

Aplicação e Comissionamento de Relés de Sobrecorrente

Letícia Cristina Fenalte, Carlos Lázaro Menço, Aécio de Lima Oliveira
Centro de Excelência em Energia e Sistemas de Potência (CEESP)
Universidade Federal de Santa Maria
Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil
Email: leticiafenalte7@gmail.com

Resumo — O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para dimensionamento do sistema de proteção de sobrecorrente em um sistema elétrico de potência (SEP) e realizar o comissionamento de relés digitais a partir dos dados obtidos de simulação de faltas. Neste sentido, foi elaborado um roteiro para validação e comparação dos resultados obtidos por meio da análise dos tempos de resposta do sistema de proteção no *software PowerFactory DIGSILENT* e de relés digitais comerciais utilizando um testador universal de relés. Os resultados obtidos em um sistema radial mostram que os erros dos tempos de operação do relé são menores que 4% para a maior parte das faltas analisadas.

Keywords— Proteção de sistemas elétricos, relé de sobrecorrente, comissionamento de relés, coordenação, simulação de faltas.

I. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um recurso essencial na vida das pessoas atualmente. Antes de chegar às nossas casas, ela passa por um processo de geração, transmissão e distribuição. Para que isso ocorra de uma maneira eficiente e com a menor quantidade de falhas possíveis, é necessário que o planejamento, a operação e proteção do sistema elétrico sejam previamente estudados e simulados afim de analisar o comportamento dos equipamentos em condições normais e no caso de perturbações como curto-circuito, por exemplo. [1]

A aplicação de relés digitais multifuncionais para proteger componentes do SEP é uma prática de utilidade comum. Esses relés fornecem não apenas uma função de proteção, mas uma gama de funções, tais como: sobrecorrente, sobrecorrente direcional, diferencial, distância, etc. Por outro lado, o avanço tecnológico aumenta a complexidade da lógica de proteção, sendo necessário um engenheiro para realizar um comissionamento correto da função que se pretende empregar. Os autores em [2] desenvolveram procedimentos para comissionamento documentando as etapas com capturas da tela do relé comercial utilizado. Já em [3] é ressaltada a importância do comissionamento para os relés digitais e traz a alternativa de testes automatizados para verificação dos ajustes. Os autores em [4] apresentam informações gerais sobre as características dos curtos-circuitos e dos sistemas de sobrecorrente, com ênfase na simulação de faltas. O trabalho [5] exhibe como utilizar o arquivo COMTRADE para comissionar relés de proteção, utilizando como exemplo para validação do trabalho a proteção diferencial, ressaltando a importância dos ensaios com COMTRADE para testar eventos reais do sistema, além disso, trabalha com a mala de testes OMICRON para realização dos ensaios. Os autores em [6] utilizam dados de COMTRADE

para analisar a forma de onda da corrente de curto-circuito e apresenta as diferentes extensões geradas pelo COMTRADE, e os dados importantes que contém cada arquivo. Os autores em [7] discutem as funções gerais do *software DIGSILENT* nas áreas de sistemas elétricos de potência e análise de controle, além de apresentar um roteiro de procedimentos para realização do estudo de proteção validando a efetividade da ferramenta de simulação nessa análise.

Com base nisso, o presente trabalho tem por objetivo aplicar a teoria da proteção de sobrecorrente em um sistema-teste, realizando cálculos teóricos, simulações e ensaios práticos, tendo como resultados a validação da teoria aplicada a prática, contribuindo para os estudos de coordenação e comissionamento de relés de sobrecorrente.

II. PROTEÇÃO DE SOBRECORRENTE

Quando a corrente de curto-circuito atinge um valor igual ou superior à corrente de ajuste (*pick up*) do relé de sobrecorrente, este atua e envia um sinal (*trip*) para abertura do disjuntor, isolando a seção em falta do sistema de potência. A atuação do relé deve ser coordenada de maneira a evitar disparos indevidos. As equações utilizadas para os cálculos de ajustes dos relés temporizados (função ANSI 51) e instantâneos (função ANSI 50), bem como os critérios para dimensionamento dos transformadores de corrente (TCs) e os estudos de coordenação dos relés serão vistos a seguir considerando esquema de proteção da Figura 1. Nesta figura, também estão indicados os pontos de falta A e B que serão utilizadas nas equações de ajuste.

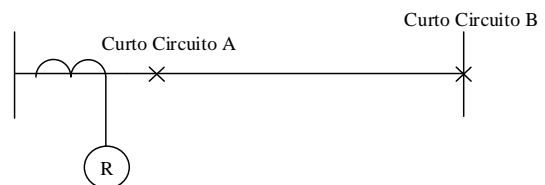


Fig. 1 – Esquema de proteção de sobrecorrente .

A. Dimensionamento dos TCs

Como os níveis de correntes em um SEP são elevados, é necessário que um TC reproduza as correntes do SEP (circuito primário) em seu circuito secundário, que irá energizar o relé. Pode-se adotar duas convenções para a corrente no circuito secundário do TC: o padrão europeu que utiliza 1 A e o padrão americano (adotado pelo Brasil) que emprega 5 A. Com isso, é preciso conhecer a relação de transformação do TC (RTC) que irá alimentar o relé para fazer o ajuste do pick-up. De acordo

com [8], a determinação da RTC deve atender os seguintes critérios:

- Critério 1 – A corrente primária do TC (I_1) deve ser maior ou igual que a razão entre a corrente de curto-circuito máximo, no ponto em que o TC foi instalado, e o fator de sobrecorrente (FS) do TC, conforme a inequação (1).

$$I_1 \geq \frac{I_{ccMáx}}{FS} \quad (1)$$

em que FS é igual a 20, conforme norma ANSI [9].

- Critério 2 - A corrente I_1 deve ser maior ou igual a corrente máxima de carga do trecho em que o TC está instalado (2).

$$I_1 \geq I_{Carg aMáx} \quad (2)$$

Assim, a corrente I_1 é a corrente de maior valor resultante nos dois critérios. A NBR 6856 da ABNT estabelece as correntes primárias admissíveis no TC. Dessa forma, a RTC é obtida por meio da seguinte equação:

$$RTC = \frac{I_1}{I_2} \quad (3)$$

em que I_2 é a corrente secundária do TC [9].

B. Ajuste da corrente de atuação para função 51 temporizada de fase

De acordo com [8], para garantir segurança e adequada proteção, de modo que o relé seja ajustado para detectar todas as possíveis correntes de curto-circuito no trecho ao qual está inserido, a corrente de ajuste deve cumprir a inequação (4).

$$\frac{FFxI_{Carg aMáx}}{RTC} \leq I_{Pickup} \leq \frac{I_{ccMínB}}{F_{Seg} x RTC} \quad (4)$$

Em (4), a corrente de carga máxima ($I_{cargaMáx}$) se refere a corrente máxima do trecho que o relé irá proteger. O fator FF (fator de folga) é inserido para disponibilizar ‘folga’ para eventuais manobras na rede elétrica, a fim de que o relé não opere. Esse fator pode variar de 1,5 a 2. Já o fator F_{Seg} (fator de segurança) é utilizado para garantir que a menor corrente de curto circuito seja de 1,5 a 3 vezes maior que o limiar de operação. Como deve ser utilizada a corrente de curto circuito mínima no final do trecho protegido (por exemplo, no ponto B da Figura 1), se faz o uso da equação (5) para encontrar a corrente mínima, pois o curto circuito bifásico é o menos severo.

$$I_{cc2F} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{cc3F} \quad (5)$$

Desse modo, deve-se escolher a corrente de ajuste do relé o mais próximo da limitação inferior da inequação (4), para que

o mesmo tenha mais sensibilidade na sua atuação e um maior alcance de proteção.

C. Ajuste da corrente de atuação para função 51 temporizada de neutro

A proteção de neutro é necessária em sistemas que possuem correntes que geram componentes de sequência zero. A corrente que atravessa o relé de neutro é muito pequena pois, em condições normais, as correntes de fase no sistema elétrico estão equilibradas ou apresentam um pequeno grau de desequilíbrio. E essa corrente de desequilíbrio que irá sensibilizar os relés de neutro. A corrente de ajuste dos relés de neutro deve satisfazer a inequação (6). [8]

$$\frac{FDxI_{Carg aMáx}}{RTC} \leq I_{Pickup} \leq \frac{I_{cc1FMínB}}{F_{Seg} x RTC} \quad (6)$$

Em (6), o fator FD (fator de desequilíbrio) se refere ao percentual de desequilíbrio e deve estar contido numa faixa de 0,05 a 0,45. Geralmente, F_{Seg} é igual ao adotado no relé 51 de fase. A corrente de curto circuito monofásica mínima é calculada considerando a impedância de contato de 40 Ω a 100 Ω , dependendo do padrão adotado pela concessionária. Desse modo, deve-se escolher a corrente de ajuste do relé o mais próximo da limitação inferior da inequação (6).

D. Ajuste da corrente de atuação para a função 50 instantânea de fase

Os relés instantâneos, como o nome já sugere, atuam “instantaneamente” para qualquer corrente de curto circuito maior que o seu ajuste. O termo instantâneo é por não haver um atraso intencional na atuação como nos relés temporizados. Porém, não são de fato instantâneos, pois seu tempo de atuação depende do projeto, tipo e fabricação do relé. Sendo assim, para que não haja sobreposição de zonas de atuação, deve ser realizado o critério de uso da unidade 50 (7) e, se necessário o uso desse relé, realizar os cálculos de critérios de ajuste da corrente de atuação (8) e (9). [8]

- Critério de uso:

$$I_{ccMáxA} > 2,5xI_{ccMáxB} \quad (7)$$

- Ajuste da corrente de Pick-up:

$$I_{Pickup} > (1,1 - 1,3)xI_{ccMínB} \quad (8)$$

$$I_{Pickup} > 8xI_{Nominal} \quad (9)$$

A constante da equação (8) é para que não haja disparo indevido no caso de curto circuito assimétrico. A equação (9) é utilizada quando há transformador no trecho protegido pelo relé, no caso de *Inrush*. Desse modo, seleciona-se o maior valor de corrente obtida em (8) e (9) para a corrente de ajuste do relé.

E. Escolha das curvas dos relés temporizados

Para a determinação do tempo de atuação dos relés 51, faz-se necessário a escolha da curva de atuação que depende das condições do sistema elétrico. As curvas são definidas pela norma IEC e podem ser visualizadas na Figura 2.

A escolha do grau de inclinação da curva é determinada pelos comprimentos das linhas que serão protegidas. Cada modelo de curva possui uma equação com coeficientes que diferem entre si. Contudo, o múltiplo M é calculado da mesma maneira para todas, conforme a equação (10).

$$M = \frac{I_{op}}{RTC \times I_{Pickup}} \quad (10)$$

em que I_{op} é a corrente de curto-circuito no final do trecho protegido.

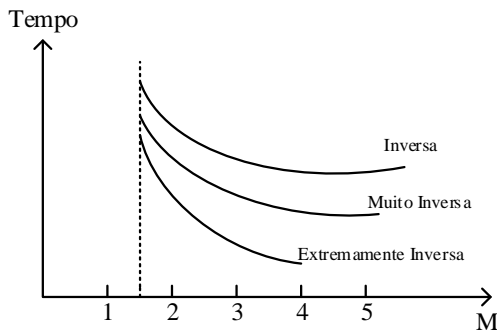


Fig. 2. Curvas definidas pela IEC [10].

F. Coordenação dos relés de sobrecorrente

A coordenação dos relés de sobrecorrente de um sistema elétrico de potência segue a filosofia de proteção principal e retaguarda. Dessa maneira, a corrente de atuação do relé sempre será ajustada para o curto circuito no final do trecho protegido. Assim, o relé R é responsável pela proteção principal do curto circuito em A e também pela proteção retaguarda para o curto circuito em B, conforme a figura 1.

III. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia empregada neste trabalho foi dividida em etapas e pode ser vista na Figura 3. Inicialmente, são realizados cálculos teóricos de correntes de curto circuito trifásicos, de dimensionamento de transformadores de corrente e ajustes dos relés de sobrecorrente do sistema de potência. Posteriormente, o mesmo sistema é analisado em um *software* de simulação de transitórios eletromagnéticos (EMTP, do inglês *Electromagnetic Transients Program*). Na parametrização da proteção de sobrecorrente do sistema são utilizadas as RTCs e os ajustes dos relés obtidos nos cálculos teóricos. Após isso, é realizada a simulação das faltas de três maneiras: estática, dinâmica-RMS e dinâmica-instantânea.

Os resultados obtidos nessas duas etapas são comparados para validar os tempos de atuação dos relés. Após, são gerados e exportados os arquivos no formato COMTRADE das correntes

de curtos-circuitos em cada trecho simulado no *software* para implementação prática do trabalho.

De posse dos arquivos COMTRADE, é possível realizar o ensaio de relés comerciais utilizando um o *Testador Universal Hexafásico e Analisador de Energia Microprocessado com protocolo IEC 61850 (mala de testes de relés hexafásica) Conprove CE6006*. Os relés comerciais são configurados com os mesmos ajustes utilizados no *software PowerFactory DIgSILENT* versão 15.0. Após a realização dos ensaios, são realizadas análises comparativas dos ajustes e tempos obtidos nas três etapas.

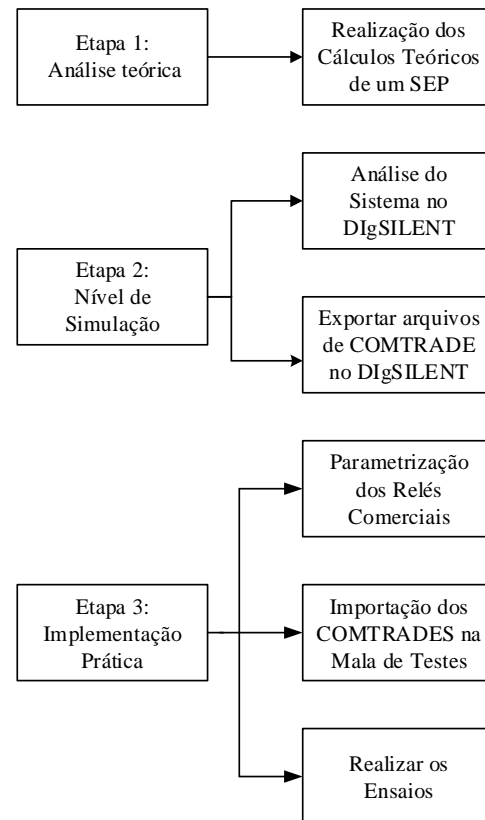


Fig. 3. Fluxograma da metodologia proposta.

A. Software e equipamentos utilizados

1) *PowerFactory DIgSILENT*: é um *software* utilizado na análise de SEPs e sistemas industriais. O programa tem uma interface computacional gráfica que permite a construção de sistemas elétricos em diagramas unifilares. Para este trabalho, foram utilizadas as ferramentas de curtos-circuitos, simulações estáticas e dinâmicas e blocos de proteção de sobrecorrente. [11]

2) *Testador Universal Hexafásico e Analisador de Energia Microprocessado com protocolo IEC 61850 (mala de testes de relés hexafásica) – CE 6006*: é um equipamento utilizado para testar, calibrar e aferir instrumentos como relés e medidores. Possui saídas hexafásicas de tensões e correntes que podem ser utilizadas em testes específicos de diferentes funções de proteção como: sobrecorrente, diferencial, distância, direcional e etc. [12]

3) *Relé Pextron URP 6000-5*: é um relé digital de proteção multifuncional que possui funções como: sub/sobrecorrente, sub/sobretensão, sobretensão residual, desequilíbrio de corrente e etc. A porta USB frontal do relé é utilizada para comunicar com o *software* disponibilizado pelo fabricante para parametrização, monitoramento, oscilografia e acesso a memória. [13]

B. Parametrização e simulação do sistema-teste

Na etapa 1, tem-se a realização dos cálculos teóricos do sistema-teste, que está ilustrada no fluxograma da Figura 4.

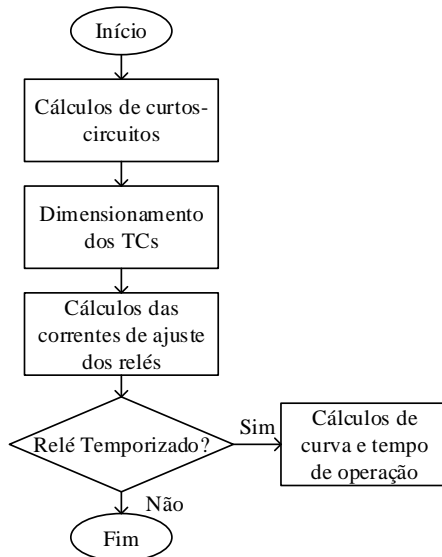


Fig. 4. Fluxograma da Etapa 1.

Primeiramente, foram calculados os curtos-circuitos nos pontos de falta (f1-f5). Após, foram dimensionados os TCs, com base nas inequações (1) e (2). Posteriormente, as correntes de ajuste dos relés foram calculadas utilizando as inequações (4), (6), (8) e (9). Para os relés temporizados, foram realizados os cálculos de coordenação para encontrar as curvas e os tempos de operação, utilizando a equação (11).

Após os cálculos teóricos, é realizada a Etapa 2 em que foi utilizado o *DIGSILENT* para simulação do sistema-teste. A Figura 5 apresenta o procedimento de simulação realizado.

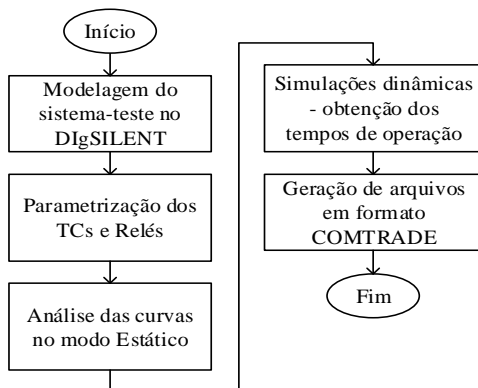


Fig. 5. Fluxograma da Etapa 2.

Inicialmente, foi necessário modelar o sistema-teste no *software*. Após isso, foram parametrizados os TCs com os valores de RTC e os relés com as correntes de ajuste e as curvas. Posteriormente, foi realizada a análise das curvas no modo estático para verificar a existência de erros nos cálculos de ajustes dos relés. A seguir, foram realizadas simulações dinâmicas para obter os tempos de operação dos relés. Com a simulação dinâmica no modo instantâneo, foram gerados os arquivos de COMTRADE nos trechos onde existem os curtos-circuitos para inserir os arquivos na mala de testes e executar os ensaios práticos.

C. Ensaios práticos

Os ensaios práticos correspondem a etapa 3 e foram executados na mala de testes utilizando os relés Pextron. A Figura 6 mostra as etapas realizadas.

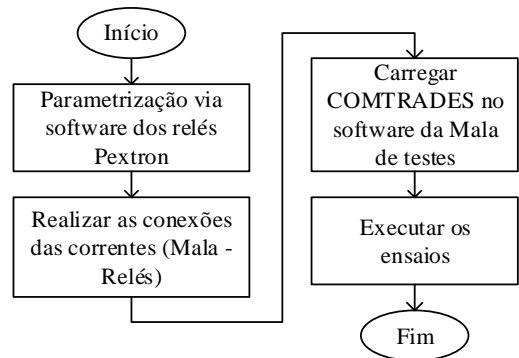


Fig. 6. Fluxograma da Etapa 3.

Primeiramente, foram parametrizados os relés Pextron com os ajustes encontrados nos cálculos anteriores, utilizando o software disponibilizado pelo fabricante. Após, foi necessário fazer as conexões de injeção de correntes da mala de testes para os relés, como mostrado na figura 7.

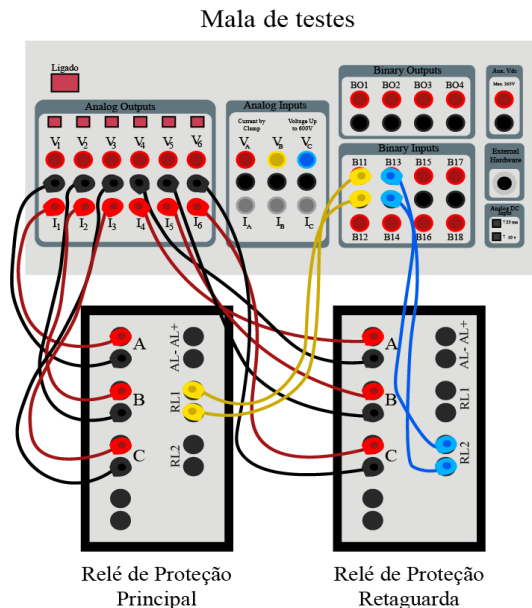


Fig. 7. Conexões para injeção de correntes.

Por último, no *software* da mala de testes foram carregados os arquivos em COMTRADE e executados os ensaios para obtenção dos tempos de operação dos relés.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de potência da figura 8 foi utilizado nos testes comparativos. O sistema é composto de cinco barras (B1-B5), duas linhas de transmissão uma de 138 kV e a outra de 13,8 kV, dois transformadores (T1-T2), um motor de indução e 3 cargas (C1-C3). As cinco faltas existentes estão indicadas (f1 – f5). Os dados nominais do sistema são apresentados no Apêndice A.

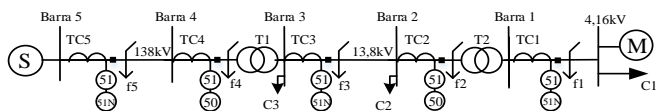


Fig. 8. Sistema teste.

Para validação da metodologia deste trabalho (teoria, simulação e prática) as comparações realizadas se referem, dessa maneira, as três etapas e podem ser visualizadas a seguir.

A. Comparação dos valores de curto-circuitos

Na tabela I, encontram-se os valores das correntes de curto-circuito (I_{cc}) calculadas e simuladas no *DIGSILENT*. As faltas f1 – f5 estão identificadas na figura 8. Nos trechos f2 e f4 não existem faltas monofásicas por não haver componentes de sequência zero, pelo fato das ligações dos transformadores T1 e T2.

TABELA I. VALORES DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

Falta	Tipo de falta	I_{cc} calculada (A)	I_{cc} simulada (A)
f1	Trifásica	4488,0730	4452,1467
	Monofásica	5254,4426	5219,1874
f2	Trifásica	3039,473	3014,4151
	Monofásica		
f3	Trifásica	4137,8380	4116,3917
	Monofásica	4676,2171	4655,5691
f4	Trifásica	1153,5602	1153,4852
f5	Trifásica	3346,6528	3346,9569
	Monofásica	3346,6528	3347,0062

Como pode-se perceber, os valores calculados e simulados são bem próximos. O maior erro identificado foi para os valores da falta 2 de 0,831%.

B. Comparação dos tempos de operação para faltas trifásicas

Na tabela II são apresentados os tempos de operação do relé de sobrecorrente obtidos de forma teórica ($t_{calculado}$), por meio de simulação instantânea no *DIGSILENT* ($t_{simulado}$) e por meio de ensaios práticos (t_{real}), para as faltas trifásicas (f1-f5). Analisando os dados da tabela II, percebe-se que o maior erro obtido é nas comparações dos relés 50, como pode-se visualizar na tabela III.

TABELA II. TEMPOS DE OPERAÇÃO DA PROTEÇÃO PARA FALTAS TRIFÁSICAS

Falta	Relé	Tempo de operação (s)		
		$t_{calculado}$	$t_{simulado}$	t_{real}
f1	51-1	0,5079	0,517834	0,51172
	51-2	0,8079	0,912468	0,91000
f2	50-2	0,0200	0,023915	0,02886
	51-2	0,5597	0,581095	0,57166
f3	51-3	0,8597	0,865477	0,85757
	51-4	1,0289	1,022000	1,02000
f4	50-4	0,0200	0,024652	0,02183
	51-4	0,6016	0,599329	0,59394
f5	51-5	0,9016	0,917679	0,92000
	51-5	0,6352	0,748695	0,62835

TABELA III. ERROS RELATIVOS PERCENTUAIS OBTIDOS NOS RELÉS 50

Relé	$t_{teórico}/t_{real}$	$T_{simulado}/t_{real}$	$t_{teórico}/t_{simulado}$
50-2	44,30%	20,68%	19,58%
50-4	9,15%	11,45%	23,26%

Ao comparar os valores dos tempos de atuação dos relés instantâneos nas três etapas, resultou em erros relativos consideráveis. Por exemplo, nos cálculos teóricos considera-se um tempo de atuação de 0,02s. Contudo, nas outras etapas isso não é verdadeiro, visto que, tanto na simulação quanto na prática, os modelos de relés utilizados possuem algoritmos próprios para o tempo do relé 50, os quais não é possível obter acesso.

A partir dos resultados dos relés 51-5 é possível calcular os erros relativos deste relé, o qual pode ser visto na Tabela IV.

TABELA IV. ERROS RELATIVOS PERCENTUAIS EM RELÉS 51-5

Relé	$t_{teórico}/t_{real}$	$T_{simulado}/t_{real}$	$t_{teórico}/t_{simulado}$
51-5	1,08%	16,07%	17,87%

Entre cálculo teórico e ensaios práticos não se observou erros consideráveis. Entretanto, nas comparações com a simulação existem erros significativos e a explicação para tal é a componente assimétrica. Um curto circuito próximo a barra de geração possui uma elevada componente de assimetria. Os demais casos tiveram erros menores que 4%.

C. Comparações dos tempos de atuação para faltas monofásicas

Na tabela V, tem-se os valores de cálculos teóricos, simulação instantânea com *DIGSILENT* e de ensaios práticos dos tempos de atuação para as faltas monofásicas (f1-f5).

Observando os resultados, os tempos dos relés 51 de fase para as faltas monofásicas não tiveram erros relativos relevantes. Contudo, para as atuações dos relés 51 de neutro, as comparações com a simulação resultaram em erros relativos consideráveis. Isso, deve-se ao mesmo fato dos relés 50, os modelos de relés utilizados possuem algoritmos próprios para o tempo do relé de neutro, os quais não é possível obter acesso no *DIGSILENT*.

TABELA V - TEMPOS DE OPERAÇÃO DA PROTEÇÃO PARA FALTAS MONOFÁSICAS

Falta	Relé	Tempo de operação (s)		
		$t_{calculado}$	$t_{simulado}$	t_{real}
f1	51-1	0,4565	0,469759	0,4669
	51N-1	0,1565	0,227203	0,15516
f3	51-2		1,148	1,16
	51-3	0,6853	0,683449	0,66964
f5	51N-3	0,3853	0,58998	0,38552
	51-4		1,32	1,32
	51-5	0,6352	0,748595	0,71749
	51N-5	0,3352	0,658001	0,38861

V. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia para o ajuste e coordenação do sistema de proteção de sobrecorrente de um SEP e para o comissionamento de relés digitais. A partir de um sistema teste e com o intuito de validar os resultados teóricos oriundos das equações de ajuste dos relés, foi realizada a simulação da proteção de sobrecorrente no *DIgSILENT* e a comparação dos tempos de operação da proteção no *software* com os tempos obtidos no ensaio experimental com um relé de sobrecorrente da Pextron e o testador universal de relés. Os resultados mostram que, os tempos de operação obtidos na teoria, simulação e prática possuem erros relativos percentuais menores que 4%, salvo em alguns casos em que foram obtidos erros significativos, mas justificáveis. Para os relés 50 e 51N, os erros estão associados ao algoritmo do modelo dos relés no *DIgSILENT*. Já para o relé 51-5, como tem-se um curto-circuito próximo a barra de geração, o erro surge por existir uma alta componente assimétrica.

APÊNDICE A – Dados nominais do sistema-teste da figura 8.

O sistema S: possui a ligação estrela aterrado e curto-circuito trifásico equivalente na barra 5 de potência 800 MVA e

$$\frac{X_s}{R_s} = 15.$$

O motor equivalente M: 2000HP; 4,16kV; Fator de potência 0,92; Rendimento 0,90. A contribuição do motor nas correntes de curto-circuito não é significativa.

As cargas: $C_1 = 3\text{MVA}$; $C_2 = C_3 = 5\text{MVA}$; Fator de potência 0,92i.

Os transformadores possuem ligação delta-estrela aterrado: $T_1 = 138-13,8\text{kV}; 15\text{MVA}$; $X_0 = X_1 = X_2 = 0,10\text{pu}$; $T_2 = 13,8-4,16\text{kV}; 4\text{MVA}$; $X_0 = X_1 = X_2 = 0,07\text{pu}$. Sobrecarga máxima de 25%.

As linhas de transmissão são da configuração simplificada: a linha de 13,8kV $Z_1 = Z_2 = 0,5 + j0,6\Omega$, $Z_0 = 1,5 + j1,8\Omega$; a linha de 138kV $Z_1 = Z_2 = 25 + j40\Omega$, $Z_0 = 75 + j120\Omega$.

Os relés 51 de fase e 51 de neutro são relés numéricos com curvas Normalmente Inversa (NI), Norma IEC/BS, dada pela equação (11).

$$T_{operação} = \left(\frac{0,14}{M^{0,02} - 1} \right) \times C_{51} \quad (11)$$

A escolha das correntes de ajuste dos relés 50 devem variar em uma faixa de 0,25 a 100 A em passos de 0,25 A.

A escolha das correntes de ajuste dos relés 51 de fase devem variar em uma faixa de 0,25 a 16 A em passos de 0,25 A.

A escolha das correntes de ajuste dos relés 51 de neutro devem variar em uma faixa de 0,15 a 6 A em passos de 0,15 A.

A coordenação dos relés deve ser realizada usando tempo de coordenação de 0,3s.

Para os cálculos, adotou-se uma base de 15 MVA e 138 kV no sistema S.

REFERÊNCIAS

- [1] A.Monticelli e A.Garcia, Introdução a Sistemas de Energia Elétrica, 1ª ed., Vol 1, São Paulo:Editora Unicamp, 2003.
- [2] C. J. Mozina, "Application and commissioning of multifunction digital transformer relays", in Proceedings of IEEE Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, pp. 444-448, July, 2005.
- [3] S. Turner, "Testing numerical transformer differential relays", in Proceedings of 64th Annual Conference for Protective Relay Engineers, pp. 251-256, October, 2011.
- [4] A. L. V. Almeida, Ajuste e Coordenação de Relés de Sobrecorrente, Trabalho de Conclusão de Curso, Rio de Janeiro:UFRJ, 2008.
- [5] S. Turner, "Using COMTRADE records to commission protection", in Proceedings of PES T&D 2012, pp. 1-8, October, 2012.
- [6] Y Yang, C.B. Su, H. X. Wang, Y.F Gong, Y. B. Yuan and L. Gao, "Analysis and extration of Comtrade based data in short-circuit fault", in International Conference on Renewable Power Generation (RPG 2015), pp. 1-4, October, 2015.
- [7] Jisng Liu, Junyuy Zhang, Ping Ling, Weinjing Tao, "Study of Relay Protection Modeling and Simulation on the Basis of DIgSILENT", in 2017 IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), pp. 1-5, November, 2017.
- [8] G. Kindermann, Proteção de Sistemas Elétricos de Potência, 2ª ed., vol. 1, Florianopolis:Editora UFSC, 1999.
- [9] American National Standards Institute ANSI C 57.13, "Guide for Field Testing of Relaying Current Transformers", 1993.
- [10] International Electrotechnical Commission IEC 60255-151 Ed.1.0, "Measuring relays and protection equipment", 2009.
- [11] DIgSILENT PowerFactory Version 15.0 BETA, User Manual, 1ª ed., Gomarigen/Germany: DIgSILENT GmbH, November, 2012.
- [12] CONPROVE, Manual de Operação – EQUIPAMENTOS DE TESTES FAMÍLIAS 600X-67XX-70XX. Disponível em: <http://www.conprove.com.br/pub/tutoriais.html>. Acesso em: Abr, 2018.
- [13] PEXTRON, URP600X – Manual. Disponível em: <http://www.pextron.com.br/downloads/manuaisapplicativos/cat_view/9-manuais/27-paralelismo--transferencia-em-rampa.html>. Acesso em: Abr, 2018.