segunda é que este religador está programado para 4 disparos de religamento, como pode ser vista no Anexo 3 e no Anexo 4, tanto para falta trifásica quanto para falta a terra (monofásica).

De acordo com os cálculos de curto circuito realizado na Figura 1, foi construída a tabela no programa Excel, na qual comparamos os tempos de atuação do relé de sobrecorrente e do elo fusível de 20K para traçarmos as curvas de atuação dos equipamentos e verificar de acordo com as definições descritas anteriormente neste trabalho se há ou não coordenação na proteção do circuito. A Tabela no Anexo 4 é composta pelas curvas do elo de 20K em comparativo com as curvas do relé de sobrecorrente de fase e de neutro.

Para o cálculo do tempo de atuação do relé, precisamos obter primeiro a corrente de pick-up dele, tanto do relé de fase (50) quanto para o relé de neutro (51N). A corrente de pick-up marca o ponto em que o relé começa a entrar na sua faixa de atuação. Em seguida, devemos obter o valor do multiplicador de tempo (DIAL), que é um ajuste utilizado para temporizar um relé. Esses dados foram obtidos na tabela dos ajustes de proteção do religador “Noja Power” cedidos pela concessionária no Anexo 3.

$$M = \frac{I_{cc}}{I_{Pick-up}} \quad (6.1)$$

$$t(s) = \frac{(13,5 * dial)}{(M - 1)} \quad (6.2)$$

Com esses dados em mãos, precisamos calcular o valor do múltiplo (M), representado pela (6.1). Por fim, podemos calcular o tempo de atuação do relé (t), através da (6.2). Para o cálculo do Múltiplo (M), utilizamos o máximo valor da corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ) calculado dividido pela corrente de pick-up. E para o cálculo do tempo de atuação do relé, precisamos multiplicar o DIAL por 13,5 e depois dividir esse valor pela subtração do múltiplo por 1. Lembrando que, na corrente de curto-circuito ( $I_{cc}$ ), vamos inserir valores decrescentes de corrente, a partir do  $I_{cc}$  máximo calculado, tanto para o curto-circuito trifásico quanto para o monofásico. Dessa forma, foi alimentada a tabela comparativa juntamente com as curvas encontradas no Anexo 4.

## VII. CONCLUSÃO DO ESTUDO DE CASO

Como foi definido anteriormente, para haver coordenação, deve ser respeitado o tempo de 0,2 segundos de atraso entre a curva de atuação do religador e a de fusão do elo fusível, ou seja, o elo fusível sempre deverá atuar 0,2 segundos mais rápido que a atuação do relé. Por meio do Anexo 4 e Anexo 5, podemos perceber que o índice Dtf (Diferença entre os tempos de atuação do relé de fase e curva do Elo fusível 20k) e o Dtn (Diferença entre os tempos de atuação do relé de neutro e curva do Elo fusível 20k) ficaram acima do tempo de coordenação de 0,2 segundos.

Concluímos que, a partir dos dados analisados, existe coordenação e seletividade entre os dois equipamentos de proteção analisados. A atuação da proteção na S.E Dumas ocorreu por conta de uma falha na isolação da chave fusível que, provavelmente, já estava desgastada por ação do tempo e, posteriormente, veio a danificar por ação do curto-circuito. Em condições normais de operação o elo fusível se fundiria

antes que o relé de sobrecorrente fizesse o primeiro religamento, de acordo com a análise feita no Anexo 4 e Anexo 5, pois os 0,2 segundos de atraso na curva do religador em função do elo fusível já satisfaz a condição de segurança na operação do elo fusível, tanto para o curto circuito monofásico quanto para o curto circuito trifásico.

No caso estudado, ficaram duas cidades desenergizadas até que fosse efetuada a manutenção da chave fusível danificada. Após isso, com a chave aberta, isolaram o ponto de defeito da cruzeta quebrada e só então foi possível energizar novamente o alimentador e as duas cidades.

Como medida cautelar, foram instalados dois religadores na linha de transmissão, um na saída para o ramal da S.E. Cervantes e outro na saída para S.E. Verner, para que caso haja algum curto circuito no alimentador a jusante dos religadores, não venha a desenergizar as duas cidades simultaneamente. O Anexo 6 ilustra tal medida, que implica em uma maior confiabilidade do sistema, pois agora o alimentador possui opções de manobra por telecomando.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

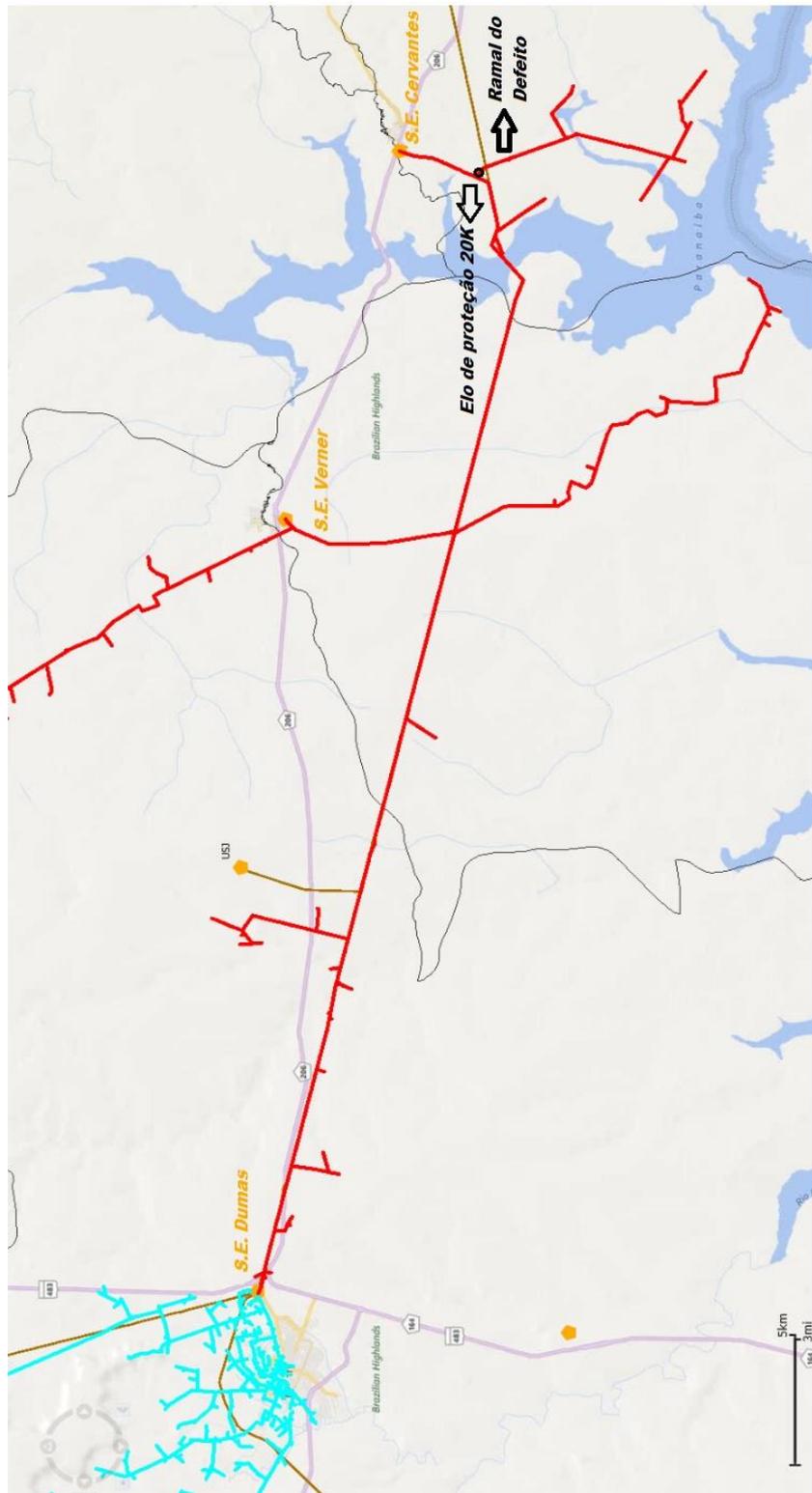
- 1) Mamede, D. R.; Filho, J. M. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 605 p.
- 2) Mardegan, C. Proteção e Seletividade: em Sistemas Elétricos Industriais. 1. São Paulo: Atitude Editorial Ltda, 2012.
- 3) Sato, F., Análise de Curto-Circuito e Princípios de Proteção em Sistemas de Energia Elétrica – Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 1º Edição 2015.
- 4) Tipos e Aplicações dos Transformadores. Disponível em: <[http://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/cap\\_13/tiaptran.htm](http://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/cap_13/tiaptran.htm)>.
- 5) GOMES, DAISY; MACEDO, FERNANDO; GUILLIOD, SONIA. Proteção de Sistemas Aéreos de Distribuição. Rio de Janeiro: Campus: Eletrobrás, 1982.
- 6) C. L. FORTESCUE. **Method of Symmetrical Co-ordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks.** In: **34th Annual Convention of the American Institute of Electrical Engineers**, June 28, 1918, Atlantic City. Atlantic City: Copyright, 1918. P. 1027-1140.
- 7) SILVA, R. O., Análise de faltas simétricas e assimétricas na rede primária de distribuição da Universidade Federal da Paraíba. Rafaela Oliveira da Silva. – João Pessoa, 2017. Disponível em: <[http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC\\_-\\_Rafaela\\_Oliveira\\_-\\_vers%C3%A3o\\_final.pdf](http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC_-_Rafaela_Oliveira_-_vers%C3%A3o_final.pdf)>.

## Figuras:

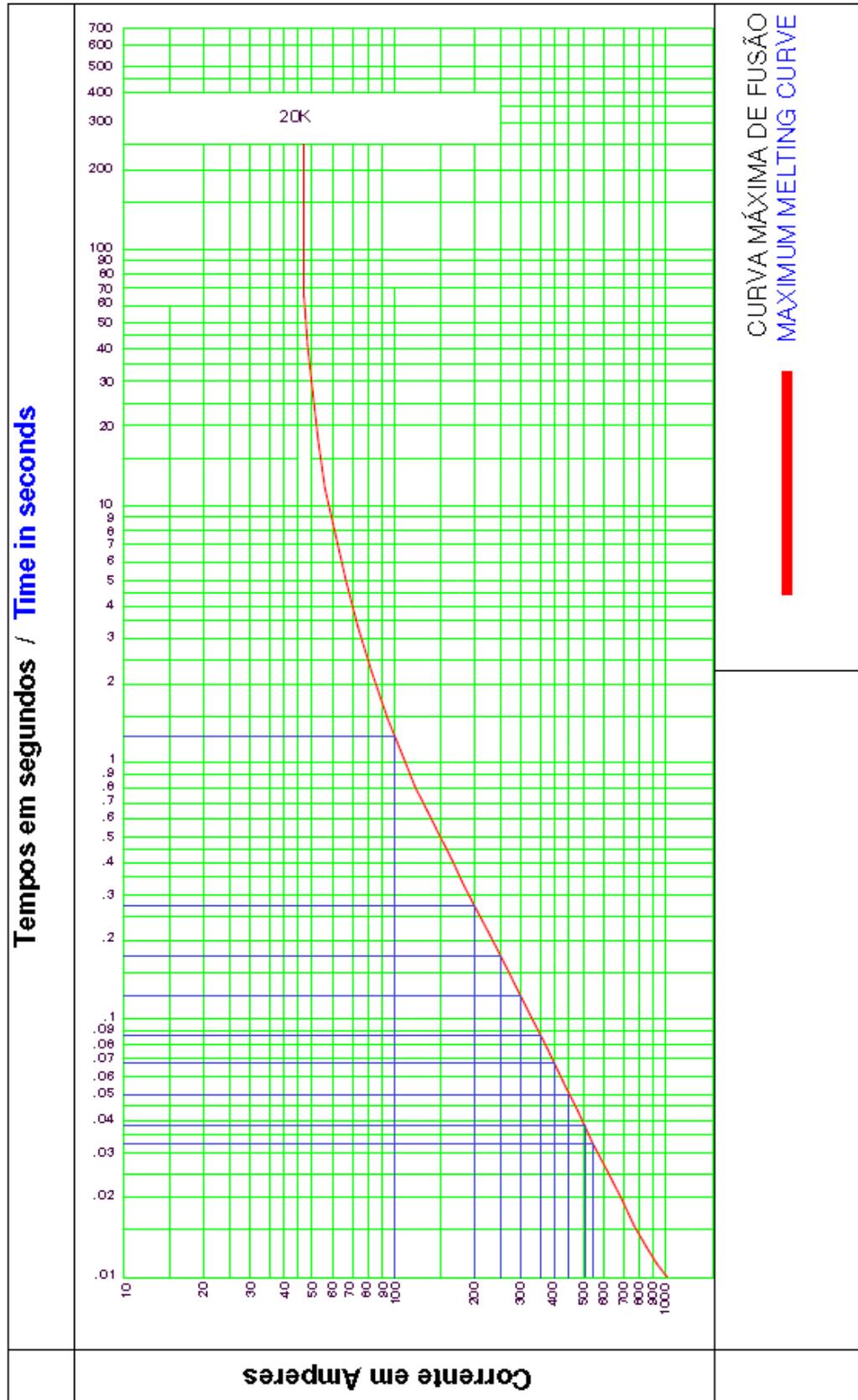
- 4) LIMA, R. L. Acionamento de Máquinas. Universidade do Estado do Mato Grosso, 2016. Disponível em: <[http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fo\\_t\\_13435aula\\_08\\_pdf\\_Aula\\_08.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fo_t_13435aula_08_pdf_Aula_08.pdf)>. Página 8.

## IX. ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 2



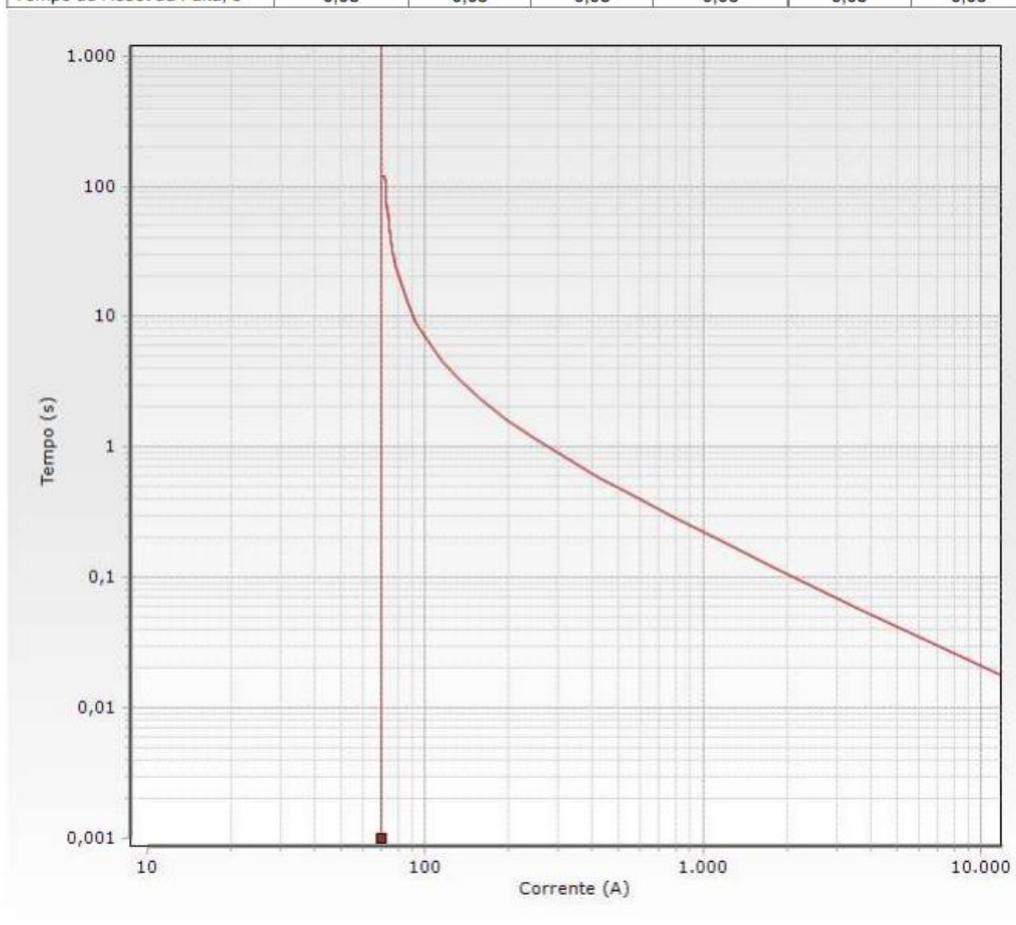
### ANEXO 3

**NOJA POWER®**

Versão do CMS:3.8.0.0

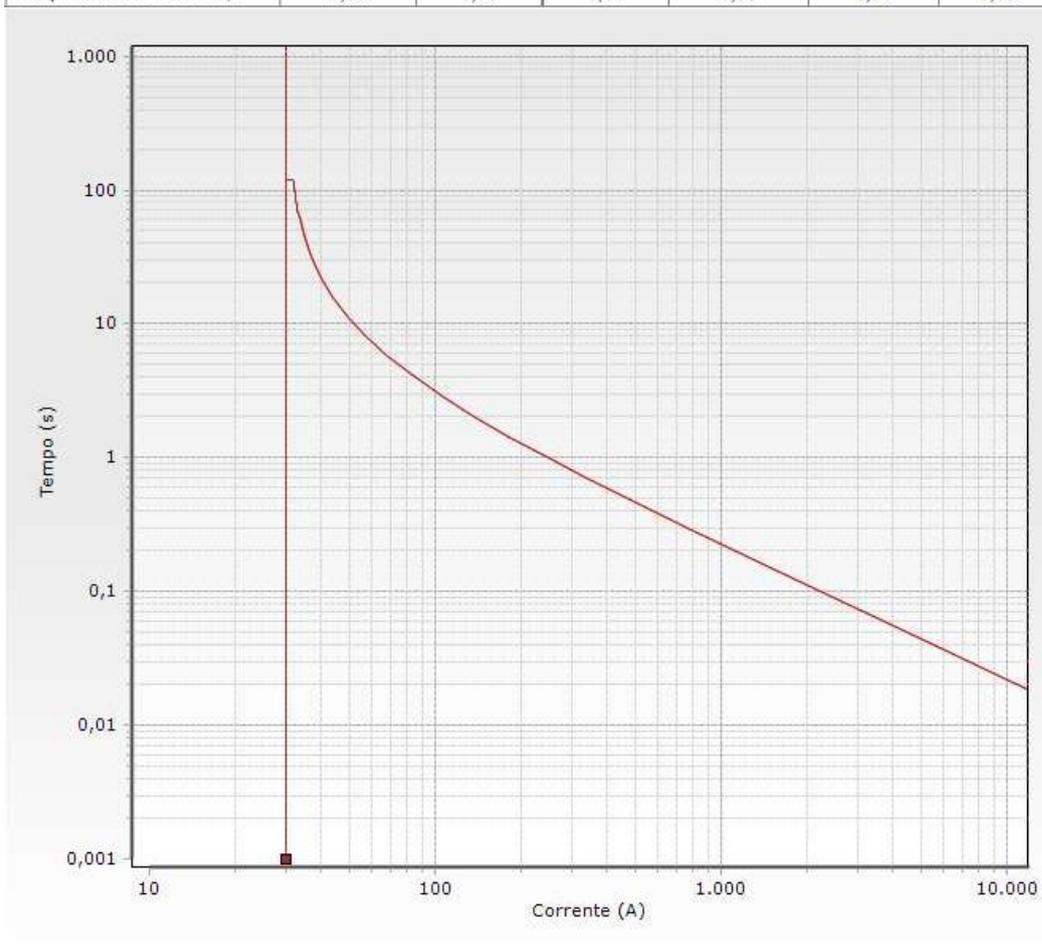
Curva de proteção: Sobrecorrente (OC)

	1+	2+	3+	1-	2-	3-
Tipo de TCC	IEC VI	IEC VI	N/A	IEC VI	IEC VI	N/A
Corrente de Pickup, A	70	70	16.000	70	70	16.000
Multiplicador de Tempo	0,22	0,22	N/A	0,22	0,22	N/A
Mult. de Corrente Mínima	1,00	1,00	N/A	1,00	1,00	N/A
Máx Mult. Corrente	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tempo Mínimo Definido, s	0,00	0,00	N/A	0,00	0,00	N/A
Tempo de Disparo, s	5,00	1,00	0,10	0,00	1,00	0,10
Máx Tempo de Disparo,s	120,00	120,00	N/A	120,00	120,00	N/A
Tempo Adicional, s	0,00	0,00	N/A	0,00	0,00	N/A
Tempo de Reset da Falta, s	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



Curva de Proteção: Falta à Terra (EF)

	1+	2+	3+	1-	2-	3-
Tipo de TCC	IEC VI	IEC VI	N/A	IEC VI	IEC VI	N/A
Corrente de Pickup, A	30	30	16.000	30	30	16.000
Multiplicador de Tempo	0,54	0,54	N/A	0,54	0,54	N/A
Mult. de Corrente Mínima	1,00	1,00	N/A	1,00	1,00	N/A
Máx Mult. Corrente	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Tempo Mínimo Definido, s	0,00	0,00	N/A	0,00	0,00	N/A
Tempo de Disparo, s	0,00	1,00	0,10	0,00	1,00	0,10
Máx Tempo de Disparo, s	120,00	120,00	N/A	120,00	120,00	N/A
Tempo Adicional, s	0,00	0,00	N/A	0,00	0,00	N/A
Tempo de Reset da Falta, s	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05



ANEXO 4

Tabelas de Corrente/ Tempo de atuação para o Relé de Fase

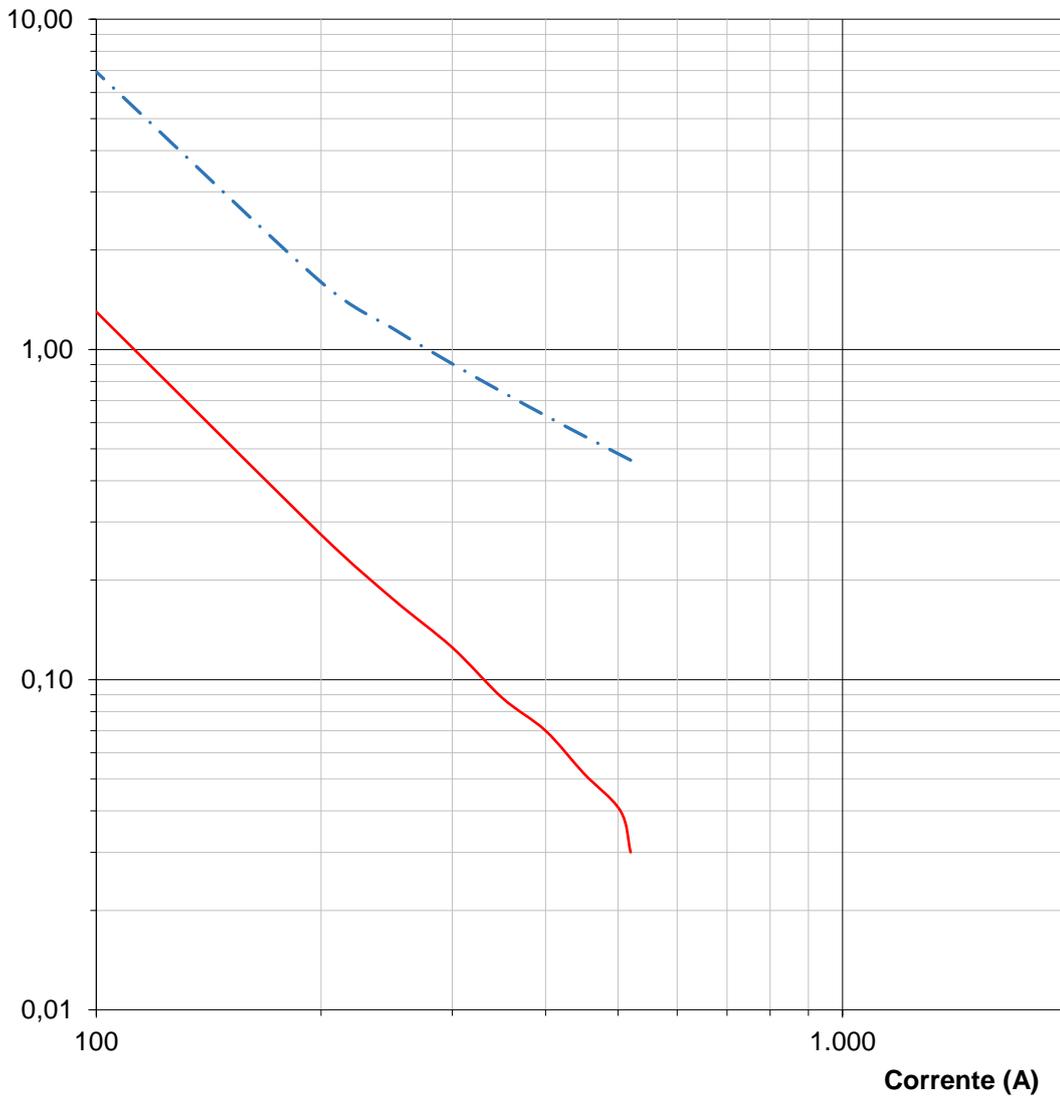
Proteção SE Dumas - 34,5kv NOJA POWER			Proteção Ramal Elo 20K- 34,5kv			
RTC	TAP	DIAL				
Não Inform.	Não Inform.	0,22				
Disparo	70 A					
E.I	OFF		CURVA	MC		
$I_{cc}$ (A)	Múltiplo	t(s)	I(A)	Múltiplo	t(s)	Dtf
520	7,43	0,46	520		0,03	0,43
504	7,20	0,48	504		0,04	0,44
450	6,43	0,55	450		0,05	0,50
400	5,71	0,63	400		0,07	0,56
350	5,00	0,74	350		0,09	0,65
300	4,29	0,90	300		0,13	0,78
250	3,57	1,16	250		0,18	0,98
200	2,86	1,60	200		0,28	1,32
100	1,43	6,93	100		1,30	5,63

**Dtf:** Diferença entre os tempos de atuação do relé de fase e curva do Elo fusível 20k  
**Proteção SE Dumas - 34,5kv** e **Proteção Ramal Elo 20K- 34,5kv**

Curvas de coordenação do relé de fase e do Elo fusível referidas a 34,5 kV

- Proteção Ramal Elo 20K-34,5kv
- . - Proteção SE Dumas - 34,5kv

Tempo (s)



ANEXO 5

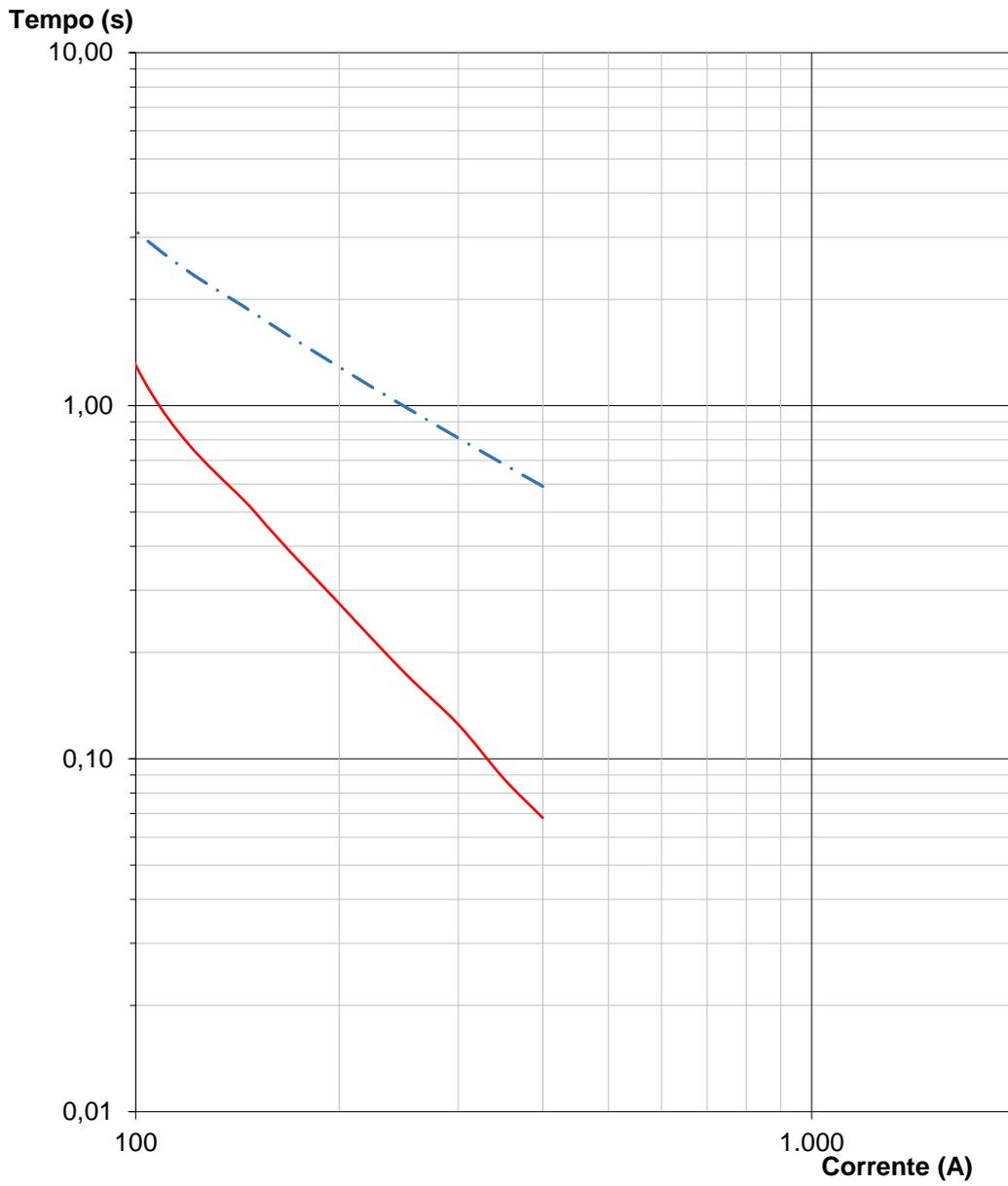
Tabelas de Corrente/ Tempo de atuação para o Relé de Neutro

Proteção SE Dumas - 34,5kv NOJA POWER			Proteção Ramal Elo 20K- 34,5kv 0			
<b>RTC</b> Não Inform.	<b>TAP</b> Não Inform.	<b>DIAL</b> 0,54				
<b>Disparo</b>		30 A				
<b>E.I.</b>	OFF		<b>CURVA</b>	MC		
$I_{cc}$ (A)	Múltiplo	t(s)	I(A)	Múltiplo	t(s)	Dtn
400	13,33	0,59	400		0,07	0,52
350	11,67	0,68	350		0,09	0,60
300	10,00	0,81	300		0,13	0,69
250	8,33	0,99	250		0,18	0,82
200	6,67	1,29	200		0,28	1,01
150	5,00	1,82	150		0,50	1,32
100	3,33	3,12	100		1,30	1,82
50	1,67	10,94	50		30,00	
						-
					-	-

**Dtn:** Diferença entre os tempos de atuação do relé de neutro e curva do Elo fusível 20k  
**Proteção SE Dumas - 34,5kv** e **Proteção Ramal Elo 20K- 34,5kv**

Curvas de coordenação do relé de neutro e do Elo fusível referidas a 34,5 kV

— · — Proteção SE Dumas - 34,5kv  
— Proteção Ramal Elo 20K- 34,5kv



ANEXO 6

