

Correlação entre o Desempenho de Estratégia para o Religamento Controlado de Linhas de Transmissão e o Ponto de Incidência da Falta

R. C. F. Gregory¹, A. C. Santos², J. C. Oliveira¹, M. L. R. Chaves¹

¹Universidade Federal de Uberlândia – UFU

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – IFTM

raquel.filiagi@gmail.com, andreia.crico@gmail.com, jcoliveira@ufu.br, lynce@ufu.br

K. M. C. Dantas³, W. L. A. Neves³, D. Fernandes Jr.³
L. C. A. Fonseca⁴

³Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

⁴Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – Chesf
karcus@dee.ufcg.edu.br, waneves@dee.ufcg.edu.br, damasio@dee.ufcg.edu.br, lfonseca@chesf.gov.br

Resumo — As sobretensões de manobras são fenômenos transitórios amplamente conhecidos quanto a sua origem e propriedades e, diante destas manifestações, na ausência de medidas mitigatórias, falhas de isolamento em linhas de transmissão e demais componentes do sistema podem ocorrer. Somado a um conjunto de procedimentos clássicos para a minimização destes fenômenos, outras possibilidades são meritórias de maiores investigações. Neste contexto, o presente trabalho explora as potencialidades de uma estratégia aplicada às linhas de transmissão, a qual se apoia na tecnologia dos chaveamentos controlados. Não obstante o fato que os fundamentos desta metodologia são conhecidos, esta pesquisa se apresenta imbuída do propósito de investigar a correlação entre a eficácia da metodologia e o ponto físico de incidência da falta na linha de transmissão.

Palavras-chaves — ATP, chaveamento controlado, linhas de transmissão, sobretensões de manobras, transitórios.

I. INTRODUÇÃO

As manobras de disjuntores atreladas aos chaveamentos das linhas de transmissão, podem provocar diversos efeitos indesejáveis à operação dos sistemas elétricos, em virtude da manifestação de sobretensões transitórias de elevada magnitude, as quais são as principais responsáveis pela ruptura de isolamento de sistemas em extra-alta tensão e ultra-alta tensão [1].

De fato, as sobretensões em sistemas de 500 kV e 800 kV, devem ser limitadas a 1,8 p.u. e 1,4 p.u., respectivamente, visando manter o isolamento em níveis similares aos impostos por surtos atmosféricos [2]. Não obstante tais orientações, na ausência de medidas mitigadoras, os surtos de manobras podem provocar sobretensões transitórias da ordem de 4 p.u. [3], fato este determinante na busca de alternativas para a atenuação destes fenômenos.

No tocante às soluções mitigatórias, destacam-se as estratégias tradicionalmente atreladas ao uso de disjuntores com resistores de pré-inserção. Conquanto a referida solução apresente um bom desempenho técnico para o tratamento das sobretensões, vale salientar que sua aplicação pode acarretar em elevados custos, diante da necessidade da implantação de dispositivos complementares aos tradicionais disjuntores, os

quais se tornam construtivamente mais complexos e com maiores requisitos de manutenção [4], [5].

Ademais, estudos atrelados à implantação de para-raios de óxido metálico têm mostrado resultados satisfatórios quando os mesmos são inseridos em pontos estratégicos da linha de transmissão [6].

Somada às soluções mencionadas, com o avanço da ciência e disponibilização de recursos na forma de hardware e software, as tecnologias fundamentadas em chaveamentos controlados se apresentam como estratégia factível para o desenvolvimento de mecanismos compatíveis às necessidades dos complexos de transmissão, oferecendo atrativos e desafios para os pesquisadores [7], [8]. A filosofia ora tratada se apresenta imbuída do propósito de intitular os dispositivos capazes de identificar os instantes propícios para o fechamento ou abertura dos contatos dos disjuntores [9], [10]. Esta estratégia, por conseguinte, elimina a necessidade do RPI, mostrando-se técnica e economicamente atrativa para o aumento da confiabilidade do sistema [11], [12].

Isto posto, reconhece-se que, muito embora existam inúmeros trabalhos atrelados às mais diversas técnicas de chaveamentos controlados, o tema ainda carece de investigações, sobretudo, na ocorrência de faltas no sistema, bem como a influência do seu local de incidência no desempenho do processo.

Destaca-se que os trabalhos ora realizados, buscando correlacionar o local da falta ao terminal emissor, se apoiam, essencialmente, no fato que o ponto de ocorrência do curto-circuito é responsável por alterações nas impedâncias e frequências oscilatórias envolvidas no processo do chaveamento.

Nesse contexto, este trabalho tem por foco apresentar os fundamentos físicos e matemáticos de uma estratégia baseada em chaveamentos controlados, contemplando estudos de desempenho por meio da implementação da estratégia no *Alternative Transients Program* (ATP). Para tal, são conduzidas simulações em um complexo de transmissão pertencente ao Sistema Interligado Nacional (SIN) o qual é submetido a curtos-circuitos assimétricos em diferentes pontos da linha de transmissão, ambicionando investigar os possíveis impactos do local da incidência da falta no desempenho do processo.

II. CARACTERÍSTICAS DAS TENSÕES RESIDUAIS NA LINHA DE TRANSMISSÃO

As energizações e religamentos das linhas de transmissão são manobras típicas que ocorrem no sistema elétrico. Tais processos podem acarretar em elevadas sobretensões devido a propagação e reflexão das ondas viajantes pela linha de transmissão [3]. De modo geral, as manobras de religamento são responsáveis pela manifestação de picos de tensão mais acentuados, visto que os contatos dos disjuntores são fechados em instantes aleatórios nos quais a tensão da fonte pode apresentar polaridade inversa à da linha, acarretando em sobretensões próximas a 4 p.u. [3].

Ademais, vale salientar que os processos atrelados aos religamentos das linhas de transmissão desprovidas de compensação reativa, ou demais equipamentos especiais, ocorrem na presença de tensões residuais, as quais se manifestam durante a abertura de uma linha previamente energizada. Pode-se afirmar que o decaimento da referida tensão remanescente é relativamente lento e é comumente regido pelas condições climáticas [13].

O comportamento das tensões residuais em linhas compensadas por reatores em derivação é tipicamente oscilatório, devido ao circuito estabelecido entre as capacitâncias da linha e a indutância dos reatores de compensação. Nestas condições, ressalta-se que o decaimento da tensão residual é substancialmente mais rápido que no caso de linhas desprovidas de compensação e varia em função do fator de qualidade do reator [14]. Isto posto, tais oscilações podem conter diferentes componentes de frequência, as quais são dependentes do arranjo de transposição da linha, do seu grau de compensação e do tipo de defeito que originou sua abertura [15].

Diante dessa conjuntura, visando embasar os procedimentos ora postos, são consideradas, na sequência, as características das faltas que podem ocorrer no sistema elétrico. Enfatiza-se que as mesmas, conforme sua natureza, possuem particularidades que possibilitam a identificação e tratamento específico para se atingir as metas pretendidas.

A. Curto-circuito fase-terra (FT)

O circuito equivalente representativo de um curto-circuito numa rede elétrica pode ser tratado com o auxílio de transformações modais utilizando a matriz de Karrenbauer, assumindo um arranjo de transposição ideal.

Para um defeito envolvendo uma fase e a terra, desprezando-se a impedância do defeito e a reatância da linha, os circuitos modais para o conjunto linha-reator são aqueles indicados na Fig. 1. Os parâmetros constituintes do arranjo equivalente são clássicos e dispensam maiores detalhes de identificação.

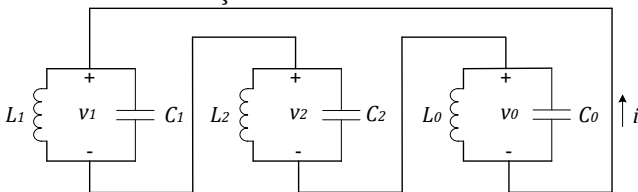


Fig. 1. Arranjo no domínio modal representativo de uma falta fase-terra.

A Fig. 1 ilustra a relação entre as tensões modais durante a falta, resultando na expressão definida em (1).

$$v_1 + v_2 + v_0 = 0 \quad (1)$$

Onde:

v_i ($i = 0,1,2$) – tensões no domínio modal.

L_i, C_i ($i = 0,1,2$) – parâmetros elétricos do conjunto linha-reator no domínio modal.

As frequências de oscilação referentes ao modo 1 e modo 0, nestas condições, são dadas por (2) e (3), respectivamente.

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} \quad (\text{Hz}) \quad (2)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2L_1 + L_0}{L_1 L_0 (C_1 + 2C_0)}} \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

Após o término da falta, a relação expressa em (1) deixa de ser válida, já que os circuitos modais desacoplam-se e a frequência de oscilação da tensão residual referente ao modo 0 passa a ser determinada por (4):

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0}} \quad (\text{Hz}) \quad (4)$$

B. Curto-circuito fase-fase-terra (FFT)

Na ocorrência de curtos-circuitos envolvendo duas fases e a terra, e baseando-se nas mesmas premissas idealizadas para a situação anterior, a análise dos circuitos modais resulta no arranjo paralelo da Fig. 2.

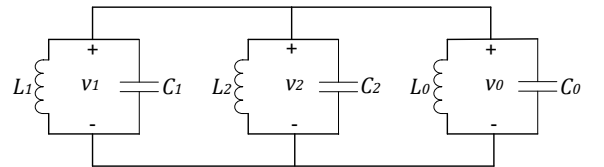


Fig. 2. Arranjo no domínio modal representativo de uma falta fase-fase-terra.

A partir da Fig. 2, infere-se a relação expressa em (5).

$$v_1 = v_2 = v_0 \quad (5)$$

Durante a falta, a fase sã apresenta apenas uma frequência de oscilação definida por (6).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + 2L_0}{L_1 L_0 (C_0 + 2C_1)}} \quad (\text{Hz}) \quad (6)$$

Uma vez extinto o defeito, a igualdade observada em (5) deixa de ser válida e as frequências de oscilação apresentam valores determinados por (2) e (4).

Objetivando uniformizar a metodologia em foco, a avaliação dos defeitos fase-fase-terra é realizada de forma similar à incidência de faltas fase-terra, visto que os

primeiros podem envolver apenas uma das fases antes de sua completa extinção, o que permite o tratamento de cada fase de forma isolada. Por conseguinte, tanto para a condição anterior, como para a presente, o critério para a detecção da extinção da falta encontra-se estabelecido em conformidade com (1).

C. Curto-circuito fase-fase (FF)

Para uma falta envolvendo apenas duas fases da linha de transmissão, considera-se que no ponto do defeito os circuitos modais são acoplados tal como exposto na Fig. 3.

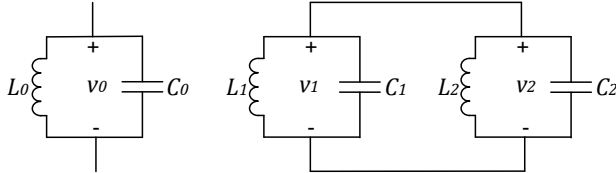


Fig. 3. Arranjo no domínio modal representativo de uma falta fase-fase.

Assim sendo, deduz-se a expressão apresentada em (7).

$$v_1 = v_2 = v \quad (7)$$

Na ocorrência de defeitos fase-fase, ainda que o modo 0 não esteja presente na modelagem do curto-circuito, é possível que esta componente seja excitada durante a abertura da linha. Por conseguinte, conclui-se que as frequências de oscilação são as mesmas durante e após o término do curto-circuito, sendo definidas pelas expressões (2) e (4), respectivamente. Diante desse cenário, visto que não há alteração do comportamento dos osciladores, é infactível a definição de um critério capaz de detectar a extinção deste tipo de falta a partir da estratégia aqui focada [16].

D. Curto-circuito trifásico (3F)

A Fig. 4 apresenta o arranjo dos circuitos modais representativos de uma falta trifásica.

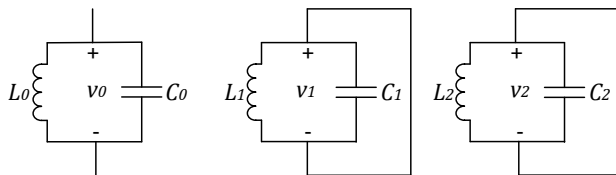


Fig. 4. Arranjo no domínio modal representativo de uma falta trifásica.

Na situação em que a terra não é envolvida no defeito, apenas os circuitos modais 1 e 2 são curto-circuitados. Ainda que o circuito modal 0 possa ser excitado no momento da abertura da linha, esta componente é rapidamente amortecida. Já para os casos em que a terra é parte do defeito trifásico, os circuitos modais 0, 1 e 2 são curto-circuitados, sendo praticamente inexistente a presença da tensão residual na linha de transmissão, uma vez que não há energia armazenada nas suas capacitâncias. Por conseguinte, são encontradas dificuldades na definição de meios capazes de identificar o término de curtos-circuitos dessa natureza.

Do exposto salienta-se que a lógica apresentada para o chaveamento controlado é restrita aos religamentos concernentes à ocorrência de defeitos fase-terra e fase-fase-terra [16]. O controle para o chaveamento de linhas submetidas aos defeitos fase-fase e trifásicos ainda se apresenta como tema para futuros desenvolvimentos.

III. ESTRATÉGIA PARA O CHAVEAMENTO CONTROLADO

A estratégia de controle implementada para o estabelecimento do chaveamento controlado, em consonância com [16], pode ser fragmentada em duas etapas fundamentais:

- Etapa 1: responsável pela determinação do tempo de duração da falta;
- Etapa 2: incumbida do processo do religamento propriamente dito.

A. Etapa 1

Para que a linha de transmissão possa ser reinserida no sistema, é necessário, primeiramente, identificar se a falta foi extinta dentro do tempo morto. Caso o defeito persista, deve-se interromper o religamento visando garantir que isto não ocorra enquanto a falta perdurar. Tendo em vista o atendimento a este quesito, uma das estratégias se apoia na observação dos sinais das tensões modais [17].

Por conseguinte, baseando-se em (1), é possível constatar que:

- Se $(v_1 + v_2) = -v_0$, considera-se que a falta ainda persiste;
- Se $(v_1 + v_2) \neq -v_0$, presume-se que a falta foi extinta.

Todavia, em situações reais encontradas em campo, a soma das tensões modais é proporcional à impedância da falta [18]. Por conseguinte, ambicionando contornar tais fragilidades, optou-se pela análise da proximidade entres os sinais de $(v_1 + v_2)$ e $(-v_0)$, empregando-se um parâmetro estatístico denominado por coeficiente de determinação R^2 [19]. Esta grandeza apresenta valores próximos a um quando ocorre uma falta na linha de transmissão e é nula após o término do curto-circuito [20], tal como ilustra a Fig. 5.

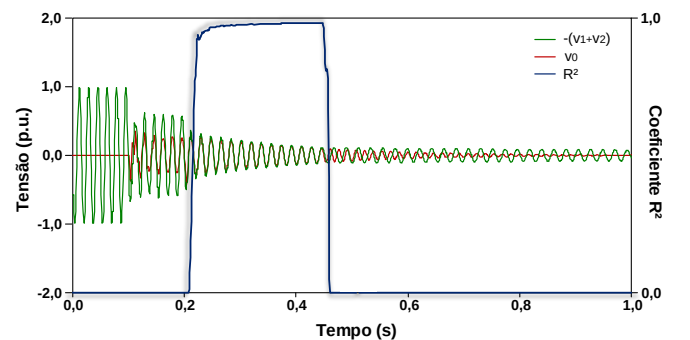


Fig. 5. Determinação do tempo de duração da falta pelo coeficiente R^2 .

Determinado o período de duração do curto-circuito, inicia-se a estimativa do comportamento dos sinais em instantes

futuros, mediante à aplicação das estratégias que serão apresentadas na Etapa 2.

B. Etapa 2

Após a identificação da extinção da falta, são obtidas as amplitudes das tensões presentes em ambos os lados do disjuntor. Para tanto, obtém-se o máximo valor absoluto entre duas passagens por zero, o qual é periodicamente atualizado. Este processo é realizado simultaneamente à definição das frequências dos sinais entre os contatos do disjuntor, cuja expressão considera a média aritmética dos valores obtidos a cada três passagens por zero. Isto tem por meta auxiliar na estimativa dos instantes propícios para a efetivação do chaveamento no tempo requerido.

Ademais, a determinação dos instantes apropriados para o chaveamento é feita concomitante à extrapolação da tensão entre os contatos do disjuntor, a qual é realizada durante um intervalo de 100 ms. O procedimento é baseado na observação dos sinais estimados do lado da fonte e da linha, visando a determinação dos momentos nos quais a tensão entre os contatos do disjuntor é nula. Em seguida é realizado o produto das derivadas da tensão da linha e da fonte. Se o resultado for um valor positivo, o momento assim determinado se apresenta como apropriado para o chaveamento. Caso contrário, tal instante é inadequado por não se situar no período de menor pulsação do sinal [21].

Vale ressaltar que o acoplamento eletromagnético entre as fases da linha de transmissão pode causar uma redução da eficiência do controle, acarretando em desvios consideráveis nos sinais de tensão utilizados para determinar os instantes apropriados para o chaveamento [9]. Com o propósito de reduzir tais efeitos, os tempos ótimos para o chaveamento da linha são considerados quando o intervalo entre o instante de fechamento do primeiro e último polo é o menor possível [17]. Isto feito, os sinais são enviados para o religamento da linha com a expectativa que as sobretensões transitórias sejam reduzidas.

IV. ESTUDOS DE DESEMPENHO DA METODOLOGIA

Com o propósito de elucidar o desempenho do método implementado, optou-se pela análise do sistema em sua condição mais crítica, tendo por foco a parametrização da linha de transmissão em 500 kV que interliga as Barras 3 e 4, com 400 km de extensão, na qual desenvolveu-se a lógica de controle. A modelagem do sistema externo foi feita por meio do equivalente de Thévenin, onde as fontes foram ajustadas para fornecer uma tensão próxima a 550 kV na Barra 3. A Fig. 6 expõe o diagrama da configuração implementada no simulador ATP, cujos parâmetros encontram-se subsequentemente listados em conformidade com os dados disponibilizados em [22].

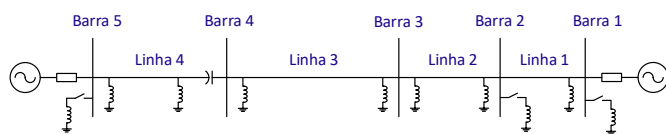


Fig. 6. Diagrama unifilar da configuração implementada no ATP.

TABELA I. PARÂMETROS ELÉTRICOS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO.

Linha de Transm.	R_1 (Ω/km)	R_0 (Ω/km)	X_1 (Ω/km)	X_0 (Ω/km)	Y_1 ($\mu\text{S}/\text{km}$)	Y_0 ($\mu\text{S}/\text{km}$)	Comp. (km)
Linha 1	0,026	0,223	0,282	0,900	5,877	3,410	137,8
Linha 2	0,026	0,242	0,282	0,872	5,881	3,448	268,7
Linha 3	0,019	0,493	0,267	1,339	6,124	2,890	400,0
Linha 4	0,025	0,376	0,322	1,411	5,120	3,064	233,8

TABELA II. PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS REATORES DE LINHA NA BASE DE 500kV.

Linha de Transmissão	Subestação	Potência (MVA)	X_0/X_1
Linha 1	Barra 1	150	-
Linha 2	Barra 2	150	-
Linha 2	Barra 3	150	-
Linha 3	Barra 3	180	-
Linha 3	Barra 4	180	-
Linha 4	Barra 4	100	1,70
Linha 4	Barra 5	100	1,73

TABELA III. PARÂMETROS ELÉTRICOS DOS REATORES DE BARRA.

Subestação	V_{base} (kV)	Potência (MVA)	X_0/X_1
Barra 1	500	100	1,0
Barra 2	500	150	1,0
Barra 5	500	105	1,0

TABELA IV. REATÂNCIA PERCENTUAL DO CAPACITOR SÉRIE.

Linha de Transmissão	Subestação	Reatância (%)
Linha 4	Barra 4	2,11

TABELA V. IMPEDÂNCIA EQUIVALENTE DE THÉVENIN.

Subestação	Sequência Positiva		Sequência Zero	
	R_1 (Ω)	X_1 (Ω)	R_0 (Ω)	X_0 (Ω)
Barra 1	3,90	106,61	1,98	24,49
Barra 5	0,41	273,33	7,79	100,94

A estratégia de controle, nos termos aqui apresentados, foi implementada utilizando a linguagem MODELS por meio de duas etapas: sendo a primeira (M1) destinada à determinação do tempo de extinção da falta, e a segunda (M2) responsável pela determinação dos instantes apropriados para o religamento da linha, em consonância com as etapas enunciadas no capítulo prévio. É importante esclarecer que os aspectos relacionados ao reconhecimento do tipo de falta e das fases envolvidas perfazem os dados de entrada das MODELS.

A Fig. 7 exhibe parte da configuração implementada no ambiente ATPDraw, com destaque ao trecho no qual foi desenvolvida a estratégia de controle. Em M1 (vermelho), o cálculo do R^2 é realizado singularmente para cada fase envolvida no defeito, cujas entradas são dependentes das tensões trifásicas da linha de transmissão. A partir do instante em que este parâmetro assume valores próximos a zero, é enviado um sinal para M2 (azul), de modo a habilitar sua execução. Esta, por sua vez, recebe as tensões trifásicas do lado da linha e a respectiva tensão de uma das fases do terminal emissor (Barra 3). Na sequência, é feita a decomposição destes sinais de acordo com a matriz de Karrenbauer, com posterior execução dos procedimentos apresentados na seção precedente.

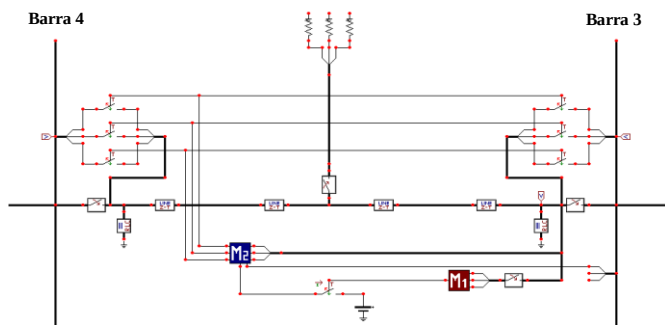


Fig. 7. Diagrama esquemático da configuração implementada no ATPDraw.

Com o propósito de avaliar a performance da metodologia implementada, foram realizadas 864 simulações no ambiente ATPDraw contemplando distintas condições operativas atreladas ao local de incidência das faltas e às fases envolvidas.

Diante dessa conjuntura, os tópicos subsequentes contemplarão a análise de desempenho da metodologia implementada para curtos-circuitos dos tipos fase-terra e fase-fase-terra, objetivando avaliar o comportamento das sobretensões após o chaveamento de um dos trechos pertinente ao sistema elétrico em foco.

Salienta-se que as simulações contemplaram a incidência de faltas localizadas a 100 km, 200 km e 300 km do terminal emissor, não abrangendo a ocorrência de curtos nas barras terminais.

A. Curtos-circuitos Fase-terra

Nesta etapa foram simulados 432 curtos-circuitos fase-terra envolvendo as fases A, B e C.

A Tabela VI apresenta a performance do algoritmo de controle para os três locais de incidência da falta.

TABELA VI. DESEMPENHO DA ESTRATÉGIA PARA FALTAS FASE-TERRA.

Distância (km)	Nº de Simulações	Falhas no Religamento
100	144	0%
200	144	0%
300	144	0%

A Fig. 8 exibe os valores das sobretensões média e máxima para os chaveamentos transcorridos após a extinção de faltas fase-terra, considerando os diferentes pontos de incidência do defeito.

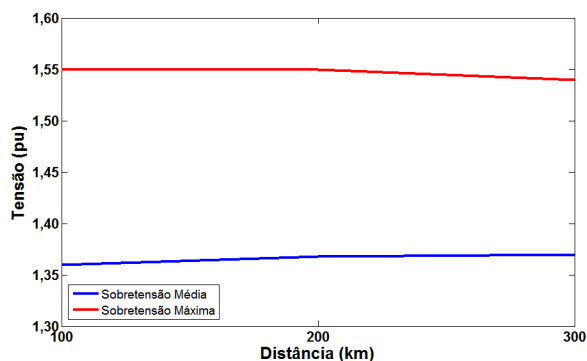


Fig. 8. Relação entre o local de incidência da falta e as sobretensões média e máxima após o religamento da linha ora submetida às faltas fase-terra.

A análise dos resultados supracitados conduz ao bom desempenho da metodologia, uma vez que não foram observadas falhas no processo do religamento da linha ora submetida às faltas fase-terra. Ademais, vale frisar que as sobretensões foram mantidas a níveis substancialmente moderados independentemente do local de ocorrência do defeito, reforçando a robustez da metodologia em foco.

B. Curtos-circuitos Fase-fase-terra

As investigações conduzidas, no tocante aos curtos-circuitos fase-fase-terra, contemplam a execução de 432 simulações no ambiente ATPDraw, considerando a incidência de faltas fase-fase-terra, envolvendo as fases AB, BC e CA, em três pontos distintos da linha de transmissão. Ressalta-se que os estudos realizados na presente etapa utilizaram as mesmas premissas adotadas no tópico precedente.

A Tabela VII expõe os percentuais de falhas no processo do religamento controlado após a extinção de faltas bifásicas aterradas, focando nos diferentes locais de sua ocorrência ao longo da linha de transmissão.

TABELA VII. DESEMPENHO DA ESTRATÉGIA PARA FALTAS FASE-FASE-TERRA.

Distância (km)	Nº de Simulações	Falhas no Religamento
100	144	4,86%
200	144	2,08%
300	144	2,08%

Com o propósito de elucidar o desempenho da metodologia ora referida, a Fig. 9 apresenta os valores das amplitudes média e máxima das sobretensões oriundas do religamento controlado, as quais foram auferidas após a extinção de faltas do tipo fase-fase-terra.

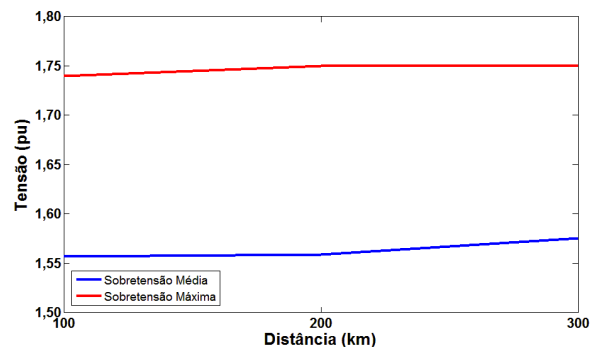


Fig. 9. Relação entre o local de incidência da falta e as sobretensões média e máxima após o religamento da linha ora submetida às faltas fase-fase-terra.

Dessarte, os resultados aqui obtidos ratificam a performance da estratégia desenvolvida em [16], em virtude da manifestação dos baixos índices de falhas no processo do chaveamento controlado. As investigações conduzidas constatarem que as sobretensões permaneceram abaixo dos limites impostos pelos surtos de manobras em sistemas de 500 kV, cujo valor é de 1,8 pu.

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por foco enunciar os fundamentos físicos e matemáticos de uma estratégia para o religamento controlado de linhas de transmissão com compensação reativa em derivação e submetidas a curtos-circuitos assimétricos, bem como implementar e avaliar computacionalmente a performance da metodologia diante do posicionamento físico destes distúrbios ao longo da linha.

Por conseguinte, foram realizadas inúmeras simulações envolvendo faltas do tipo fase-terra e fase-fase-terra em três diferentes pontos de uma linha de transmissão, fazendo uso do simulador ATP. Os resultados obtidos evidenciaram, com clareza, o bom desempenho da metodologia, sobretudo, na aplicação da estratégia após a submissão de curtos-circuitos fase-terra. De fato, as sobretensões máximas foram mantidas em níveis consideravelmente baixos em todos os casos, elucidando o êxito do processo.

Quanto à correlação entre a eficácia da metodologia e o local de incidência da falta, não foram observadas diferenças consideráveis no desempenho do método, visto que o mesmo apresentou resultados similares para todos os pontos investigados. De fato, isto conclui que o lugar no qual o defeito se estabelece não deprecia o desempenho da metodologia, mantendo a confiabilidade do processo estabelecido.

Não obstante o bom desempenho constatado atrelado à estratégia ora focada, reconhece-se a existência de outros fatores de influência aqui não considerados. Nestes termos, investigações complementares ainda se fazem necessárias para a completude das análises de consistência do método.

VI. REFERÊNCIAS

- [1] D. D. L. T. Barros, D. Fernandes Jr., W. L. A. Neves e K. M. C. Dantas, "Suportabilidade Dielétrica de Disjuntores em Manobras Controladas de Energização de Linhas de Transmissão," em *V Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*, Foz do Iguaçu, 2014.
- [2] A. R. Hileman, *Insulation Coordination for Power Systems*, New York - USA: Marcel Dekker, Inc., 1999.
- [3] A. E. A. Araújo e W. L. A. Neves, *Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos em Sistemas de Energia*, Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- [4] A. C. Legate, J. H. Brunke, J. J. Ray e E. J. Yasuda, "Elimination of Closing Resistors on EHV Circuit Breakers," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 3, no. 1, pp. 223-231, Jan. 1988.
- [5] J. R. Ribeiro e M. E. McCallum, "An Application of Metal Oxide Surge Arresters in the Elimination of Need for Closing Resistors in EHV Breakers," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 4, no. 1, pp. 282-291, Jan. 1989.
- [6] L. Stenstrom e M. Mobedjina, "Limitation of switching overvoltages by use of transmission line surge arresters," em *CIGRE SC 33 International Conference*, Zagreb, Croatia, 1998.
- [7] CIGRE Task Force 13.00.1., "Controlled Switching: A State of the Art Survey - Part I," *ELECTRA*, no. 162, pp. 65-97, Oct. 1995.
- [8] H. Ito, "Controlled Switching Technologies, State-of-the-Art," *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific, IEEE/PES*, 2002.
- [9] CIGRE Working Group 13.07, "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers - 1st Part," *ELECTRA*, no.183, pp. 42-73, Apr. 1999.
- [10] CIGRE Working Group 13.07, "Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers: Guide for Application Lines, Reactors, Capacitors, Transformers - 2nd Part," *ELECTRA*, no. 185, pp. 36-57, Aug. 1999.
- [11] CIGRE Working Group A3.07, *Controlled Switching of HVAC Circuit Breakers, Benefits & Economic Aspects*, Jan. 2004.
- [12] ABB, *Controlled Switching, Buyer's & Application Guide*, 3rd ed. Ludvika, Sweden, Apr. 2009.
- [13] J. E. Beehler, "Weather, Corona, and the Decay of Trapped Energy on Transmission Lines," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. 83, no. 5, pp. 512-520, May 1964.
- [14] A. Clerici, G. Ruckstuhl e A. Vian, "Influence of Shunt Reactors on Switching Surges," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-89, no. 8, pp. 1727-1736, Nov. 1970.
- [15] A. D'ajuz, C. S. Fonseca, F. M. S. Carvalho, J. A. Filho, L. E. N. Dias, M. P. Pereira, P. C. V. Esmeraldo, R. Vaisman e S. d. O. Frontin, *Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamentos - Aplicação em Sistemas de Potência de Alta-Tensão*, Rio de Janeiro: FURNAS, Universidade Federal Fluminense/EDUFF, 1987.
- [16] K. M. C. Dantas, "Chaveamento Controlado Aplicado ao Religamento Rápido de Linhas de Transmissão," Tese (Doutorado), Universidade Federal de Campina Grande, 2012.
- [17] K. Dantas, W. Neves e D. Fernandes, "An approach for controlled reclosing of shunt-compensated transmission lines," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 3, pp. 1203-1211, Jun. 2014.
- [18] T. Gönen, *Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design*. 2nd, Boca Raton, FL - USA: CRC Press, 2009.
- [19] M. R. Spiegel, J. Schiller e R. A. Srinivasan, *Probability and Statistics*, New York - USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2001.
- [20] THE MATHWORKS, INC, *Curve Fitting Toolbox User's Guide*, [S.l.], 2007.
- [21] K. M. C. Dantas, D. Fernandes Jr., W. L. A. Neves, B. A. Souza e L. C. A. Fonseca, "Mitigation of Switching Overvoltages in Transmission Lines via Controlled Switching," *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Pittsburgh, Pennsylvania - USA, Jul. 2008.
- [22] R. C. F. Gregory, "Análise Computacional do Desempenho de Estratégia para o Religamento Controlado de Linhas de Transmissão," Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.