



**XXI SNPTTE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0  
23 a 26 de Outubro de 2011  
Florianópolis - SC

**GRUPO -V**

**GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS DE POTÊNCIA-  
GPC**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE RELÉ DE SOBRECORRENTE DE TEMPO INVERSO COM RESTRIÇÃO DE  
TENSÃO EM PROGRAMA DE TRANSITÓRIOS ELETROMECAÑICOS**

**Newton José de Salles(\*)  
CPFL Paulista**

**Walmir de Freitas Filho  
FEEC/UNICAMP**

**RESUMO**

O Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos – ANATEM do CEPEL é uma das ferramentas mais utilizadas em estudos de estabilidade de sistemas elétricos de potência. O comportamento de relés de proteção, particularmente aqueles que são influenciados pela dinâmica de máquinas síncronas, pode ser avaliado com o programa ANATEM. Dispondo de uma biblioteca de modelos predefinidos de relés, o programa ainda conta com a possibilidade de o usuário desenvolver seus próprios modelos com a aplicação dos Controladores Definidos pelo Usuário – CDUs. Neste contexto, este trabalho apresenta um modelo de relé de sobrecorrente com restrição de tensão para uso com o programa ANATEM.

**PALAVRAS-CHAVE**

Relé de Proteção, Sobrecorrente, Restrição de Tensão, Transitórios Eletromecânicos, ANATEM

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O programa ANATEM possui uma grande variedade de modelos de relés de proteção, destacando-se o modelo de relé de sobrecorrente para a abertura de circuitos de corrente alternada, que possui uma característica de operação de tempo definido, portanto, independente da magnitude da corrente. Todavia, os relés de sobrecorrente utilizados para proteção de máquinas síncronas e outros equipamentos de potência requerem uma característica de tempo inverso, não disponível na biblioteca de modelos do programa ANATEM. O programa, entretanto, por possuir uma ampla gama de blocos de funções de controle e operadores aritméticos e lógicos, permite o desenvolvimento de diversos tipos de modelos. A construção de um modelo de relé de sobrecorrente de tempo inverso com restrição de tensão (ANSI 51V) mostra que é possível entender a aplicação do programa ANATEM na modelagem de relés. A modelagem por CDU permite que uma dentre várias curvas tempo-corrente definidas nas normas IEC ou IEEE (inversa, muito inversa, extremamente inversa e inversa de tempo longo) sejam escolhidas pelo usuário.

Os relés digitais de sobrecorrente são classificados de acordo com sua característica tempo-corrente e segundo a norma IEC 60255-3. Nos relés com característica de tempo inverso, o tempo de atuação é inversamente proporcional à corrente. A Figura 1 apresenta as características tempo-corrente normalizadas para os relés de sobrecorrente de tempo inverso, segundo a norma IEC 60255-3.

O relé instantâneo é assim denominado porque não introduz temporização intencional quando se atinge o limiar da corrente de disparo. Sua atuação apresenta apenas uma temporização inerente, que depende da tecnologia e da construção do relé. Nos relés digitais de sobrecorrente, o relé com característica de tempo inverso é representado por um ou mais elementos de tempo inverso; o relé instantâneo, por um ou mais elementos instantâneos; o relé de tempo definido, por um ou mais elementos de tempo definido, com um tempo de atuação constante para qualquer corrente acima do ajuste da corrente de operação.

(\*) Rodovia Campinas Mogi-Mirim, km 2,5 – Bloco 3 – 3º andar – CEP 13088-900 Campinas, SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3756-8516 – Fax: (+55 19) 3756-8212 – Email: njsalles@cpfl.com.br

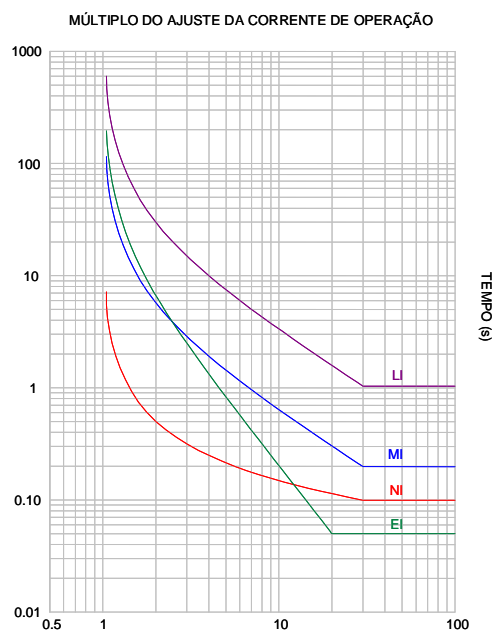


FIGURA 1 – Curvas Tempo x Corrente Padrão IEC

## 2.0 - RELÉS DIGITAIS DE SOBRECORRENTE

As curvas tempo-corrente nos modernos relés digitais de sobrecorrente são mais flexíveis e descritas por equações. É possível escolher um tipo de curva dentre muitas normalizadas (norma IEC ou IEEE/US) através da seleção da equação desejada. Conhecendo a corrente que circula pelo relé, o ajuste da corrente de operação (*pickup*) e o ajuste da curva de tempo, pode-se calcular o múltiplo da corrente de operação e, portanto, o tempo de atuação do relé. A equação normalizada para o cálculo do tempo de atuação do relé digital de sobrecorrente de tempo inverso é a seguinte:

$$t = \frac{\beta \cdot D}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^\alpha - 1} + L \cdot D \quad (1)$$

Sendo:

D = Dial de tempo.

$\beta$  = Coeficiente (vide Tabela 1).

I = Corrente passante no relé.

$I_p$  = Ajuste da corrente de operação.

$\alpha$  = Coeficiente (vide Tabela 1).

L = Coeficiente (vide Tabela 1).

TABELA 1 – Coeficientes da Equação Tempo x Corrente Normalizada

| Tipo de Curva          | Norma       | $\beta$ | $\alpha$ | L      |
|------------------------|-------------|---------|----------|--------|
| Normal Inversa         | IEC 60255-3 | 0,14    | 0,02     | 0      |
| Muito Inversa          |             | 13,5    | 1        | 0      |
| Extremamente Inversa   |             | 80      | 2        | 0      |
| Inversa de Tempo Longo |             | 120     | 1        | 0      |
| Moderadamente Inversa  | IEEE/US     | 0,0104  | 0,02     | 0,0226 |
| Inversa                |             | 5,95    | 2        | 0,180  |
| Muito Inversa          |             | 3,88    | 2        | 0,0963 |
| Extremamente Inversa   |             | 5,67    | 2        | 0,0352 |

### 2.1 Deslocamento do Disco com Corrente de Magnitude Constante

Um relé de sobrecorrente temporizado, com um ajuste de corrente de operação ( $I_p$ ) e um dial de tempo ( $D$ ), possui uma curva característica de operação tal que seu tempo de atuação é diretamente proporcional à corrente aplicada. A característica de operação do relé é mostrada no diagrama tempo-deslocamento da Figura 2.

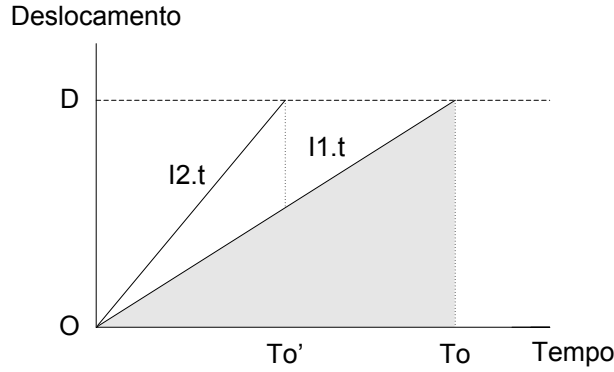


FIGURA 2 - Característica Tempo-Deslocamento de um Relé de Sobrecorrente Temporizado

A operação do relé é assim definida. Em  $t = 0$  s, o deslocamento do disco é zero. Quando é aplicada uma corrente maior que o ajuste da corrente de operação (*pickup*), o disco começa a avançar em direção ao dial de tempo ajustado, seguindo a característica tempo-deslocamento da Figura 2. Ao final do percurso do disco, quando o dial de tempo é alcançado e o contato de saída se fecha, é enviado um sinal de disparo para o respectivo disjuntor. A condição de operação é representada pela seguinte equação, sendo que  $T_o$  é o tempo de atuação:

$$\frac{I}{I_p} T_o = D \quad (2)$$

Esta equação pode ser normalizada, reconhecendo que  $I/I_p = M$  é o múltiplo da corrente de operação, como segue:

$$\frac{T_o}{D} = \frac{1}{M} \quad (3)$$

Finalmente, fazendo-se  $D/(I/I_p) = t(I)$ , tem-se:

$$\frac{T_o}{t(I)} = 1 \quad (4)$$

Neste caso,  $t(I)$  é uma simples função da corrente aplicada e do dial de tempo ajustado. Logo, basta conhecer o valor da corrente e o dial de tempo para determinar o tempo de atuação do relé.

### 2.2 Deslocamento do Disco com Corrente de Magnitude Variável

Quando a magnitude da corrente é variável, a taxa de deslocamento do disco varia com a magnitude da corrente. Portanto, para determinar com precisão o tempo de atuação, o relé precisa integrar os múltiplos segmentos de corrente até que o disco alcance o dial de tempo. A Figura 3 mostra as áreas que correspondem à integração dos três segmentos de corrente. A soma destas áreas representa o deslocamento total do disco.

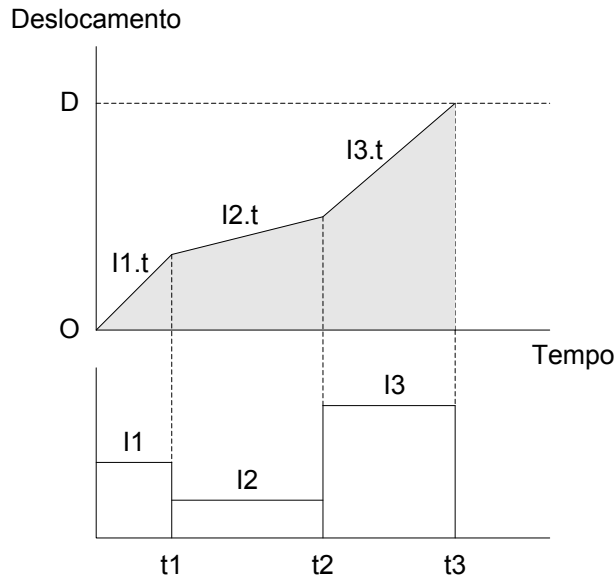


FIGURA 3 - Taxa de Deslocamento do Disco com Corrente de Magnitude Variável

Portanto, neste caso, a equação de atuação torna-se:

$$\int_0^{T_o} \frac{dt}{t(I)} = 1 \quad (5)$$

### 2.3 Equacionamento da Característica Temporizada em Relés Digitais

O exemplo apresentado na seção anterior mostrou o efeito de variar a corrente, em passos discretos e constantes, no deslocamento do disco de um relé, que possui uma curva característica cujo tempo de atuação é diretamente proporcional à corrente aplicada. Em relés digitais de sobrecorrente com característica de tempo inverso, definida nas normas IEC ou IEEE/US, o tempo de atuação ( $T_m$ ) pode ser obtido através da integração da equação normalizada (1). A integração se dá em intervalos finitos de tempo ( $m$ ), com duração  $\Delta t$ . Portanto, basta substituir a equação (1) na equação (5), lembrando-se que  $I = I(t)$  e  $I/I_p = M(t)$ :

$$\int_0^{T_m} \left[ \frac{\beta \cdot D}{[M(t)]^\alpha - 1} + L \cdot D \right]^{-1} dt > 1 \quad (6)$$

sendo que  $I$  é a magnitude do fasor da corrente que é calculada a cada ciclo de aplicação do algoritmo discreto de Fourier ou suas variações, e  $M(t)$  é o múltiplo do ajuste da corrente de operação ( $I_p$ ) do relé. A integração continua até que a equação (6) seja satisfeita. Neste momento, sabendo-se qual é o tamanho do passo de integração ( $\Delta t$ ) e o número de passos gastos ( $m$ ), o tempo de atuação ( $T_m$ ) é determinado.

## 3.0 - RELÉ DE SOBRECORRENTE COM RESTRIÇÃO DE TENSÃO

O relé de sobrecorrente temporizado com restrição de tensão (ANSI 51V) é aplicado em situações nas quais um simples relé de sobrecorrente temporizado (ANSI 51) não pode ser adequadamente ajustado como uma proteção de retaguarda para a eliminação de defeitos entre fases. A diferença entre um relé 51V e um relé 51 está no controle da corrente de operação do elemento de sobrecorrente temporizado, visto que no relé 51V a corrente de operação é uma função da tensão.

A característica de operação do relé 51V, conforme mostra a Figura 4, é obtida através da conexão trifásica do relé ao secundário dos transformadores de potencial, da mesma forma que um relé de sobrecorrente direcional de fase (ANSI 67) é conectado. Observa-se que a corrente de operação é proporcional à tensão para uma faixa específica de tensão, que está compreendida entre 25% e 100% da tensão nominal. Assim, nesta faixa, a corrente de operação é um múltiplo do ajuste de corrente do relé.

Para valores de tensão inferiores a 25% da tensão nominal, a corrente de operação é obtida multiplicando o ajuste de corrente por 0,25. Para valores de tensão superiores a 100% da tensão nominal, a corrente de operação é igual ao ajuste de corrente. Ao passo que, para valores de tensão entre 25% e 100% da tensão nominal, a corrente de operação é obtida multiplicando o ajuste de corrente pelo percentual de tensão.

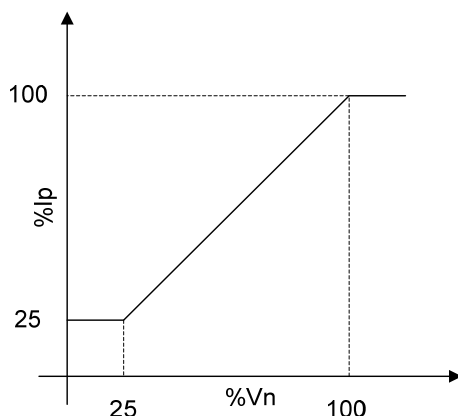


FIGURA 4 – Característica de Operação Corrente x Tensão do Relé 51V

### 3.1 Modelagem do Relé de Sobrecorrente com Restrição de Tensão no Programa ANATEM

A modelagem do relé de sobrecorrente com restrição de tensão no programa ANATEM foi realizada com a utilização do programa CDUEdit, também desenvolvido pelo CEPEL. O programa CDUEdit permite converter o diagrama de blocos representativo do modelo em um arquivo texto, segundo um formato que pode ser interpretado pelo programa ANATEM. A Figura 5 mostra que o diagrama de blocos do modelo é composto de blocos de entrada e saída, funções de transferência, funções matemáticas, operadores lógicos, constantes, limitadores e integradores. Os sinais (fasores de sequência positiva) de corrente e de tensão são obtidos de locais de medição da rede elétrica modelada através do programa ANAREDE, uma vez que é necessário um caso de fluxo de potência convergido para estabelecer as condições iniciais exigidas pelo programa ANATEM; portanto, o modelo do relé 51V é um modelo dito fasorial. Observa-se que os sinais de corrente ( $I_m$ ) e de tensão ( $V_t$ ) passam por filtros analógicos, com constantes de tempo ajustadas de modo a representar os atrasos de tempo envolvidos na etapa de conversão analógica-digital do relé digital. Os sinais de entrada C, DT e  $I_p$  representam os ajustes do tipo de curva normalizada, do dial de tempo e da corrente de operação, respectivamente.

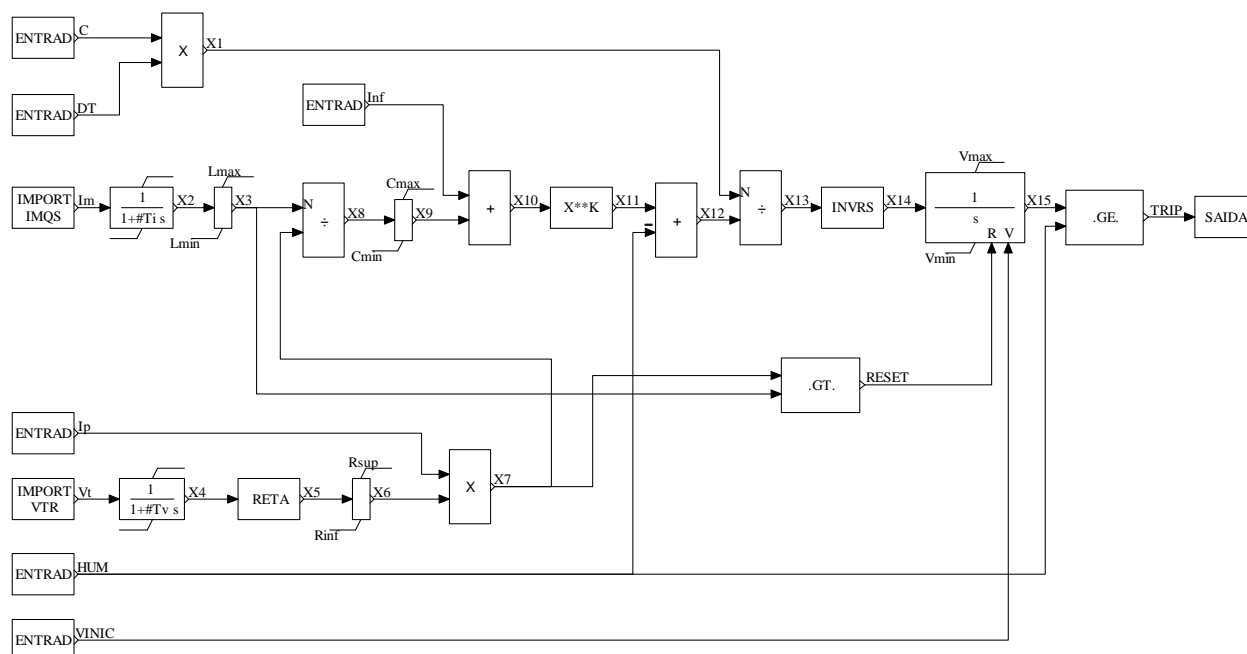


FIGURA 5 – Diagrama de Blocos do Modelo em CDU do Relé 51V

Os demais blocos de funções matemáticas, limitadores, operadores lógicos e integradores se encarregam de executar tanto o processamento da curva característica corrente-tensão da Figura 4 quanto o processamento da equação (6), responsável pelo equacionamento dos tipos de curvas normalizadas da Tabela 1.

A fim de validar a resposta do modelo, os tempos de atuação do modelo devem ser comparados com os tempos calculados através da equação normalizada (1). Para tanto, foram considerados os seguintes ajustes: corrente de operação de 1,0 p.u., curva de tempo muito inversa IEC e dial de tempo igual a 0,20. Com a aplicação de uma corrente de entrada de 2,0 p.u. e fixando a tensão de entrada em 0,25 p.u., 0,50 p.u. e 1,00 p.u., os múltiplos das correntes de operação são 8,0, 4,0 e 2,0, respectivamente. Os tempos de atuação medidos estão destacados na Figura 6; de cada um dos tempos medidos deve ser subtraído 1,0 s, instante em que a corrente é aplicada. Os tempos de atuação do modelo são então: 0,394 s (0,25 p.u.), 0,910 s (0,50 p.u.) e 2,714 s (1,00 p.u.), contra os tempos calculados: 0,386 s, 0,900 s e 2,700 s, mantidas as mesmas tensões. Os erros percentuais relativos entre os tempos medidos e os calculados são: 2,07% (0,25 p.u.), 1,11% (0,50 p.u.) e 0,52% (1,00 p.u.).

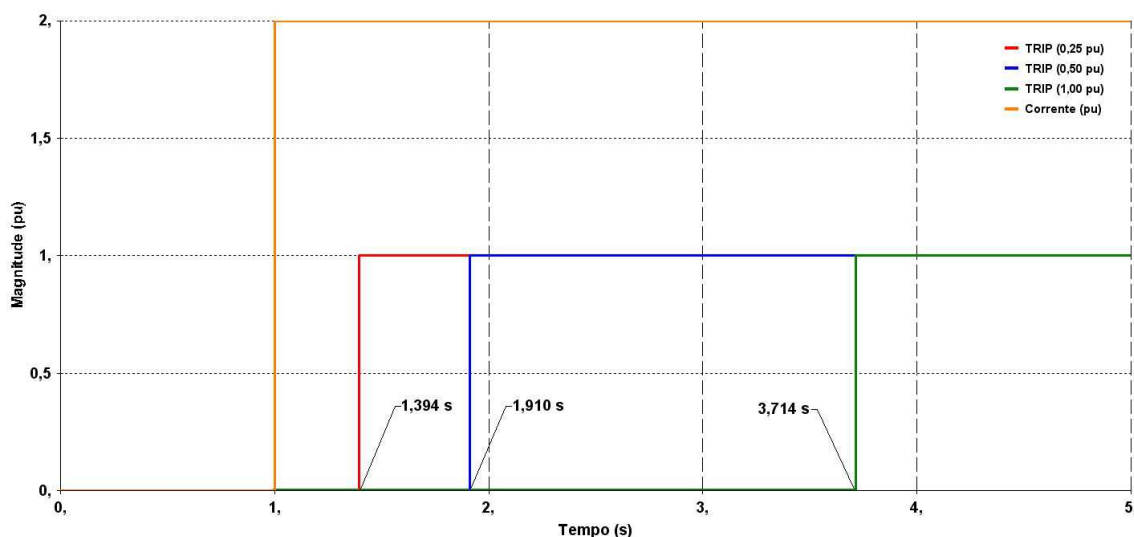


FIGURA 6 – Validação dos Tempos de Atuação do Modelo do Relé 51V

#### 4.0 - ANÁLISE DINÂMICA DO RELÉ DE SOBRECORRENTE COM RESTRIÇÃO DE TENSÃO

O comportamento dinâmico do modelo do relé 51V e sua interação com a dinâmica dos componentes do sistema elétrico foi avaliada servindo-se de uma rede elétrica em 138 kV da concessionária, a qual se conecta um Produtor Independente de Energia – PIE. A diagrama da Figura 7 é uma representação no programa ANAREDE da conexão do PIE, que mostra a máquina síncrona, as barras, as linhas, os transformadores, as cargas, os fluxos de potência ativa (MW) e reativa (MVar), e as tensões nas barras (p.u.). A conexão da máquina síncrona se dá através de um transformador de acoplamento de 20/25 MVA – 138/13,8 kV (Ynd1; 10% - 20 MVA) conectado entre as barras GER-138 e GER-13.8. O PIE gera 35 MW e exporta 20 MW para a concessionária, descontada sua demanda interna de 15 MW.

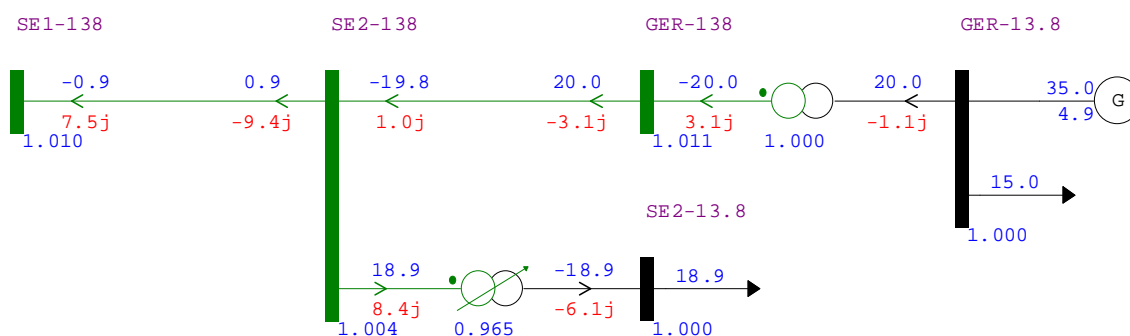


FIGURA 7 – Representação no Programa ANAREDE da Conexão do PIE

A LT 138 kV SE1-138 – SE2-138 (28,5 km;  $Z1 = 0,147360 + j0,471768 \Omega/\text{km}$ ;  $Y1 = 0,338914 \mu\text{S}/\text{km}$ ) e a LT 138 kV SE2-138 – GER-138 (38,2 km;  $Z1 = 0,208380 + j0,481601 \Omega/\text{km}$ ;  $Y1 = 0,346217 \mu\text{S}/\text{km}$ ) são suportadas por estruturas metálicas tipo K1. Entre as barras SE2-138 e SE2-13.8 está conectado um transformador de potência de 15/20 MVA – 138/13,8 kV (Dyn1; 8,5% - 15 MVA) da concessionária, que supre as cargas da rede de distribuição. O diagrama representativo da rede foi limitado à barra SE1-138, pois desta barra derivam outras linhas do sistema elétrico da concessionária; vale ressaltar que o caso base de fluxo de potência utilizado é uma representação completa do Sistema Interligado Nacional – SIN, disponível na base de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

Os parâmetros elétricos e mecânicos da máquina síncrona são os seguintes:  $S = 43,75 \text{ MVA}$ ;  $P = 35 \text{ kW}$ ;  $V_n = 13,8 \text{ kV}$ ;  $f = 60 \text{ Hz}$ ;  $n = 1800 \text{ rpm}$ ;  $X_d = 1,74 \text{ p.u.}$ ;  $X_q = 0,88 \text{ p.u.}$ ;  $X'_d = 0,26 \text{ p.u.}$ ;  $X''_d = 0,17 \text{ p.u.}$ ;  $X_2 = 0,18 \text{ p.u.}$ ;  $X_0 = 0,06 \text{ p.u.}$ ;  $X_l = 0,17 \text{ p.u.}$ ;  $R_a = 0,00063 \text{ p.u.}$ ;  $T'_{d0} = 7,57 \text{ s}$ ;  $T''_{d0} = 0,0097 \text{ s}$ ;  $T'_d = 1,15 \text{ s}$ ;  $T''_d = 0,0062 \text{ s}$ ;  $H = 6,05 \text{ s}$ .

O comportamento dinâmico do modelo do relé 51V é apresentado na Figura 8. O relé recebe o sinal de tensão da barra GER-13.8 e o sinal de corrente da armadura da máquina síncrona, mediante um código de execução que informa a localização de sinais para CDU. Os ajustes adotados foram considerados os seguintes: corrente de operação de 1,0 p.u., curva de tempo muito inversa IEC e dial de tempo igual a 0,50. Em primeira análise, foi aplicada uma falta trifásica na barra GER-138, no instante  $t = 1,0 \text{ s}$ , que não é eliminada durante todo o tempo de simulação; a ação de controle exercida pelo regulador de tensão da máquina síncrona não foi representada, por uma única razão, fazer com que a tensão nos terminais da máquina e a corrente da armadura não se sustentem, decaindo com o tempo, de modo a representar a condição mais desfavorável para a operação do relé 51V. Pode-se ver que a magnitude da corrente medida em regime permanente (0,82 p.u.) atinge um valor máximo (2,37 p.u.) no instante de aplicação da falta, mas decai exponencialmente até atingir o valor de 1,00 p.u. ao término do tempo de simulação: é esta magnitude da corrente de curto-circuito próxima à corrente nominal da armadura que justifica a aplicação do relé 51V. Assim como a corrente, a tensão medida reflete a falta do aumento da tensão de campo da máquina para se opor à queda de tensão nos terminais da armadura. Por outro lado, a característica do relé 51V é tal que a redução da corrente de operação é compensada linearmente na faixa de 0,25 p.u. a 1,00 p.u. pela queda de tensão, fazendo com que o múltiplo da corrente de operação se mantenha praticamente constante. Se do instante em que a saída de disparo (TRIP) é ativada (2,810 s) for descontado o instante de aplicação da falta (1,0 s), obtém-se 1,810 s para o tempo de atuação do relé.

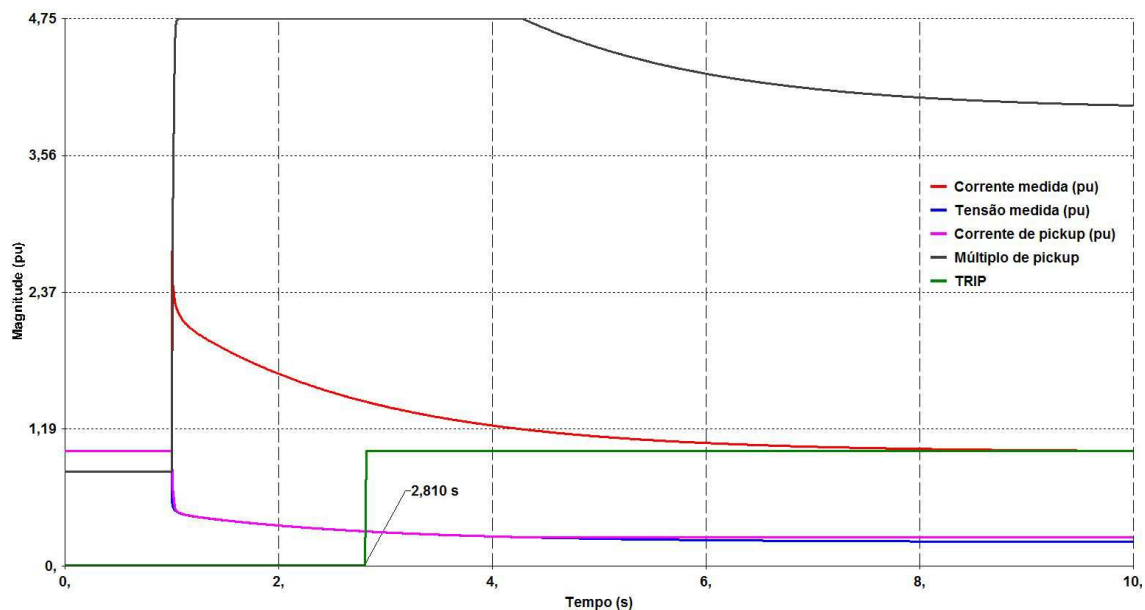


FIGURA 8 – Comportamento Dinâmico do Modelo do Relé 51V

Em uma segunda análise, a simulação realizada anteriormente foi repetida, mantendo os mesmos ajustes do relé 51V; porém, com a falta aplicada na barra GER-13.8, em  $t = 1,0 \text{ s}$ . A Figura 9 mostra o perfil das tensões (p.u.) nas barras da rede elétrica em estudo (vide Figura 7). A tensão na barra GER 13.8 atinge um novo valor de regime permanente (0,93 p.u.) após a eliminação da falta pelo relé 51V, em  $t = 1,53 \text{ s}$ , seguida da remoção da máquina síncrona; logo, o tempo de atuação do relé foi de 0,53 s. Atualmente, o programa ANATEM não dispõe de um mecanismo que possibilite a saída de um modelo em CDU atuar na remoção de unidades de máquinas síncronas. Para contornar esta limitação, optou-se em medir o tempo de atuação do relé 51V e usá-lo como instante de ocorrência do evento RMGR (remoção de unidade geradora) – código de execução DEVT do programa ANATEM.

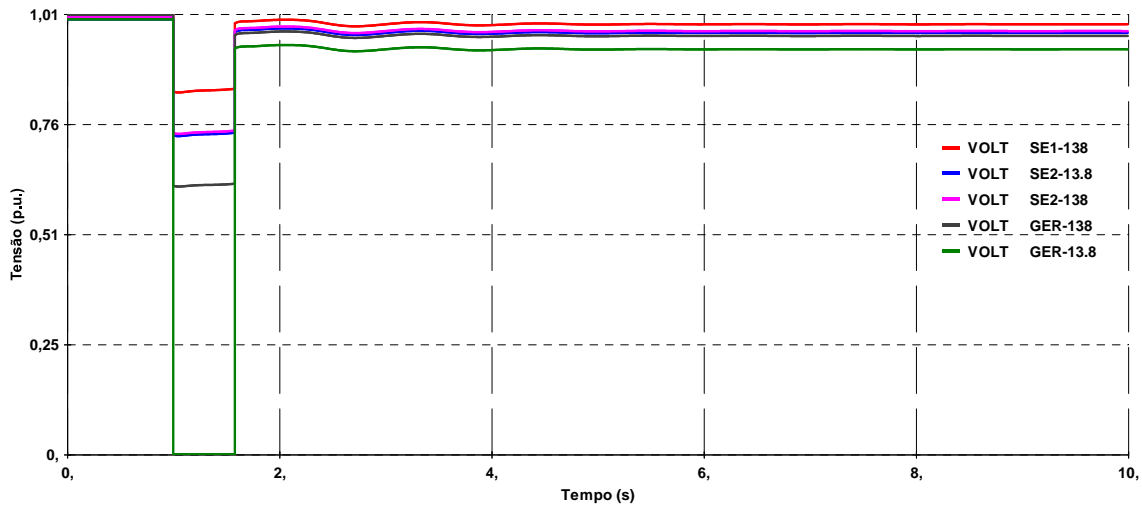


FIGURA 9 – Perfil das Tensões nas Barras da Rede Elétrica

## 5.0 - CONCLUSÃO

A modelagem apresentada neste trabalho mostrou-se suficientemente precisa para a representação de um relé de sobrecorrente com restrição de tensão no programa ANATEM, sendo que a precisão do modelo foi validada mediante a comparação entre os tempos de atuação medidos e calculados. O modelo, ainda que simples em sua concepção, é bastante refinado quanto à funcionalidade e modularidade, pois permite uma composição com os demais modelos de relés da biblioteca ANATEM para formar um sistema completo de proteção e controle. O desenvolvimento de pesquisas na área de proteção de sistemas elétricos de potência, em que o objetivo é desenvolver novas lógicas ou mesmo novos algoritmos de proteção, também pode se beneficiar das técnicas de modelagem através de CDUs. As técnicas de simulação desenvolvidas na modelagem do relé 51V servem para auxiliar e aproximar o engenheiro de proteção dos estudos de transitórios eletromecânicos, quando for necessário avaliar os ajustes dos relés de proteção que são dependentes da dinâmica do sistema elétrico de potência.

Atualmente, as saídas dos modelos de relés de proteção modelados através de CDU não podem ser associadas a comandos de abertura de circuito CA, alívio de carga em barra CA, desligamento de capacitor, desligamento de reator, remoção de unidades de máquinas síncronas, desligamento de máquina de indução, desligamento de geração eólica, dentre outros comandos que são possíveis de executar somente com os modelos de relés da biblioteca ANATEM. Diante disso, a equipe do CEPEL foi consultada sobre a possibilidade de implementar nas futuras versões do programa ANATEM melhorias que permitam ao usuário direcionar as saídas de CDUs para executar o desligamento de equipamentos elétricos.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CEPEL, ANATEM – Análise de Transitórios Eletromecânicos, Manual do Usuário, V10.04.02.
- (2) CEPEL, ANAREDE – Análise de Redes, Manual do Usuário, V09.06.02.
- (3) Johnson, J., "Voltage Restrained Time Overcurrent Relay, Coordination, and Dynamic Testing Considerations", 54th Annual Conference for Protective Relay Engineers – Texas A&M University – April 3-5, 2001.
- (4) Salles, N. J., "Modelagem e Análise Dinâmica de Sistemas de Proteção de Redes de Distribuição de Energia Elétrica na Presença de Geradores Síncronos", Tese de Mestrado, UNICAMP, Brasil.
- (5) Freitas, W., Huang, Z., Xu, W., "A Practical Method for Assessing the Effectiveness of Vector Surge Relays to Distributed Generation Applications", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 1, pp. 57-63, 2005.
- (6) IEC 60255-3, "Electrical Relays – Part 3: Single input energizing quantity measuring relays with dependent or independent time", IEC Standard 60255-3, 1989.
- (7) IEEE Standard C37.112-1996, "Inverse-Time Characteristic Equations for Overcurrent Relays".



## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Newton José de Salles. Nascido em Valinhos, SP, em 21 de fevereiro de 1964, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade São Francisco [Itatiba] (1998), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2007) e atualmente é aluno matriculado no curso de doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Trabalha na CPFL Paulista – Empresa do Grupo CPFL Energia – desde 1983, atuando como Engenheiro de Proteção Sênior do Departamento de Engenharia e Planejamento de Rede. Membro do Comitê de Estudos CE B5 do CIGRÉ-Brasil e da Comissão de Estudo CE-03:095.04 do COBEI – Relés de proteção – Funções de proteção e guias de aplicação.

Walmir de Freitas Filho. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho [Ilha Solteira] (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho [Ilha Solteira] (1996), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2001), pós-doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Alberta (2003 e 2006), Canadá, e pela Universidade Estadual de Campinas (2002 e 2005) e o título de professor livre-docente pela Universidade Estadual de Campinas (2008). Atualmente é Professor Associado - Livre Docente (MS5) da Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas de Potência, atuando principalmente no seguinte tema: distribuição de energia elétrica.