



SEMINÁRIO DE TRANSMISSÃO DE
ENERGIA EM LINHAS DE MEIA ONDA
CAMPINAS, 26 e 27 de NOVEMBRO de 2013



Estudo de Transitórios da Manobra de Energização do Elo CA Teste com Ocorrência de Defeitos Monofásico e Trifásico

Marcos Paz - UEFS

Fernando Moreira - UFBA

Elson Gomes - ITAI

Maria Cristina Tavares - UNICAMP

Energização do Elo CA Teste com Ocorrência de Defeitos Monofásico e Trifásico

- Motivação:
 - Dar subsídios ao Planejamento da Proteção para a alternativa de Transmissão em Pouco Mais de $\frac{1}{2}$ Comprimento de Onda.
- Objetivo Geral:
 - Avaliar o comportamento da Transmissão em Meio Comprimento de Onda na condição de Defeitos.
- Objetivo específico:
 - Identificar possíveis regiões críticas para a ocorrência de Defeitos.



Introdução

- Este Elo CA é formado por linhas de 500 kV com características similares, as quais em série formam 2600km, bem ajustada para transmissão em meia onda em 60 Hz.
- Apresentamos o comportamento do Elo CA durante a manobra de energização sob defeito.
 - Inicialmente alguns resultados sem defeito (como referência).
 - Em seguida, os resultados considerando a ocorrência de faltas monofásicas e trifásicas aplicadas em vários pontos ao longo da linha.
- Com essa estratégia, foi possível identificar as regiões mais críticas para cada tipo de defeito.
- Simulações realizadas com o ATP e PSCAD/EMTDC. ■

Descrição do ELO CA

- O Elo CA Teste é formado por Interconexões de 500 kV do sistema Norte-Sul I (NS-1), Norte-Sul II (NS-2), e Nordeste-Sudeste (NE-SE).

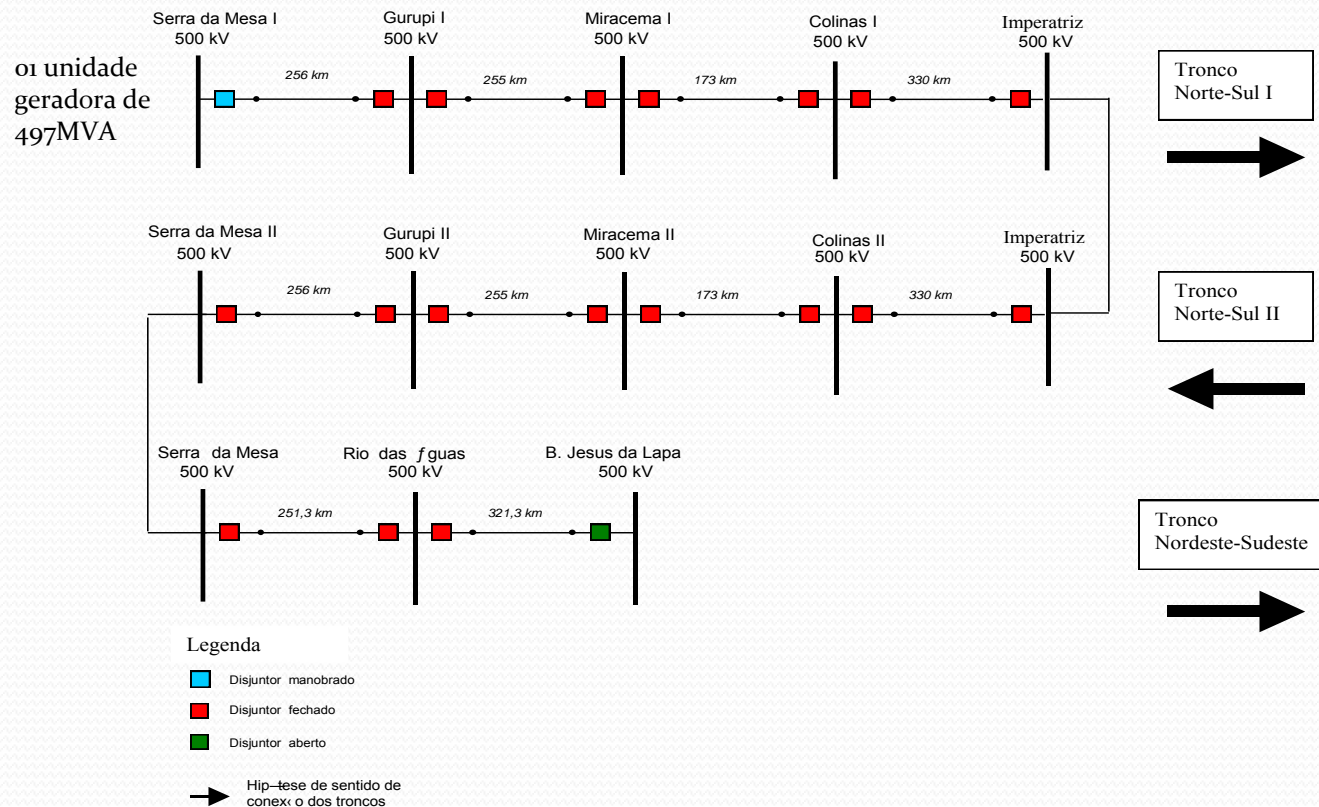


Fig 1 – Diagrama unifilar do Elo CA Teste – 500 kV.

Descrição da Energização do ELO CA

- A energização da Linha é conduzida com o fechamento do disjuntor em Serra da Mesa.
- Em cada manobra simulada os polos do disjuntor foram fechados no mesmo instante, em 15,4 ms, que corresponde à máxima tensão fase terra na fase A.
- Os pára-raios existentes nas linhas foram mantidos em serviço em todas as subestações, para reduzir o tempo de preparação para o teste.
- Procurou-se não utilizar nenhum procedimento de mitigação das sobretensões devido a faltas. ■

Energização do Elo CA Sem Defeito

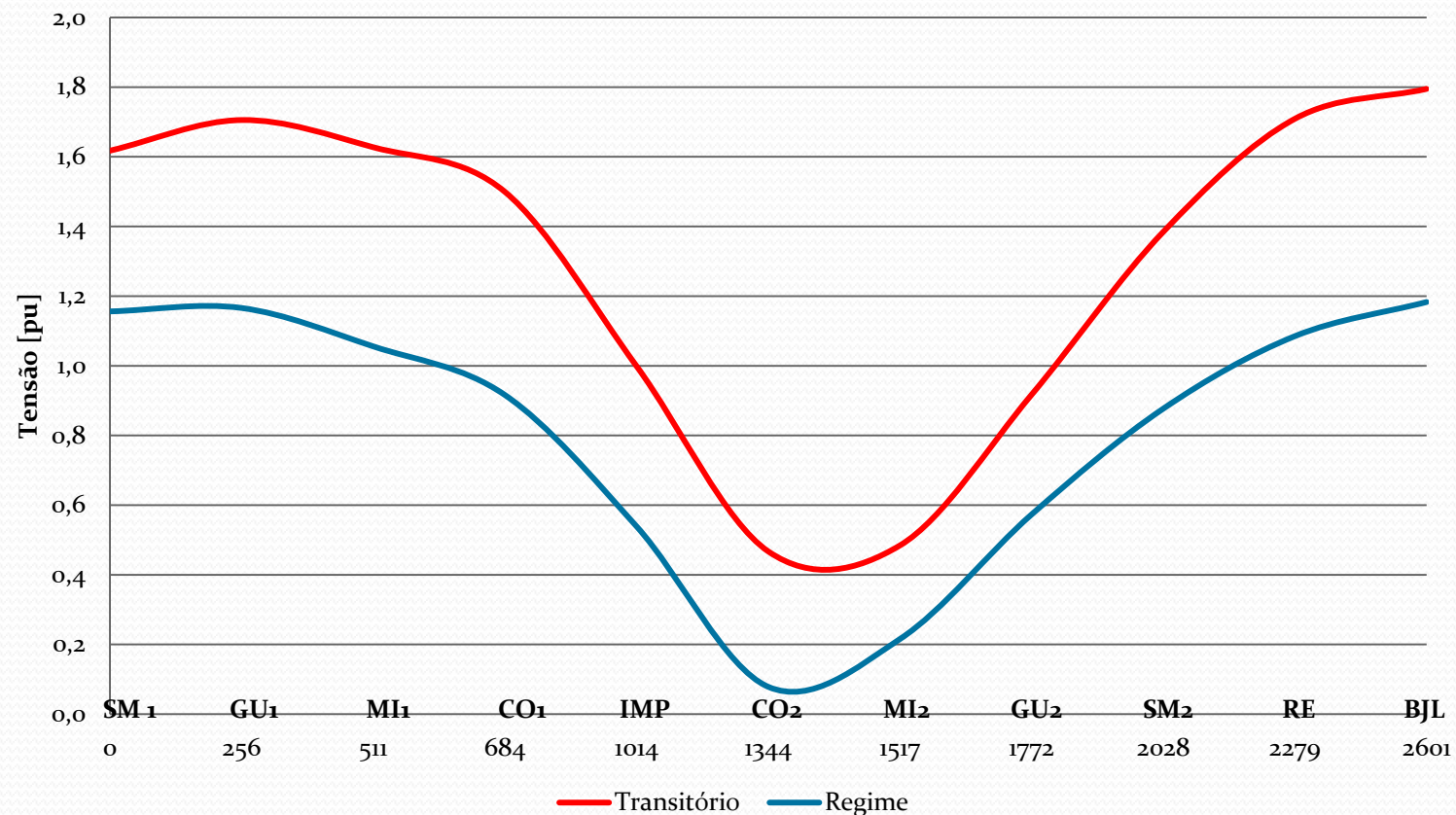


Fig 2 – Perfil da a) tensão transitória; b) tensão em regime permanente; ao longo da linha. 6

Energização do Elo CA Sem Defeito

Serra da Mesa I, km o (terminal emissor)

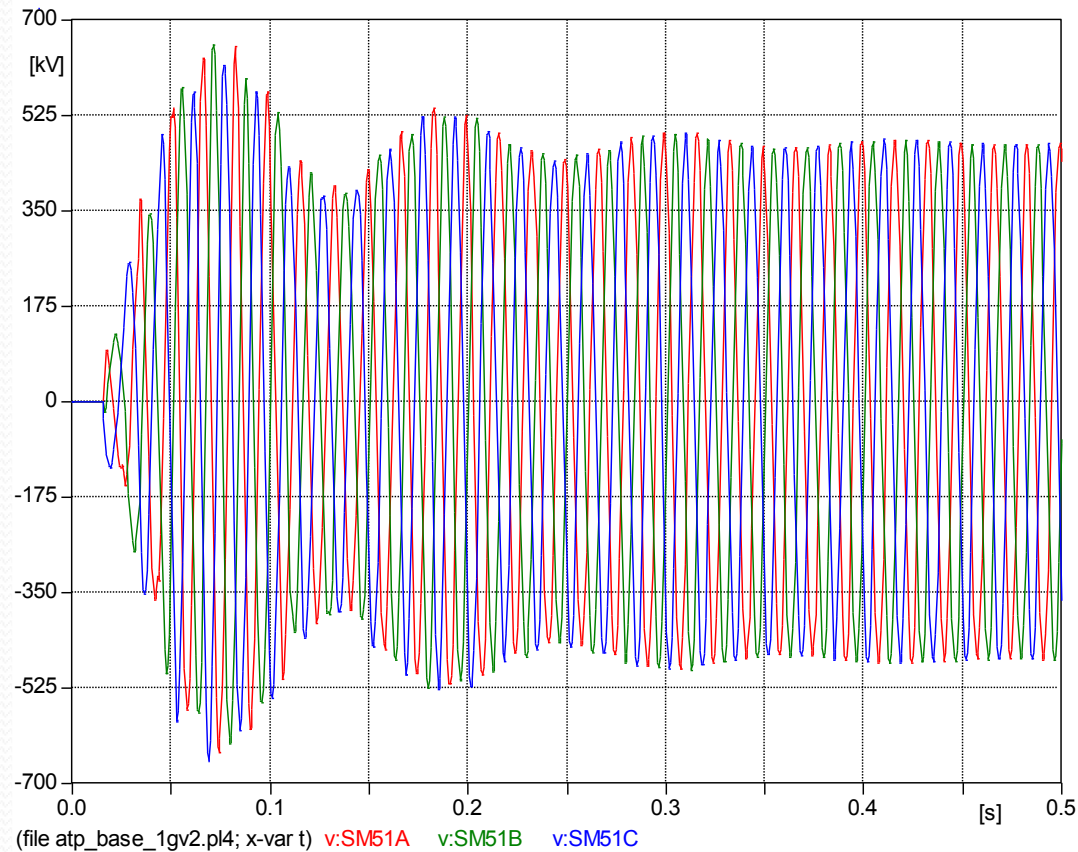


Fig 3 – Tensão fase terra em Serra da Mesa I - terminal emissor do Elo CA – km o.

Energização do Elo CA Sem Defeito

Colinas II, km 1344 (\approx meio da linha)

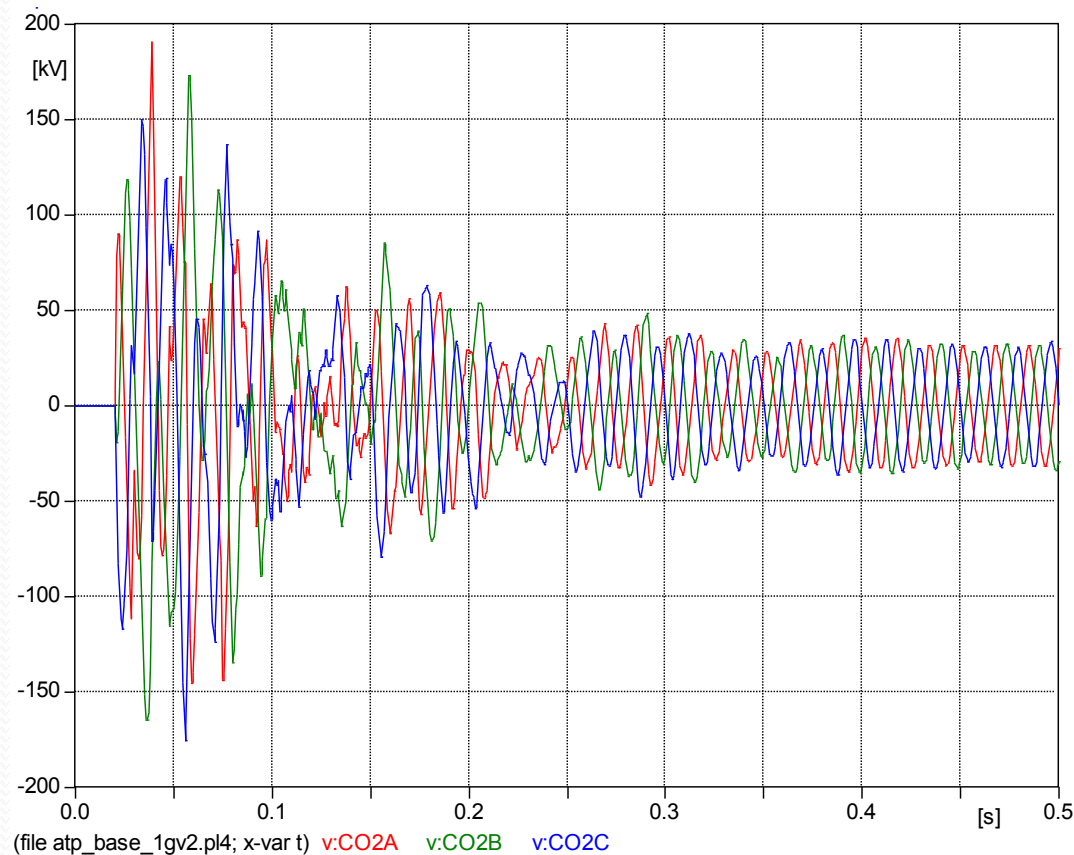


Fig 4 – Tensão fase terra em Colinas II - meio do Elo CA – km 1344

Energização do Elo CA Sem Defeito

Bom Jesus da Lapa, km 2600 (receptor)

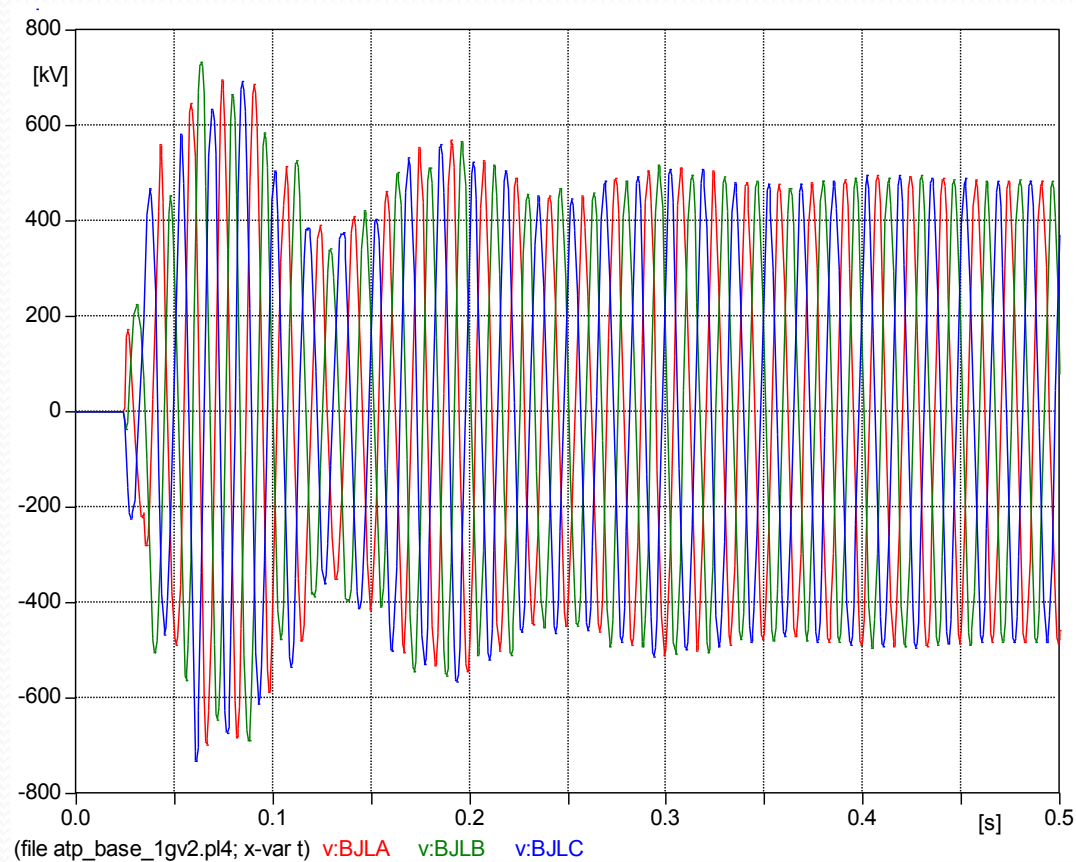


Fig 5 – Tensão fase terra em Bom Jesus da Lapa - terminal receptor do Elo CA – km 2600

Descrição das Simulações de Falta

- A manobra de energização do Elo CA Teste foi conduzida sob defeitos Monofásico (falta fase terra aplicada na fase A) e Trifásico aplicados ao longo da linha, com uma resistência de falta de 20Ω .
- A falta foi aplicada em vários pontos ao longo do Elo CA para identificar possíveis regiões críticas para cada tipo de defeito.
- As simulações foram realizadas considerando falta (monofásica ou trifásica) preexistente, e o disjuntor atuando (abrindo) 100 ms após a energização.
- O tempo total de simulação de 500 ms, com o passo de integração de $50 \mu\text{s}$. ■

Descrição das Simulações de Falta

- As simulações foram conduzidas sem a representação do efeito do acoplamento entre os troncos Norte-Sul I e II, e sem a presença do efeito corona nas linhas. ■

Descrição das Simulações de Falta

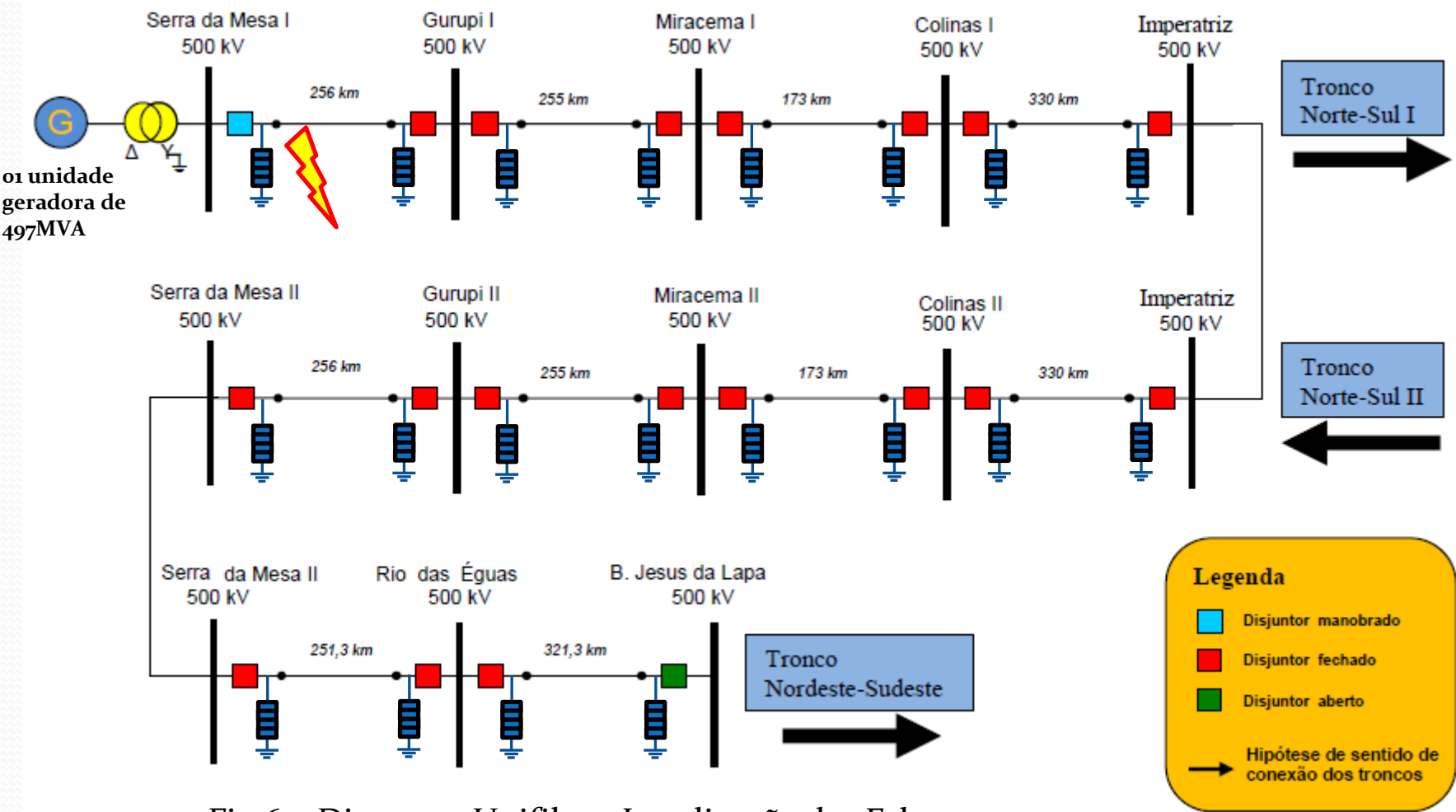


Fig 6 – Diagrama Unifilar e Localização das Faltas.

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Falta em Serra da Mesa 1 (terminal emissor)

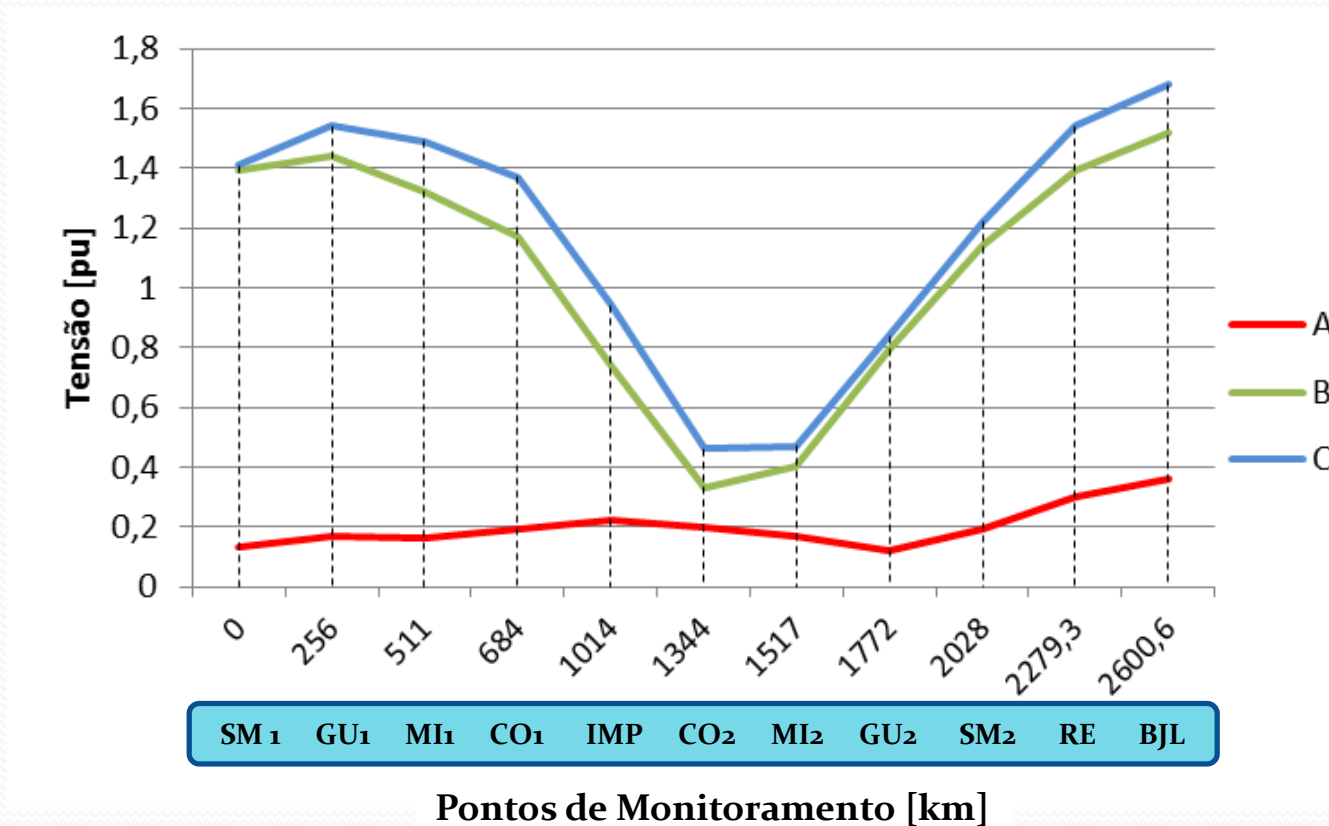


Fig 7 – Máximas sobretensões transitórias devido a falta 1LG aplicada em SM1.

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Falta em Colinas II - \approx meio da linha

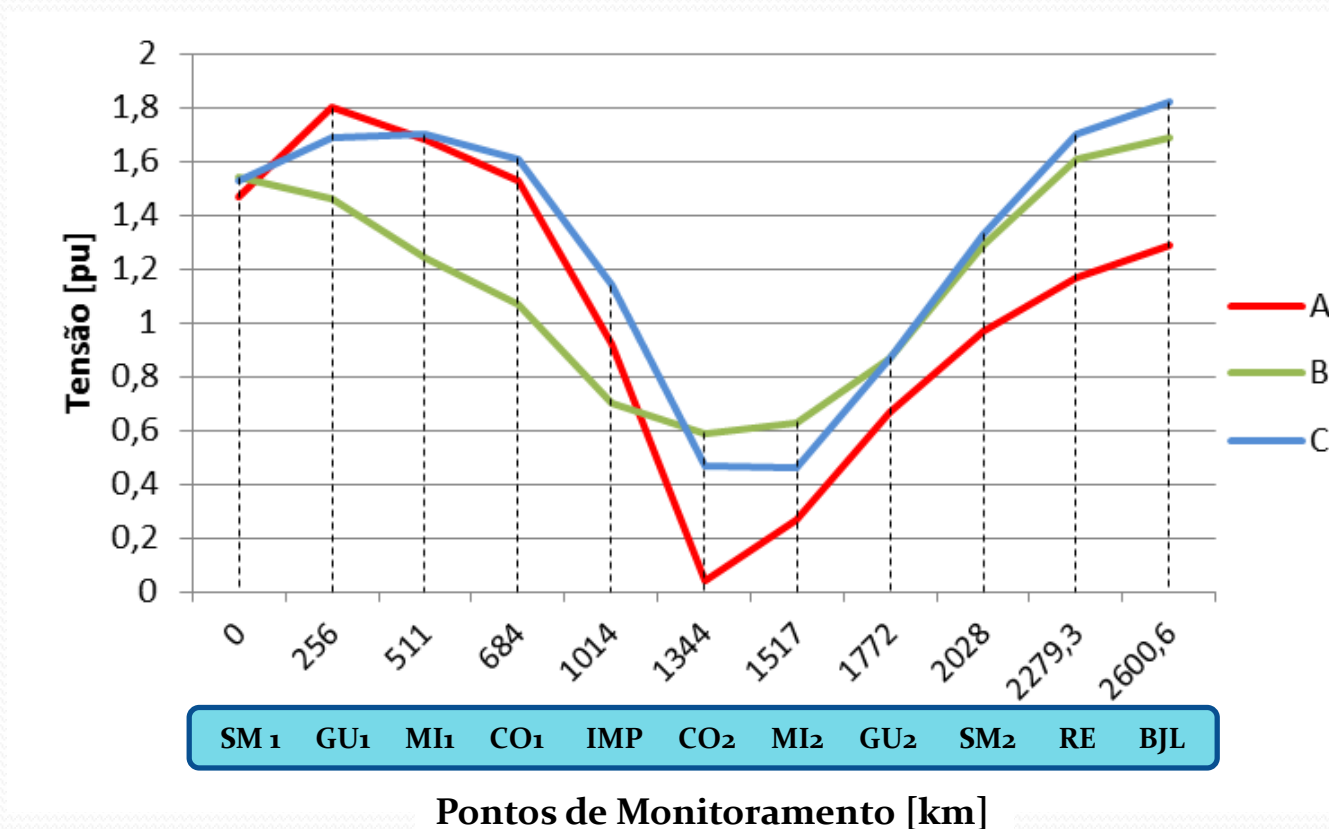


Fig 8 – Máximas sobretensões transitórias devido a falha 1LG aplicada em Colinas II.

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Falta em Bom Jesus Lapa - terminal receptor

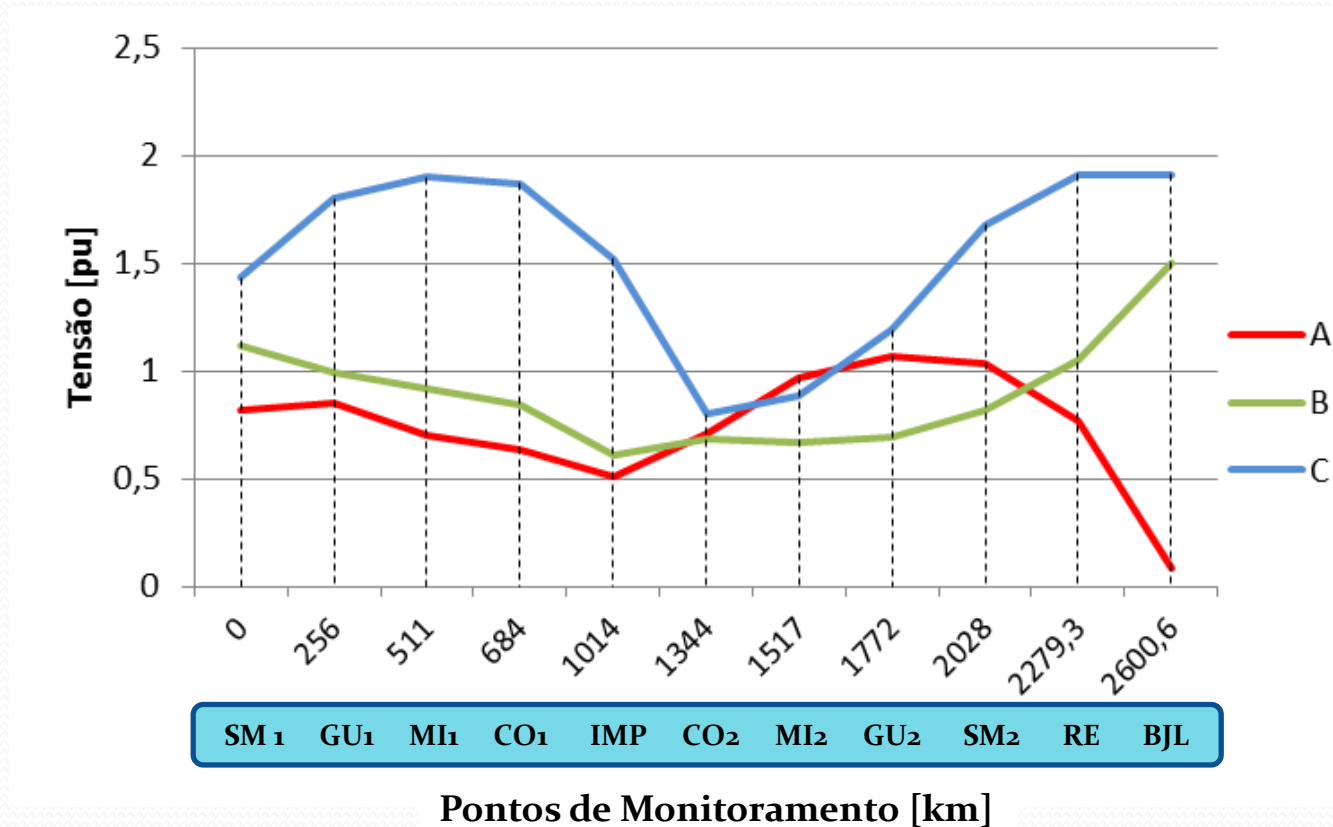
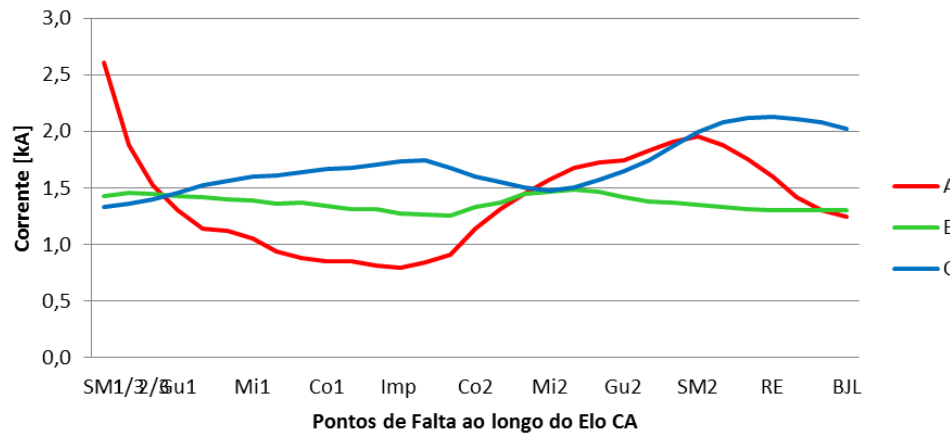


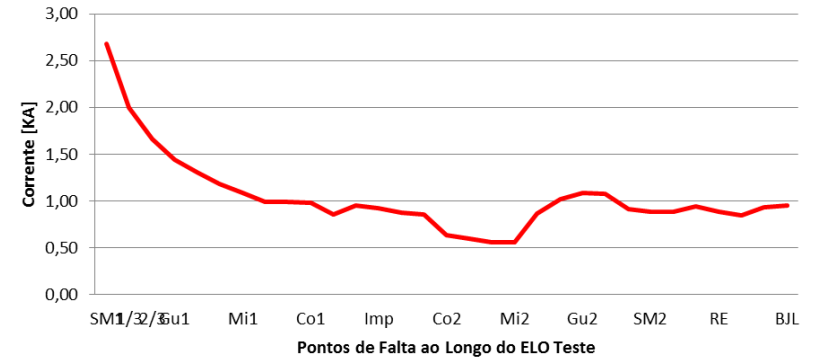
Fig 9 – Máximas sobretensões transitórias devido a falta 1LG aplicada em Bom Jesus da Lapa.

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Máximas correntes no disjuntor em SM1



Máximas correntes no neutro do transformador



Máximas correntes de falta ao longo do Elo CA

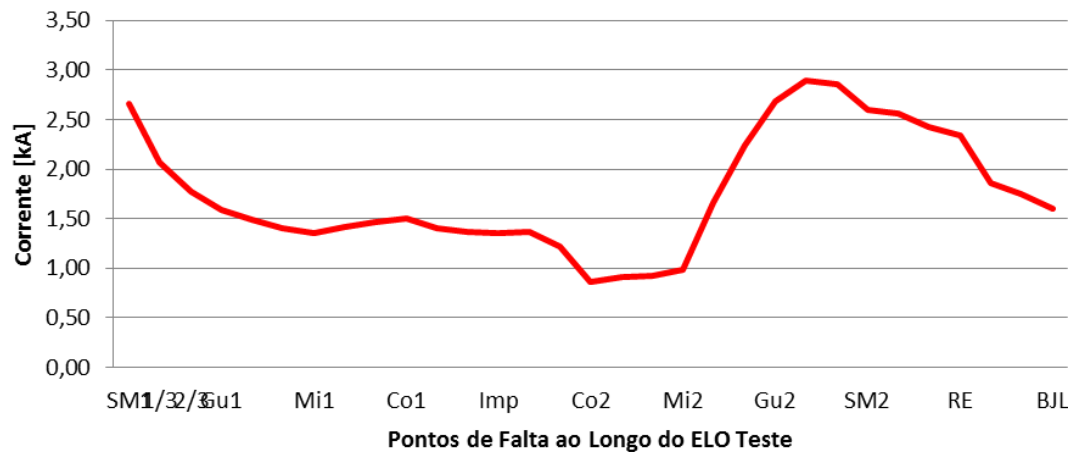
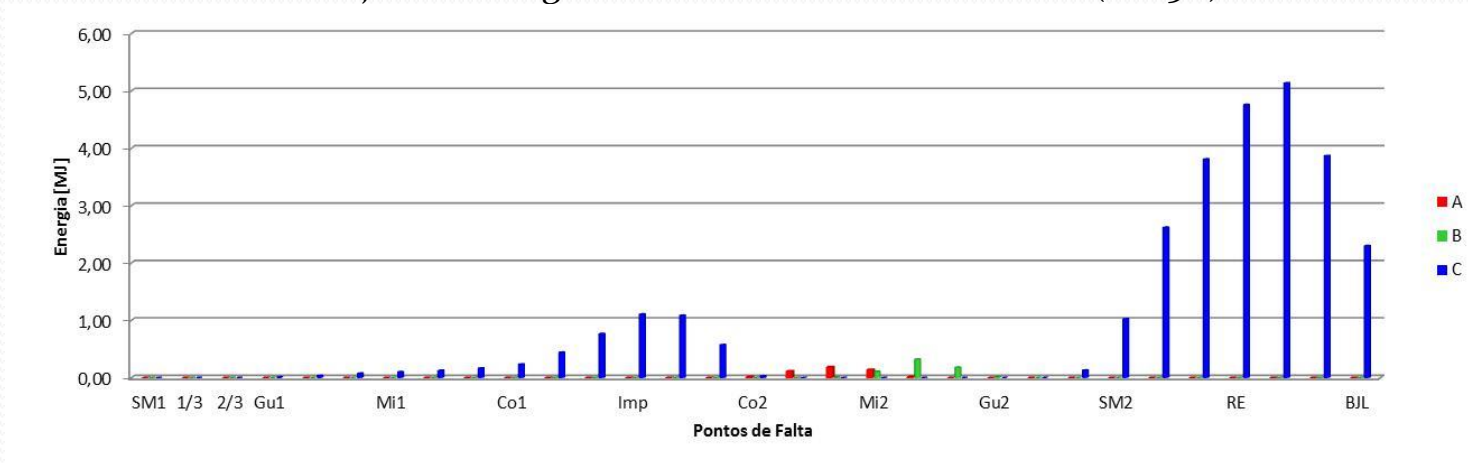


Fig 10 – Máximas correntes devido a falta 1LG ao longo da linha.

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Absorção de Energia dos Pára-raios em Miracema I (km 511)



Absorção de Energia dos Pára-raios em Colinas I (km 684)

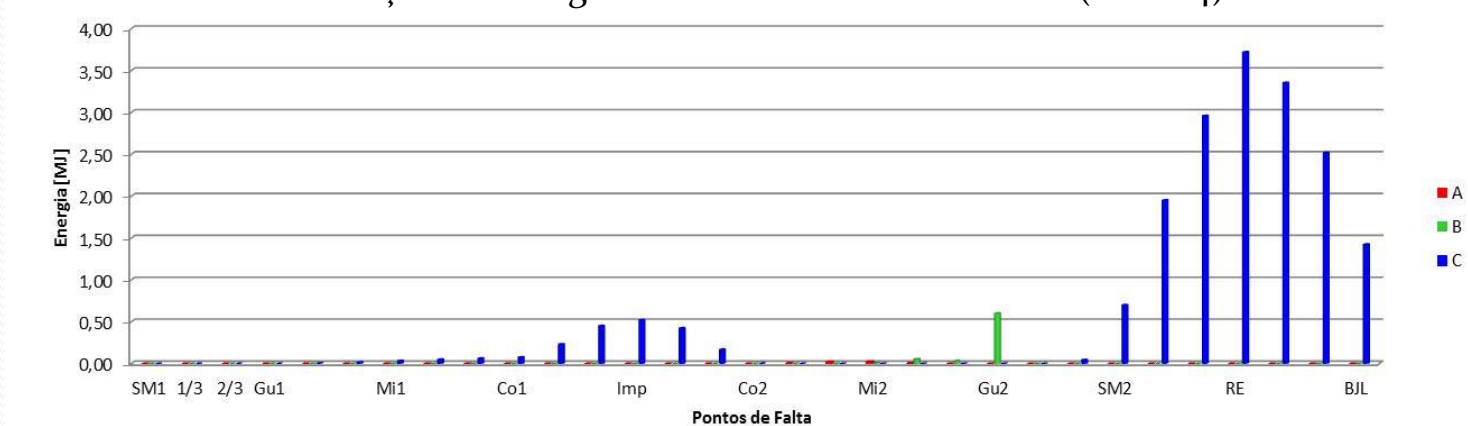
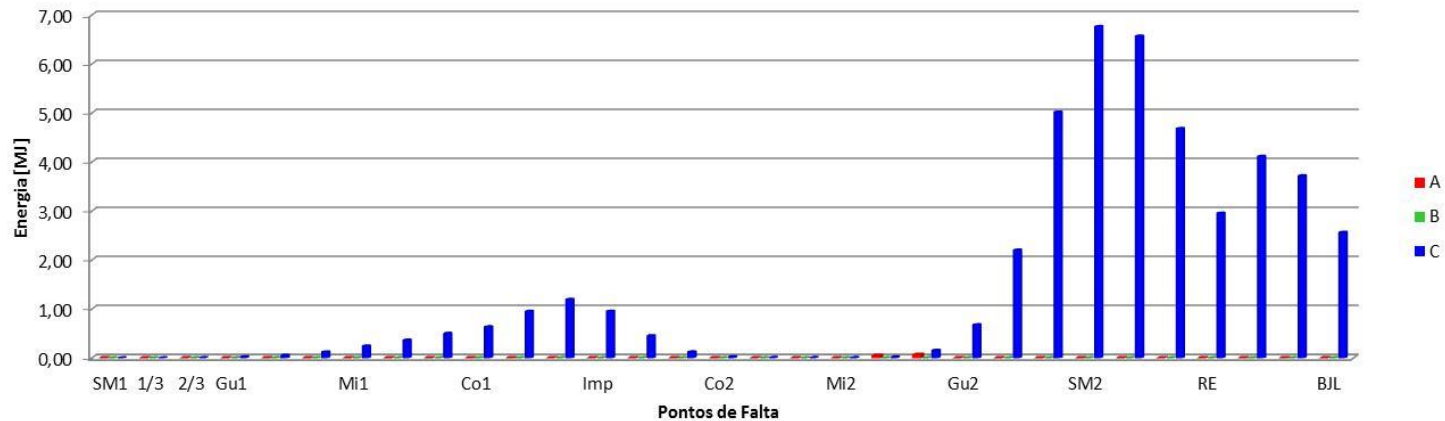


Fig 11 – Absorção de Energia [MJ] nos Pára-raios considerando faltas 1LG ao longo do Elo CA. 17

Energização sob Falta Monofásica (A-T)

Absorção de Energia dos Pára-raios em Rio das Eguas (km 2280)



Absorção de Energia dos Pára-raios em Bom Jesus da Lapa (km 2600)

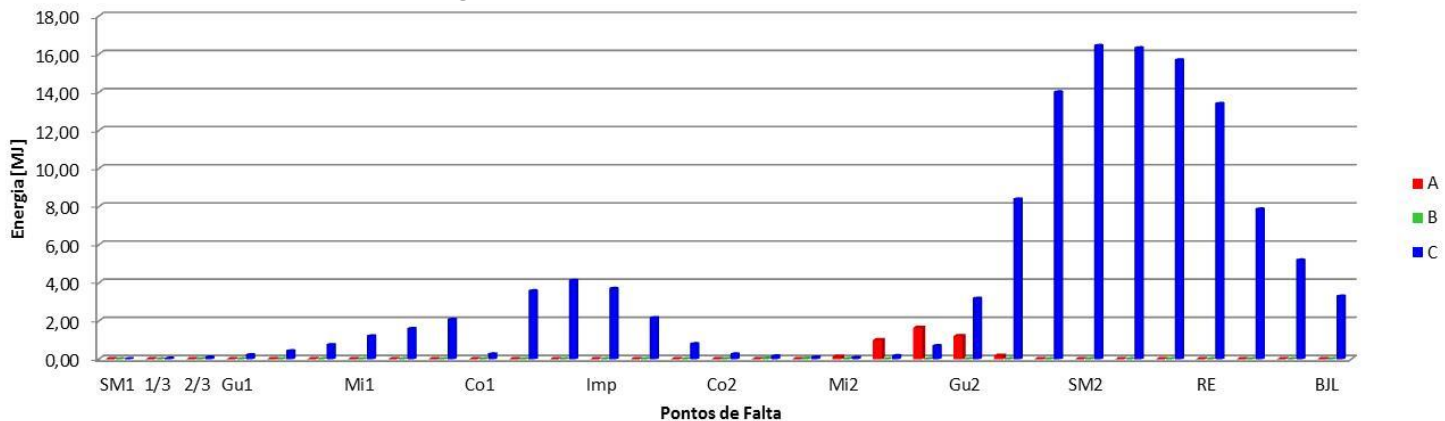


Fig 12 – Absorção de Energia [MJ] nos Pára-raios considerando faltas 1LG ao longo do Elo CA. 18

Discussão - Análise

- Estes resultados mostram o comportamento de um Elo CA, inicialmente sem defeito, e posteriormente sob a ocorrência de falta monofásica ao longo do tronco.
- A manobra de energização sem defeito não apresentou sobretensões severas.
- Para as faltas monofásicas a região crítica foi localizada após o km 2000, próximo ao terminal receptor do Elo CA.
- Faltas monofásicas nesta região provocaram sobretensões em pontos específicos da linha, e elevada corrente de falta.



Discussão - Análise

- Os valores de corrente no disjuntor são maiores para falta terminal, e diminuem à medida que o defeito se move em direção a extremidade remota. No entanto, na região crítica a corrente de falta volta a subir (ponto quase ressonância).
- Os pára-raios não foram requisitados, exceto para faltas em locais bem definidos, sendo que na região crítica a energia dissipada nos pára-raios foi importante.
- O defeito foi mantido por 100 ms, e a atuação da proteção não foi considerada. ■

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

- A condição de defeito consiste na falta trifásica aplicada ao longo da linha, considerando a resistência de falta de 20 ohms.
- As simulações foram realizadas para a condição de energização da linha em vazio a partir de Serra da Mesa, com o defeito trifásico aplicado em diversos pontos da linha para averiguação do comportamento da mesma sob tais condições.
- As simulações realizadas nos programas ATP e PSCAD/EMTDC. ■

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

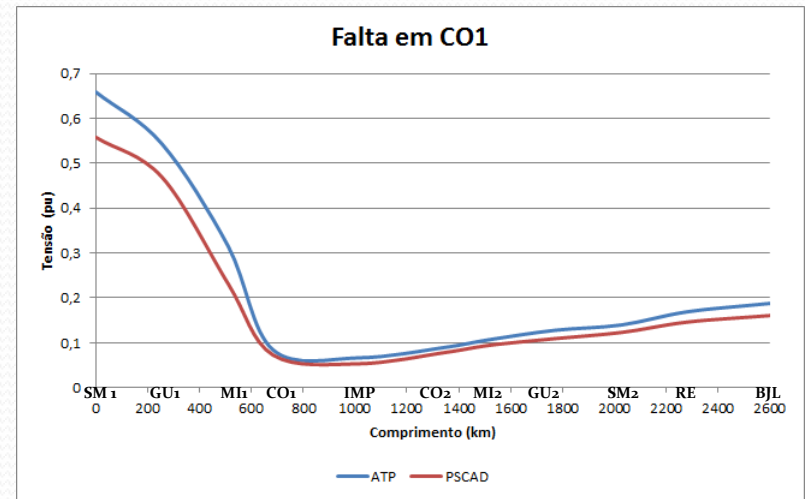
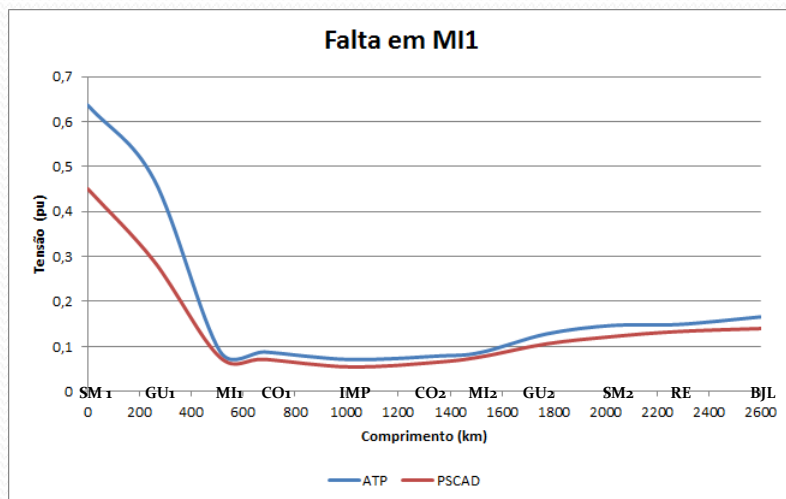
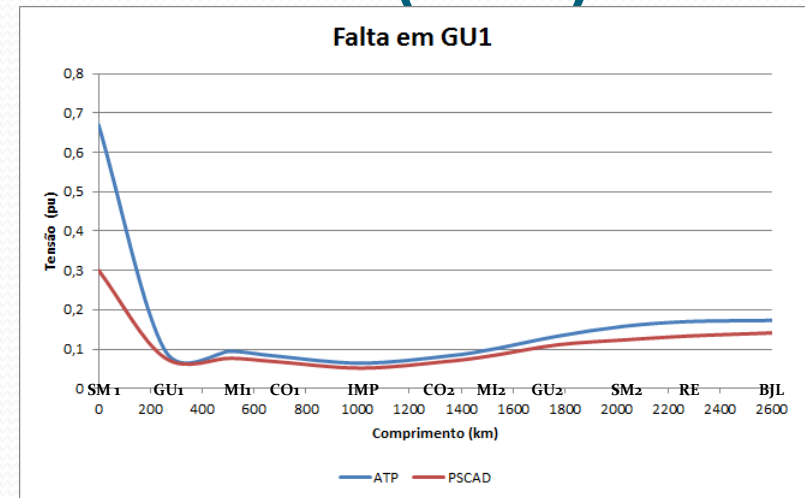
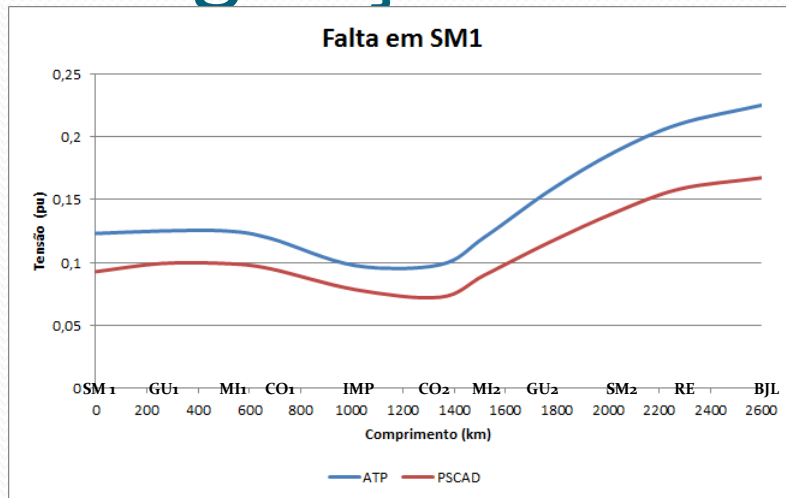


Fig 13 –Máxima tensão ao longo do Elo CA para falta trifásica de SM1 a CO1

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

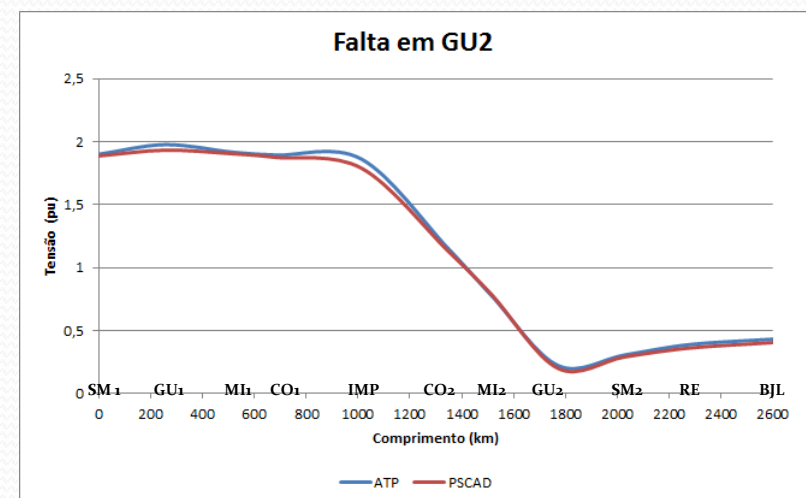
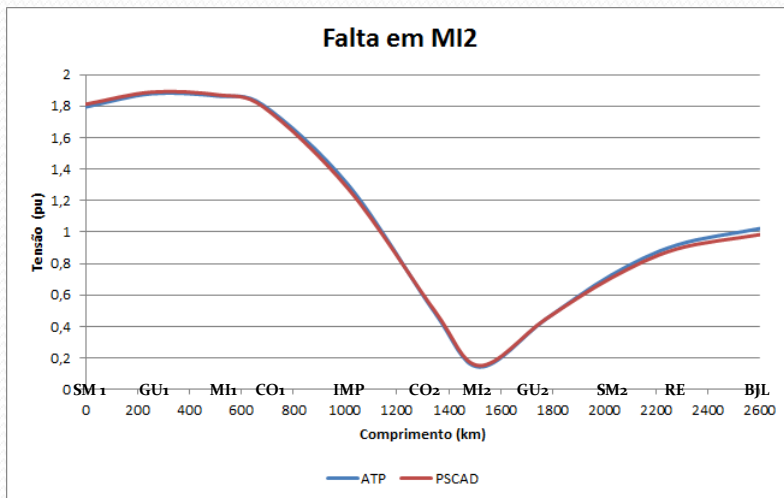
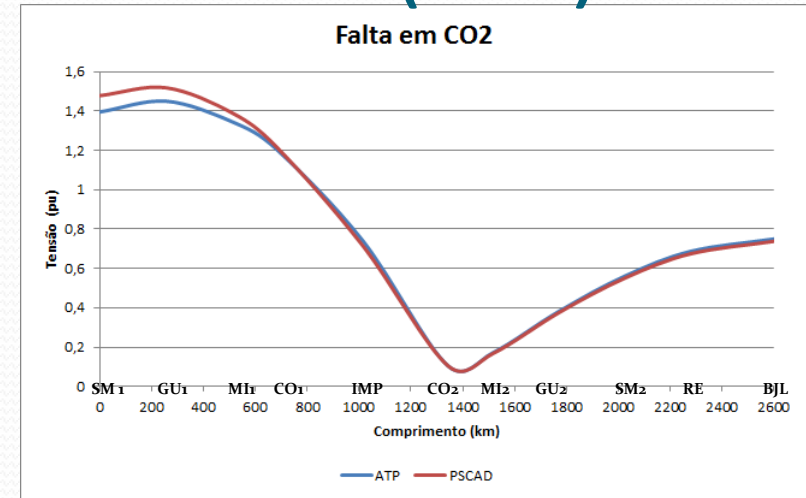
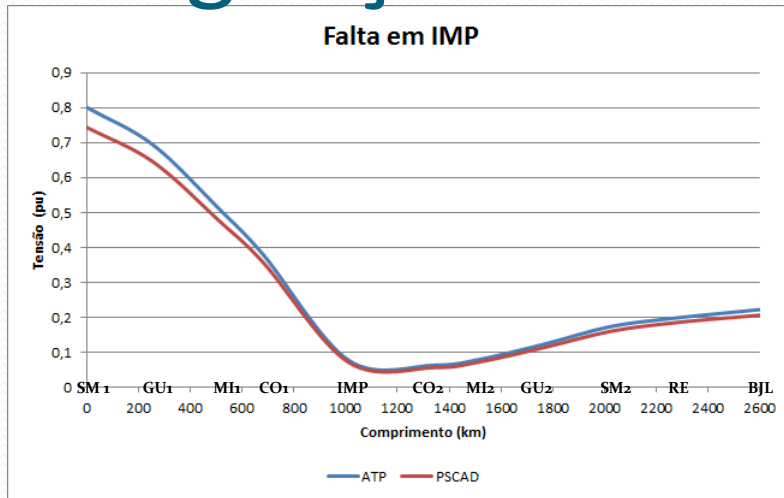


Fig 14 –Máxima tensão ao longo do Elo CA para falta trifásica de IMP a GU2

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

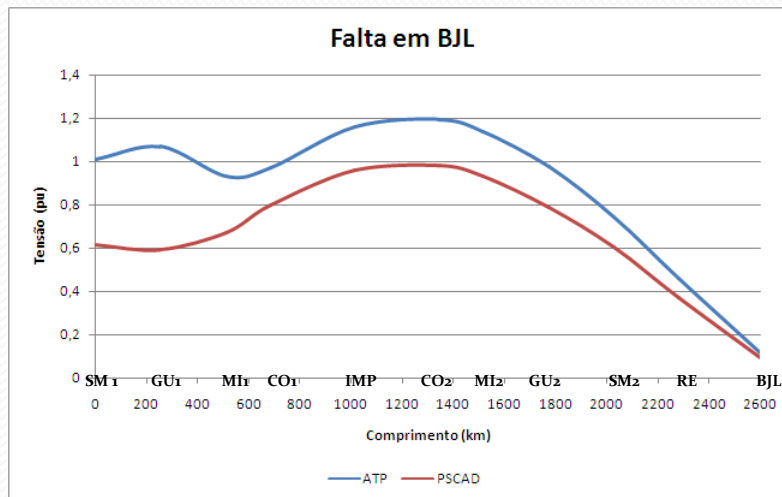
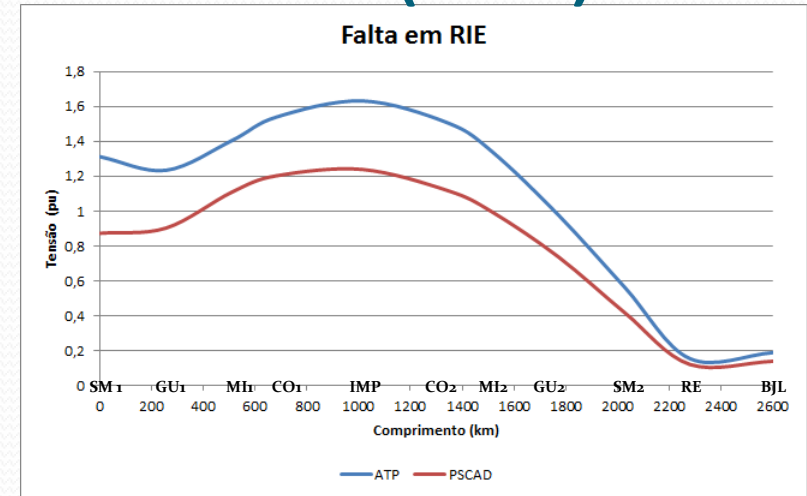
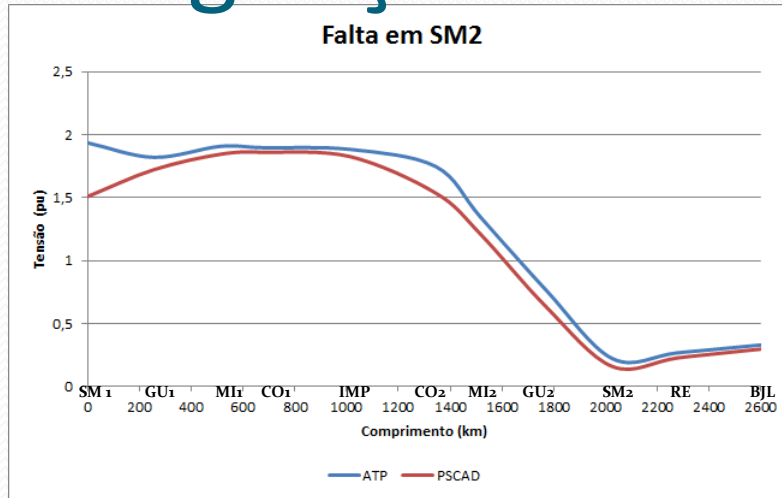


Fig 15 –Máxima tensão ao longo do Elo CA para falta trifásica de SM2 a BJJ

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

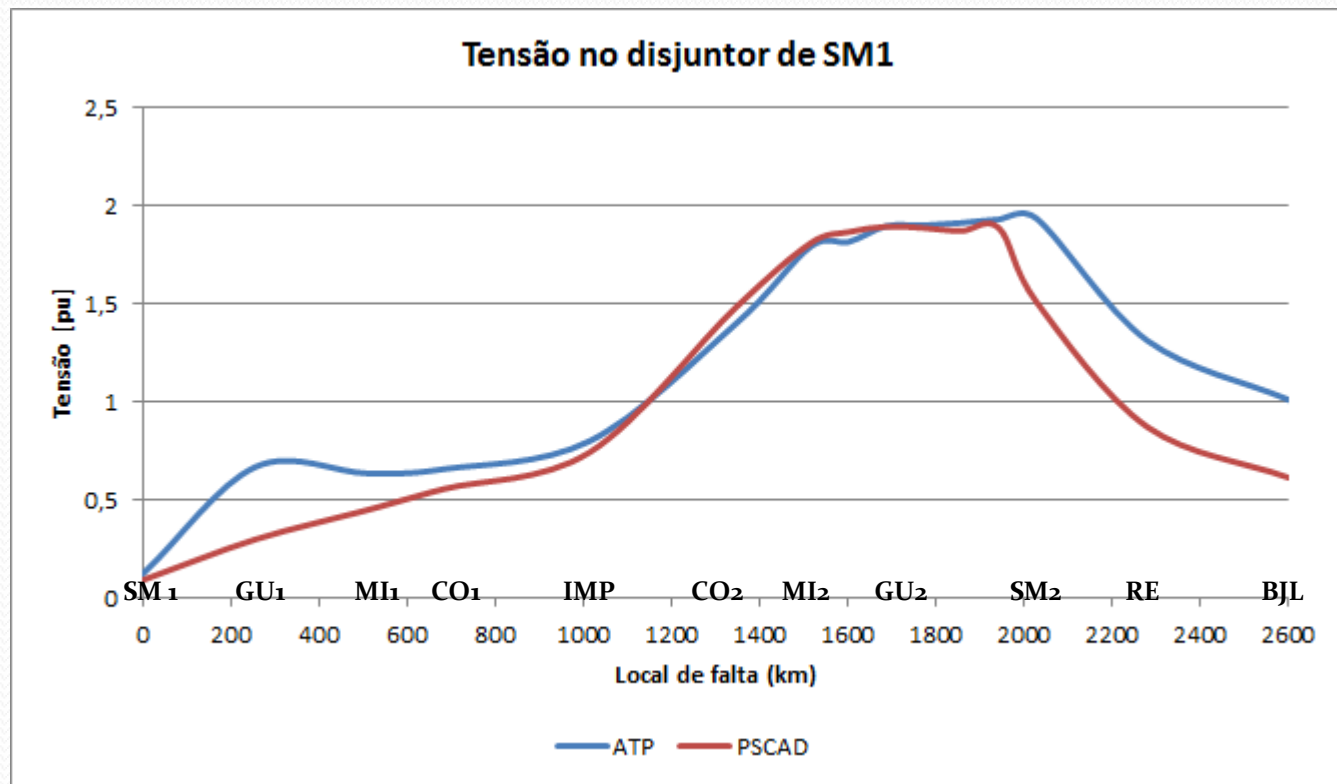


Fig 16 –Máximas tensões no disjuntor de SM 1 para faltas trifásicas ao longo do Elo CA

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

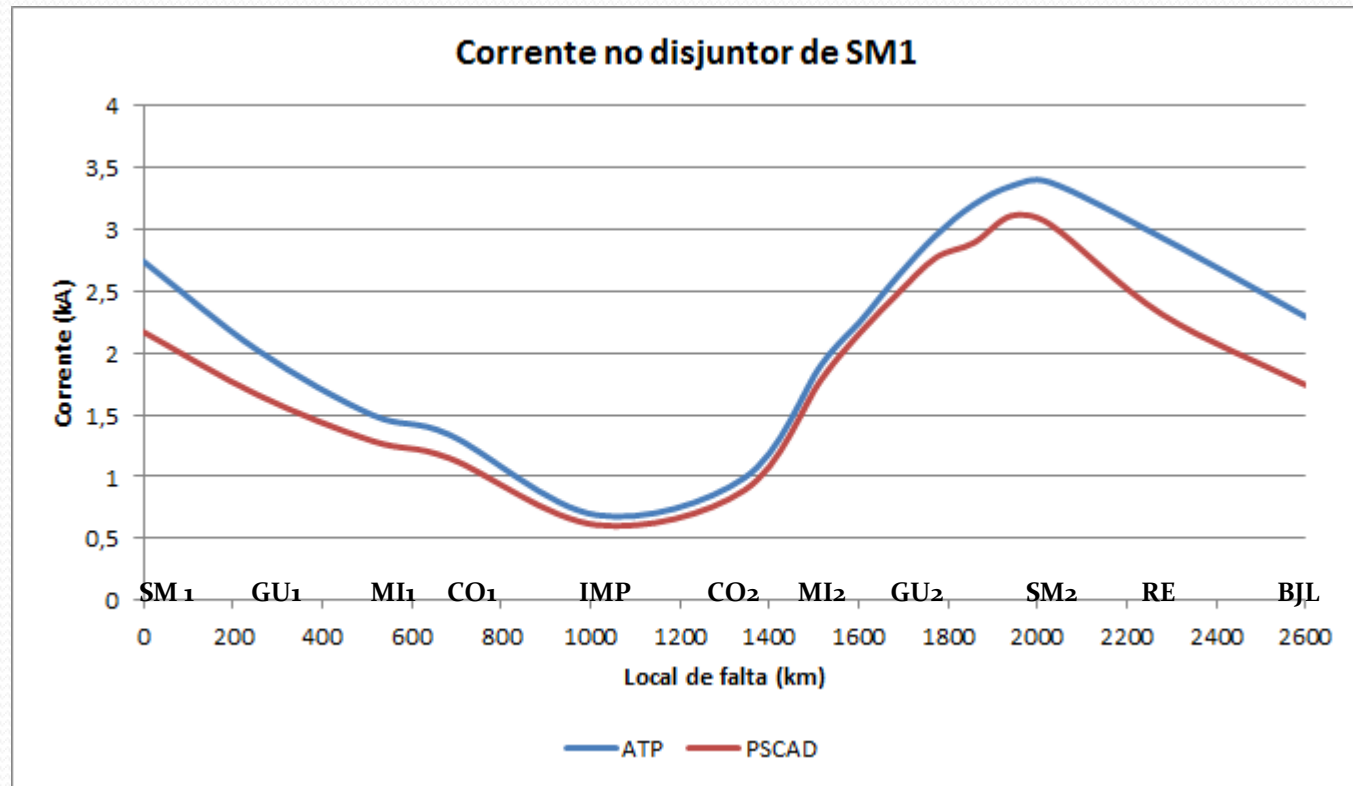
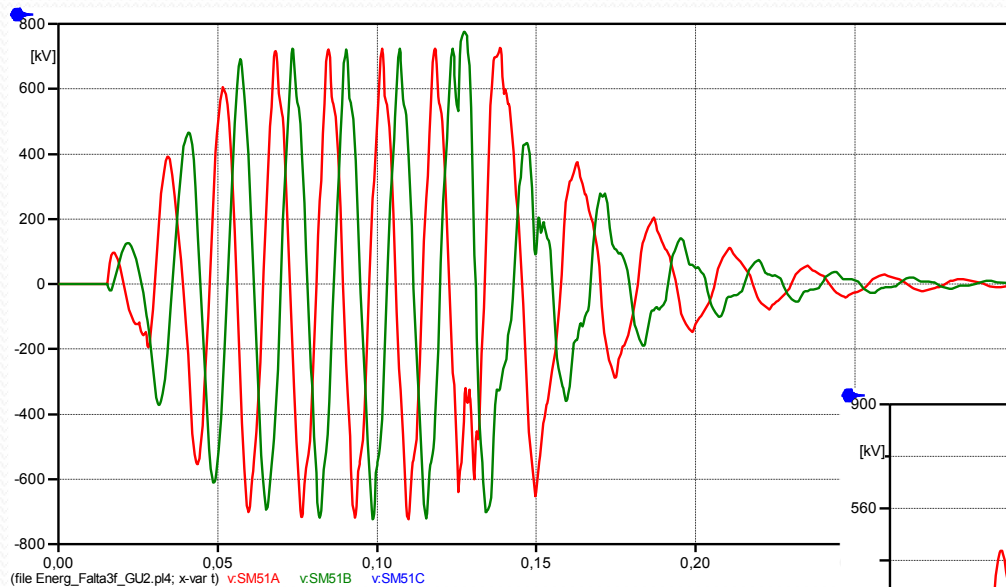


Fig 17 –Máximas correntes no disjuntor de SM 1 para faltas trifásicas ao longo do Elo CA

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

Tensões na subestação de Serra da Mesa I



Tensões na subestação de Gurupi I

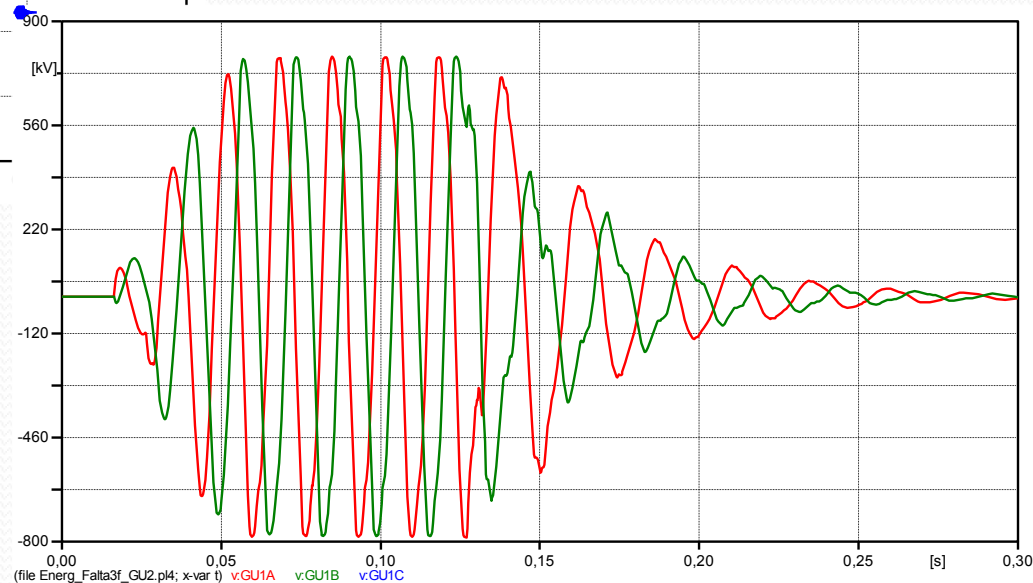


Fig 18 –Tensões na SE de SM1 e GU1 para um curto trifásico em Gurupi 2.

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

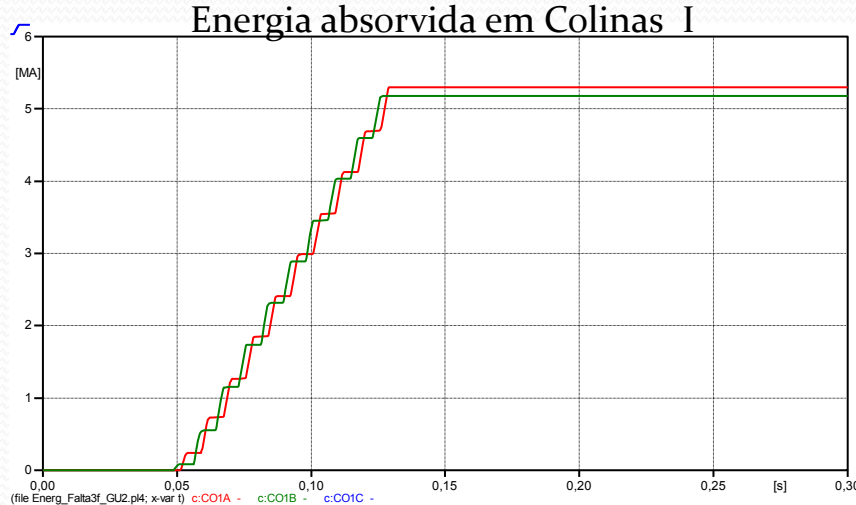
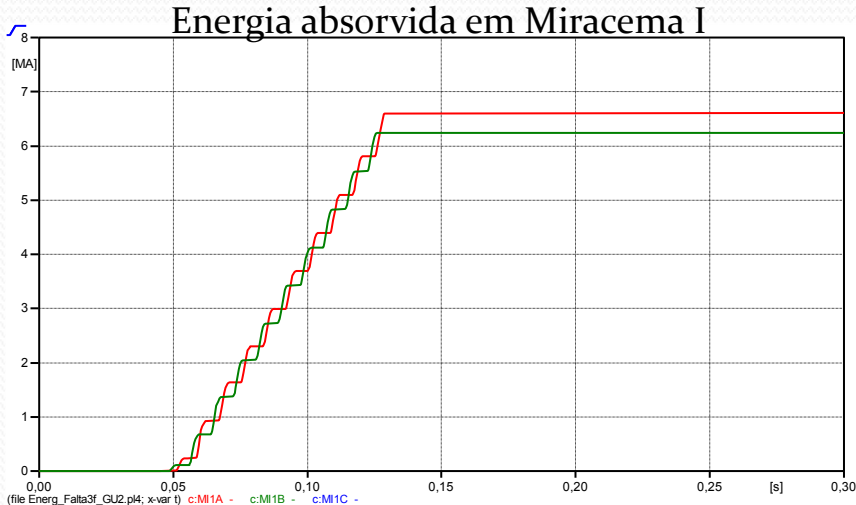
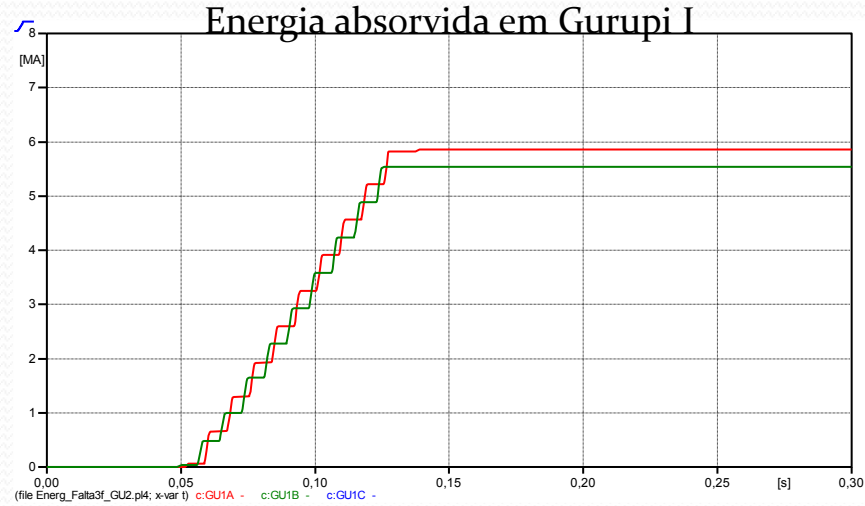
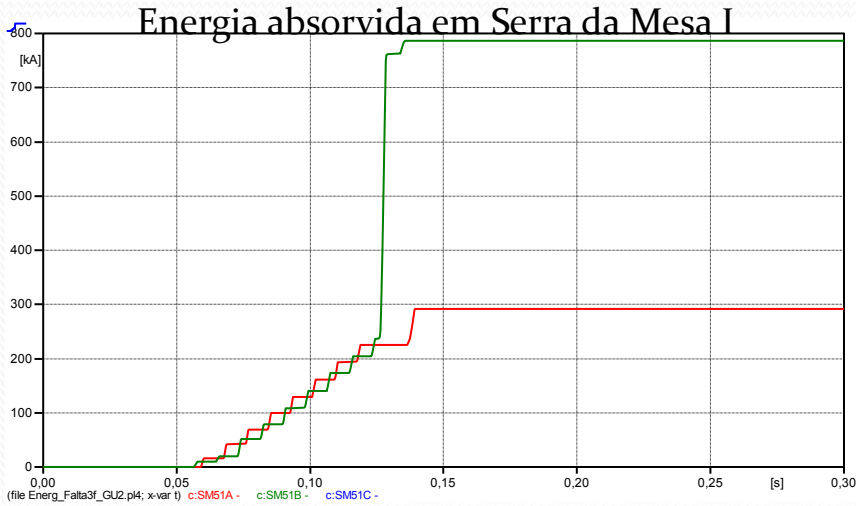


Fig 19 – Energias absorvidas pelos pára-raios para um curto trifásico em Gurupi 2.

Energização sob Falta Trifásica (A-T)

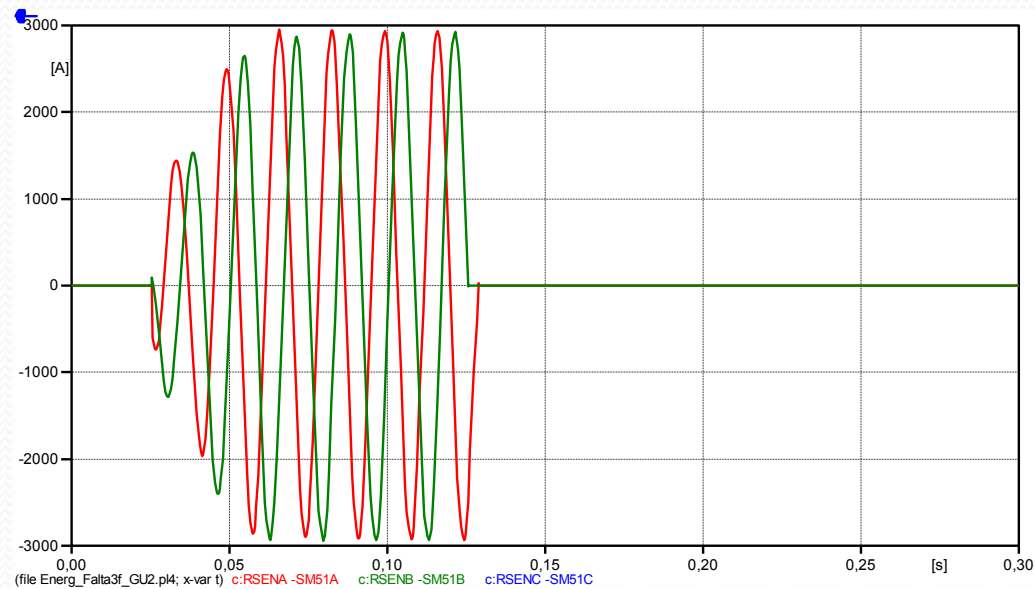


Fig 20 –Corrente no início do Elo CA para um curto trifásico em Gurupi II

Discussão - Análise

- As tensões no disjuntor para faltas até Imperatriz (1014 km) são sempre inferiores a tensão nominal da linha.
- A região entre as SEs de Miracema II e Serra da Mesa II (65% a 85% do comprimento do Elo) apresenta os piores casos de faltas trifásicas, tendo os seus valores limitados devido aos pára-raios presentes na subestação de Serra da Mesa (local da medição).
- No entorno da SE de Gurupi II estão os casos mais críticos, com riscos também aos pára-raios conectados ao Elo CA nas SEs de Gurupi I, Miracema I e Colinas I. ■

Discussão - Análise

- Para falta 3ϕ nesta região, além da retirada da falta em um tempo inferior a 100 ms, é necessária outra medida de redução para proteção da linha.
- um método de mitigação consiste na redução das cadeias de isoladores (DIR) das três fases de uma torre próxima da subestação de Imperatriz.
- Este método retira a linha rapidamente da condição de ressonância devido ao curto trifásico nos locais críticos, e reduz drasticamente as sobretensões e sobrecorrentes decorrentes do defeito. ■

Conclusões

- Para Faltas Monofásicas:

- A região crítica foi localizada entre SEs Gu2 e BJL. Faltas localizadas nesta região produziram elevações de tensão em pontos específicos da linha.
- As correntes no disjuntor são maiores para faltas próximas do terminal de manobra, porém na região crítica esta corrente volta a crescer.
- As sobretensões não foram elevadas em função da atuação dos pára-raios, sendo importante observar a energia dissipada para se avaliar a severidade do defeito.
- Os pára-raios foram solicitados apenas para faltas localizadas em pontos bem definidos, sendo que para a região crítica a energia dissipada foi importante.
- A ocorrência de defeito ao longo de um Elo CA produz resultados distintos dos encontrados em linhas muito mais curtas, especificamente a ocorrência em locais críticos tão afastados dos terminais.
- Soluções mitigadoras podem ser utilizadas como: a proteção rápida, ou o uso de pára-raios com alta capacidade de absorção. ■

Conclusões

- Para Falhas Trifásicas:
 - Tanto do ponto de vista de sobretensões como de energias dissipadas pelos pára-raios, as piores solicitações ocorrem para defeitos entre Mi2 e SM2, na subestação de Gurupi II e para curtos internos.
 - As sobretensões podem chegar a valores próximos de 800 kV (2,0 pu), limitadas pela atuação dos pára-raios.
 - A energia dissipadas nestes elementos é muito elevada, ficando próximo dos valores limites.
 - Os valores obtidos são sempre superiores ao valor de corrente em regime permanente da linha energizada sem defeito, próximo de 0,51 kA. Desse modo as faltas podem ser identificadas rapidamente através dos relés de sobrecorrente existentes no barramento da subestação de Serra da Mesa I. ■

Obrigado!