



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC 13  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO V**

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

### **COMPARAÇÃO DA PROTEÇÃO NUMÉRICA DE DISTÂNCIA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO LONGA E CURTA UTILIZANDO A SIMULAÇÃO DIGITAL EM TEMPO REAL**

**André Luiz Pereira de Oliveira \***

**SIEMENS Ltda.**

## **RESUMO**

O principal objetivo deste informe técnico é apresentar uma avaliação comparativa da proteção numérica de distância para linhas de transmissão utilizada no Sistema de Transmissão da CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais, mais especificamente nas linhas de transmissão de 500 kV entre as subestações Vespasiano 2 - Neves 1 (Linha de Transmissão Curta com 23,9 km) e subestações Vespasiano 2 – Mesquita (Linha de Transmissão Longa com 148,6 km). A necessidade de manter este sistema de transmissão confiável fez com que a CEMIG exigisse a utilização de proteções numéricas de distância de última geração, com seu desempenho sendo garantido através da simulação digital do comportamento destas no sistema. Foi realizada a Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) de vários tipos de faltas em diversas condições do sistema elétrico onde seriam instalados os relés numéricos de proteção, observando-se não somente os tempos de eliminação de falta, mas sim toda a funcionalidade dos relés numéricos de proteção de linhas de transmissão, incluindo a teleproteção e demais vantagens que estes dispositivos possibilitam quando utilizados no sistema elétrico. O trabalho apresenta a análise do desempenho e comparação da mesma proteção numérica de distância utilizada nas duas linhas de transmissão, através dos resultados das simulações digitais realizadas em tempo real.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Proteção Numérica de Distância, Teleproteção, Simulação Digital, Linhas de Transmissão.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

A CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais é formada por duas grandes empresas, CEMIG Distribuição S.A. e CEMIG Geração e Transmissão S.A., abrigadas em uma holding, que também controla várias outras empresas que atuam em áreas de geração, transmissão, distribuição e prestação de serviços no segmento de energia. A transmissão da CEMIG tem uma importância estratégica na operação do sistema interligado Sudeste/Sul do Brasil, com mais de 4.875 km de linhas de transmissão em alta tensão [1].

A CEMIG tem se preocupado em ampliar e modernizar o seu sistema de transmissão através da construção de novas linhas e subestações de grande porte, aumentando a sua confiabilidade e dando condições de expansão do mercado. Com este objetivo, uma nova subestação foi construída pela CEMIG, a Subestação Vespasiano 2 (500/138 kV e 600 MVA), na Região Metropolitana de Belo Horizonte, que entrou em operação comercial no mês de Março de 2003 [2].

A Subestação Vespasiano 2, com dois transformadores 500/138 kV e 300 MVA, tem por objetivo o reforço e aumento de confiabilidade na malha de 138 kV da região, aliviando as transformações existentes, reduzindo o carregamento de Linhas de Transmissão de 138 kV, atendendo na primeira etapa os consumidores das cidades de Santa Luzia, Vespasiano e região Norte de Belo Horizonte, além de elevar o limite de atendimento à carga da região Leste do Estado de Minas Gerais em condições de emergência [2]. A implantação da Subestação Vespasiano 2 com potência instalada inicialmente de 600 MVA (com previsão de 1200 MVA no futuro) e tensão primária de 500 kV seccionou a linha de transmissão que interligava as subestações Neves 1 e Mesquita, originando assim duas novas linhas de transmissão de 500 kV. A Linha de Transmissão 500 kV Vespasiano 2 - Neves 1 possui 23,9 km de extensão, sendo classificada como uma linha de transmissão curta. A Linha de Transmissão 500 kV Vespasiano 2 - Mesquita possui 148,6 km de extensão, sendo classificada como uma linha de transmissão longa.

## 2.0 - A SIMULAÇÃO DIGITAL EM TEMPO REAL

As simulações digitais foram realizadas em Setembro de 2002, nas instalações da SIEMENS AG em Erlangen (Alemanha). Foi utilizado um Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) para os ensaios e testes realizados em *loop* fechado, com os comandos de *trip*, abertura e fechamento dos disjuntores sendo enviados diretamente ao simulador. Através dos comandos corretos foram realizadas simulações de seqüências de chaveamentos complexos, como por exemplo, religamentos automáticos.

A CEMIG foi responsável pelo fornecimento de todos os parâmetros das linhas de transmissão para que estes fossem inseridos no simulador digital e possibilitassem a realização dos testes e ensaios com grande fidelidade ao sistema existente, onde as proteções numéricas foram instaladas.

### 2.1 A Modelagem do Sistema de Simulação de Falhas

A modelagem do sistema de simulação das falhas é apresentada na Figura 1, que apresenta as condições reais das linhas de transmissão onde as proteções numéricas de distância foram instaladas: linha de transmissão de circuito simples com disjuntores de alta tensão nos dois lados, com uma das subestações sendo uma fonte forte e outra como uma fonte fraca.

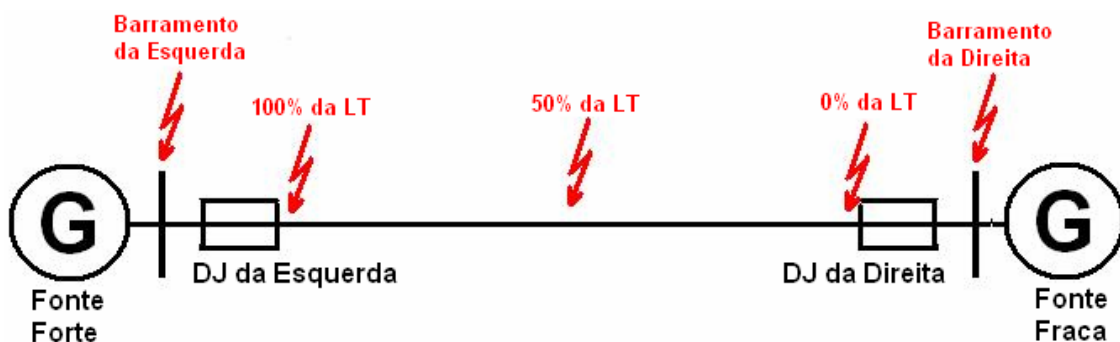


Figura 1 – Modelagem do Sistema de Simulação de Falhas com as posições das falhas nas simulações realizadas

As falhas (curto-circuitos) foram simuladas utilizando valores de resistência que podem variar de valores baixos até muito altos. Devido a impossibilidade da utilização de um valor nulo de resistência de falhas, o valor de  $0,04\Omega$  foi utilizado para a simulação de falhas francas [3]. Os seguintes tipos de falhas internas (linhas de transmissão) e externas (barramentos) foram realizadas:

- Falta Monofásica para Terra (FT);
- Falta Bifásica (2F);
- Falta Bifásica para Terra (2FT);
- Falta Trifásica (3F);
- Falta Trifásica para Terra (3FT);

Foram analisadas as condições das linhas de transmissão com e sem carga, falhas de alta impedância, fechamento do disjuntor sob falta e comportamento ante falhas evolutivas.

### 2.2 O Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*)

O Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) é um equipamento para utilização na simulação de Sistemas Elétricos de Potência com capacidade de operação contínua em tempo real. O seu

funcionamento é como um *TNA* digital, flexível, preciso, com grande capacidade de representação de um Sistema Elétrico e dos inúmeros equipamentos que o compõem. A Figura 2 apresenta um exemplo de um *rack* do *RTDS™* (as simulações utilizam mais de um *rack*, com a quantidade variando conforme o tamanho do sistema em simulação).

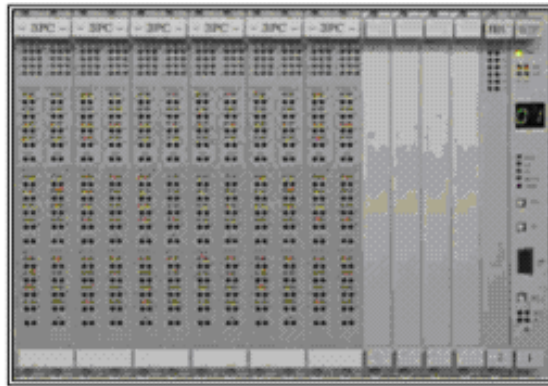


Figura 2 – Exemplo de um *rack* do Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*)

A conexão dos relés de proteção numérica ao sistema do Simulador Digital em Tempo Real (*RTDS™*) é realizada com o uso de amplificadores de corrente e tensão. A realização dos comandos de *trip* foi de fase segregada, possibilitando comandos de *trip* monopolar para simulação de situações de religamento automático.

```

DIGSI V4.30 ... slano 2 / TRA612 V4.2 left/TRA612 V04.22.03 09/04/2002 11:53:35
Trip Log - 000888 / 04.09.02 11:55:11.315 - CBMD / Veepalano 2 / TRA612 V4.2
left/TRA612 V04.22.03

```

Number	Indication	Value	Date and Time	Cause	State
00301	Power System	88 - ON	04.09.2002		
00302	Fault	104 - ON	11:55:11.315		
00302	Fault Event	104 - ON	04.09.2002		
01682	21 Pickup AG	ON	11:55:11.315		
01701	21 Selected Loop	ON	0 ms		
	AG forward	ON	0 ms		
04056	85-21 Carrier	ON	0 ms		
	SEND signal	ON	0 ms		
01802	21 TRIP command -	ON	0 ms		
	Only Phase A	ON	0 ms		
02844	T9 1st cycle	ON	1 ms		
	waiting	ON	1 ms		
02801	T9 - in progress	ON	1 ms		
00523	Primary fault	6,11 kA	2 ms		
	current Ia	ON	10 ms		
01332	108 / 818 Ground	ON	10 ms		
	O/C is BLOCKED	ON	10 ms		
04006	>85-21 Carrier	ON	29 ms		
	RECEPTION,	ON	29 ms		
	Channel 1	ON	29 ms		
01338	>85-47M Carrier	ON	29 ms		
	RECEPTION,	ON	29 ms		
	Channel 1	ON	29 ms		

Figura 3 – Exemplo de Seqüência de Eventos de uma Falta Simulada no Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*)

As Figuras 3 e 4 apresentam a documentação gerada pelas simulações, a qual consiste de arquivos contendo todos os registros das faltas e alarmes, além dos comandos e reações dos relés numéricos de proteção através do envio e recebimento de sinais. Além disso, os sinais analógicos de corrente e tensão foram registrados juntamente com as entradas e saídas binárias dos relés de proteção, fornecendo os tempos de detecção de falta e comando de *trip*.

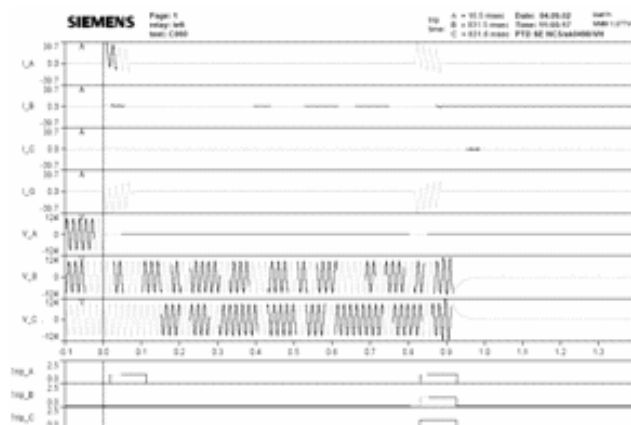


Figura 4 – Exemplo de Oscilografia de uma Falta Simulada no Simulador Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*)

### 2.3 A Proteção Numérica de Distância 7SA612

Os sistemas de proteção a serem instalados no Sistema Elétrico Brasileiro devem seguir os Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS [4]. Além disto, a CEMIG elaborou uma especificação técnica rigorosa [5].

A SIEMENS Ltda. apresentou o relé numérico de proteção de distância 7SA612 (*Software Version: V4.22.03*), mostrado na Figura 5. Este relé de proteção faz parte do grupo de relés multifuncionais numéricos de última geração, garantindo a continuidade do serviço e estabilidade do sistema de transmissão de energia.



Figura 5 – Relé Numérico de Proteção de Distância 7SA612

Este relé numérico de proteção de distância é de tecnologia digital microprocessada, possuindo multifunções, rotinas de oscilografia, sincronização do tempo interno via sinal de satélite GPS (IRIG-B), parametrização e alteração dos ajustes remota, autodiagnóstico, autoteste e possui saídas seriais/ópticas para comunicação com microcomputadores [6].

Além de possuir a função de distância para as três fases e para o neutro (21/21N), função de sobrecorrente direcional também para as três fases e para o neutro (67/67N), funções complementares de proteção (*backup* por sobrecorrente, falha de disjuntor, *trip* e bloqueio por oscilação de potência no sistema, sobretensão e subtensão, cheque de sincronismo), seleção de abertura e religamento tripolar e monopolar, o relé numérico de proteção 7SA612 possui lógicas permitindo a aplicação de vários esquemas de proteção, como por exemplo:

- Esquemas Permissivos por Subalcance (*PUTT*);
- Esquemas Permissivos por Sobrealcance (*POTT*);
- Circuito de devolução de sinal permissivo (*Echo*);
- Bloqueio / Desbloqueio para faltas diversas;
- Transferência de Disparo Direto (*DTT*);
- Lógica de proteção por fonte fraca (*Weak Infeed*);
- Lógica de proteção para fechamento sob falta (*SOFT*);
- Supervisão contra operação indevida por perda de potencial.

A seleção dos esquemas de proteção e os ajustes dos relés numéricos 7SA612 foram definidos em conjunto pela SIEMENS e CEMIG.

### 3.0 - AS SIMULAÇÕES REALIZADAS E OS RESULTADOS OBTIDOS

As análises dos resultados foram realizadas com base nas oscilografias, nas seqüências dos eventos e nos tempos de comando de *trip*/eliminação dos defeitos. Todas as situações apresentadas foram simuladas para as duas linhas de transmissão (curta e longa).

Foram realizadas 134 simulações no total, presentes em um relatório específico [7]. Os resultados mais significativos serão apresentados, com faltas internas às linhas de transmissão (Posição da Falta na LT (%): valor percentual do comprimento da linha de transmissão a partir da Fonte Fraca / Lado Direito em direção à Fonte Forte / Lado Esquerdo) e faltas nos barramentos da direita (BAR-DIR) e da esquerda (BAR-ESQ), validando todo o restante do trabalho realizado.

Os tempos de eliminação dos defeitos serão apresentados para cada um dos relés numéricos de proteção de distância:

- |  |          |
|--|----------|
| • Relé Numérico de Distância da Subestação Neves 1:        | NEVES 1  |
| • Relés Numéricos de Distância da Subestação Vespasiano 2: | VESP 2   |
| • Relé Numérico de Distância da Subestação Mesquita:       | MESQUITA |

### 3.1 Linhas de Transmissão sem Carga

- Condições das simulações: 0% da Carga (0,0 A);  
Faltas Francas ( $R_F = 0,04 \Omega$ ).
- Objetivos das simulações: Comportamento da Proteção de Distância;  
Seleção de Fase;  
Seleção de Zona de Proteção;  
Tempo de Comando de *Trip* (em milisegundos).

Tabela I – Simulações da Proteção Numérica de Distância com as Linhas de Transmissão sem Carga

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator</i> (RTDS™)				Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)	
Fases	Posição na LT (em %)	Resist. de Falta ( $\Omega$ )	Ângulo de Incidência ( $^\circ$ )	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA
A-T	100%	0,04 $\Omega$	0°	16,8 ms	39,7 ms	16,5 ms	40,5 ms
A-B	100%	0,04 $\Omega$	30°	13,9 ms	37,7 ms	14,3 ms	39,6 ms
B-T	50%	0,04 $\Omega$	60°	15,2 ms	16,9 ms	15,6 ms	15,9 ms
B-C	50%	0,04 $\Omega$	90°	16,5 ms	16,0 ms	17,7 ms	17,3 ms
A-B-C	50%	0,04 $\Omega$	30°	16,4 ms	16,3 ms	17,2 ms	17,2 ms
B-C-T	0%	0,04 $\Omega$	60°	37,4 ms	16,0 ms	41,2 ms	16,6 ms
A-B-C	0%	0,04 $\Omega$	90°	42,7 ms	20,1 ms	38,7 ms	14,7 ms
A-T	BAR – ESQ	0,04 $\Omega$	0°	-----	321,0 ms	-----	318,2 ms
A-B-C	BAR – DIR	0,04 $\Omega$	90°	317,1 ms	-----	321,0 ms	-----

### 3.2 Linhas de Transmissão com Carga

- Condições das simulações: 100% da Carga (2.000,0 A);  
Faltas Francas ( $R_F = 0,04 \Omega$ ).
- Objetivos das simulações: Comportamento da Proteção de Distância;  
Seleção de Fase;  
Seleção de Zona de Proteção;  
Tempo de Comando de *Trip* (em milisegundos).

Tabela II – Simulações da Proteção Numérica de Distância com as Linhas de Transmissão com Carga

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator</i> (RTDS™)				Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)	
Fases	Posição na LT (em %)	Resist. de Falta ( $\Omega$ )	Ângulo de Incidência ( $^\circ$ )	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA
A-T	100%	0,04 $\Omega$	0°	16,5 ms	39,1 ms	16,3 ms	41,1 ms
A-B	100%	0,04 $\Omega$	30°	13,8 ms	38,5 ms	14,1 ms	43,4 ms
B-T	50%	0,04 $\Omega$	60°	16,6 ms	16,7 ms	16,3 ms	16,5 ms
B-C	50%	0,04 $\Omega$	90°	16,2 ms	15,3 ms	16,1 ms	15,6 ms
A-B-C	50%	0,04 $\Omega$	30°	16,2 ms	16,1 ms	17,6 ms	17,7 ms
B-C-T	0%	0,04 $\Omega$	60°	38,1 ms	15,8 ms	40,4 ms	15,8 ms
A-B-C	0%	0,04 $\Omega$	90°	42,6 ms	19,9 ms	40,0 ms	16,4 ms
A-T	BAR – ESQ	0,04 $\Omega$	0°	-----	317,2 ms	-----	318,1 ms
A-B-C	BAR – DIR	0,04 $\Omega$	90°	317,4 ms	-----	321,8 ms	-----

### 3.3 Faltas de Alta Impedância

- Condições das simulações: 100% da Carga (2.000,0 A);  
Faltas de Alta Impedância ( $R_F = 5,0 \Omega$ ,  $10,0 \Omega$  e  $20,0 \Omega$ ).
- Objetivos das simulações: Comportamento da Proteção de Distância;  
Seleção de Fase;  
Seleção de Zona de Proteção;  
Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos).

Tabela III – Simulações da Proteção Numérica de Distância com Faltas de Alta Impedância

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>				Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)	
Fases	Posição na LT (em %)	Resist. de Falta ( $\Omega$ )	Ângulo de Incidência ( $^\circ$ )	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA
A-T	100%	$5,0 \Omega$	$0^\circ$	18,4 ms	42,8 ms	17,6 ms	43,7 ms
A-T	100%	$20,0 \Omega$	$0^\circ$	16,2 ms	39,9 ms	18,2 ms	43,4 ms
B-C-T	50%	$10,0 \Omega$	$60^\circ$	16,5 ms	40,1 ms	20,0 ms	18,6 ms
B-C-T	50%	$20,0 \Omega$	$60^\circ$	16,2 ms	16,4 ms	18,3 ms	18,5 ms

### 3.4 Fechamento do Disjuntor sobre Faltas

- Condições das simulações: 0% da Carga (0,0 A);  
Disjuntor de Alta Tensão da Direita Aberto;  
Disjuntor de Alta Tensão da Esquerda é fechado sobre Falta;  
Faltas Francas ( $R_F = 0,04 \Omega$ ).
- Objetivos das simulações: Detecção do Fechamento sobre Falta;  
Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos).

Tabela IV – Simulações da Proteção Numérica de Distância com Fechamento do Disjuntor sobre Faltas

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>				Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)	
Fases	Posição na LT (em %)	Resist. de Falta ( $\Omega$ )	Ângulo de Incidência ( $^\circ$ )	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA
A-T	100%	$0,04 \Omega$	$0^\circ$	14,5 ms	-----	12,6 ms	-----
B-C-T	100%	$0,04 \Omega$	$0^\circ$	13,6 ms	-----	13,1 ms	-----
A-T	0%	$0,04 \Omega$	$30^\circ$	25,0 ms	-----	25,6 ms	-----
B-C-T	0%	$0,04 \Omega$	$30^\circ$	13,1 ms	-----	13,3 ms	-----

### 3.5 Comportamento Ante Faltas Evolutivas

- Condições das simulações: 100% da Carga (2.000,0 A);  
Simulação de uma segunda falta evolutiva após a simulação da primeira falta nas linhas de transmissão;  
A falta evolui para outra após XX ms (5 ms ou 25 ms);  
Faltas Francas ( $R_F = 0,04 \Omega$ ).
- Objetivos das simulações: Comportamento da Proteção de Distância;  
Seleção de Fase;  
Seleção de Zona de Proteção;  
Tempo de Comando de *Trip* (em milissegundos).

Tabela V – Simulações da Proteção Numérica de Distância no Comportamento Ante Falhas Evolutivas

Faltas Simuladas no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>				Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)	
Fases	Posição na LT (em %)	Resist. de Falta ( $\Omega$ )	Ângulo de Incidência ( $^{\circ}$ )	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA
A-T + 5 ms = A-B-T	100%	0,04 $\Omega$	0 $^{\circ}$	19,5 ms	43,0 ms	20,0 ms	44,5 ms
B-T + 5 ms = A-B-C-T	100%	0,04 $\Omega$	0 $^{\circ}$	19,8 ms	43,8 ms	20,4 ms	45,7 ms
A-T + 25 ms = A-B-T	100%	0,04 $\Omega$	30 $^{\circ}$	15,1 ms	38,5 ms	19,7 ms	44,4 ms
B-T + 25 ms = A-B-C-T	100%	0,04 $\Omega$	30 $^{\circ}$	16,5 ms	39,5 ms	15,1 ms	41,7 ms

#### 4.0 - COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DA PROTEÇÃO NUMÉRICA DE DISTÂNCIA

A Tabela VI apresenta a comparação do desempenho da proteção numérica de distância na eliminação de defeitos nas linhas de transmissão de 500 kV entre as subestações Vespasiano 2 - Neves 1 (Linha de Transmissão Curta com 23,9 km) e subestações Vespasiano 2 – Mesquita (Linha de Transmissão Longa com 148,6 km). A avaliação é realizada através da comparação dos maiores tempos de comando de *trip* (em ms) obtidos pelos relés numéricos de distância 7SA612 para defeitos internos (efetiva eliminação das faltas no sistema) e o cálculo da diferença do desempenho nas duas linhas (Delta em ms). Além disto é realizada a adição destes ao tempo de abertura médio de um Disjuntor de AT (35 ms) para verificação se os defeitos são eliminados abaixo dos 100 ms estabelecidos no Submodulo 2.5 do Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS [4].

Tabela VI – Comparação do Desempenho da Proteção Numérica de Distância

Simulações no <i>Real Time Digital Simulator (RTDS™)</i>	Linha de Transmissão Curta ( <i>trip</i> em ms)		Linha de Transmissão Longa ( <i>trip</i> em ms)		Comparação entre as LTs e Avaliação Geral	
	NEVES 1	VESP 2	VESP 2	MESQUITA	Delta (ms)	Maior <i>Trip</i> + 35 < 100 ms
Linhas de Transmissão sem Carga	42,7 ms	39,7 ms	41,2 ms	40,5 ms	1,5 ms	77,7 ms (OK!)
Linhas de Transmissão com Carga	42,6 ms	39,1 ms	40,4 ms	43,4 ms	0,8 ms	78,4 ms (OK!)
Faltas de Alta Impedência	18,4 ms	42,8 ms	20,0 ms	43,7 ms	0,9 ms	78,7 ms (OK!)
Fechamento do Disjuntor sobre Faltas	25,0 ms	-----	25,6 ms	-----	0,6 ms	60,6 ms (OK!)
Comportamento Ante Faltas Evolutivas	19,8 ms	43,8 ms	20,4 ms	45,7 ms	1,9 ms	80,7 ms (OK!)

Não foram verificadas diferenças significativas no comportamento e desempenho dos relés numéricos de proteção de distância 7SA612 nas simulações realizadas. A maior diferença constatada nos tempos de comando de *trip* entre os relés numéricos de proteção de distância das duas linhas de transmissão (curta e longa) foi de 1,9 ms.

Os tempos totais de eliminação dos defeitos internos (tempos de comando de *trip* adicionados os 35 ms de abertura do Disjuntor de Alta Tensão) foram todos satisfatórios (abaixo dos 100 ms estabelecidos pelo ONS), considerando a eliminação realizada pelas zonas de proteção de distância e/ou pela teleproteção através do Esquema de Transferência de *Trip* Permissivo (*Permissive Overreach Transfer Trip – POTT*). Para defeitos externos (faltas nos barramentos das subestações), as proteções numéricas de distância atuaram como retaguarda e tiveram os seus desempenhos satisfatórios, observando a existência da temporização intencional de 300 ms ajustada nos relés numéricos 7SA612 para a coordenação da proteção do sistema de transmissão.



## 5.0 - CONCLUSÃO

A Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) tem como principal objetivo certificar os esquemas e ajustes de proteção selecionados para a aplicação no sistema de transmissão onde serão instaladas as proteções numéricas de distância, garantindo o desempenho necessário para a eliminação dos defeitos no menor tempo possível.

As simulações digitais e seus resultados propiciaram à CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais a garantia necessária da expectativa do comportamento das proteções numéricas de distância que foram utilizadas para a proteção das linhas de transmissão de 500 kV entre as subestações Vespasiano 2 - Neves 1 (Linha de Transmissão Curta com 23,9 km) e subestações Vespasiano 2 – Mesquita (Linha de Transmissão Longa com 148,6 km). Neste Informe Técnico foram apresentadas somente amostras do total de 134 simulações realizadas e analisadas, com a escolha das faltas simuladas realizada por amostragem, objetivando cobrir os casos mais comuns ocorridos nas linhas de transmissão em alta tensão existentes no Sistema Elétrico Brasileiro.

Através da comparação do desempenho das proteções numéricas de distância não foram observadas diferenças significativas no comportamento do relé numérico de proteção 7SA612 nas simulações realizadas nas duas linhas de transmissão (longa e curta) nas mesmas situações simuladas, demonstrando a grande versatilidade mesmo. O critério utilizado como satisfatório para a avaliação do desempenho do relé numérico de proteção 7SA612 foi o de que para a eliminação dos defeitos (faltas no sistema de transmissão), o tempo total gasto não deveria ser superior a 100 ms, sendo que neste limite já estão considerados os tempos de transmissão do sinal de teleproteção e o tempo de abertura do disjuntor de alta tensão (500 kV).

A realização da Simulação Digital em Tempo Real (*Real Time Digital Simulator - RTDS™*) proporcionou maiores confiabilidade e segurança para os usuários do relé numérico de proteção de distância 7SA612, possibilitando a obtenção do máximo desempenho e funcionalidade que estes modernos dispositivos de proteção podem propiciar ao Sistema Elétrico Brasileiro.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, “O Caminho do Desenvolvimento”, *Cemig em Números 2005*, Belo Horizonte-MG, Junho de 2006.
- [2] A. L. P. de Oliveira, M. L. C. Gabino, A. M. Silva, A. L. M. Costa, “Análise do Desempenho da Proteção Numérica de Linhas de Transmissão através da Simulação Digital em Tempo Real”, *VII STPC - Seminário Técnico de Proteção e Controle*, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2003.
- [3] A. L. P. de Oliveira, “Análise do Desempenho da Proteção Numérica de Linhas de Transmissão através da Simulação Digital em Tempo Real”, *Monografia do CEPSE - Curso de Especialização em Proteção dos Sistemas Elétricos – Universidade Federal de Itajubá*, Itajubá-MG, Brasil, 2003.
- [4] Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS, “Submodulo 2.5 - Requisitos Mínimos dos Sistemas de Proteção, Supervisão/Controle e de Telecomunicações – Rev.01”, *Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS*, Brasil, 2002.
- [5] Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, “Especificação Básica para a Aquisição dos Sistemas de Supervisão e Controle, de Proteção e de Registro de Perturbações (SSCP) da SE Vespasiano 2”, *Departamento de Engenharia de Subestações – ER/SE*, Brasil, 2001.
- [6] SIEMENS AG, “SIPROTEC – Distance Protection 7SA6 v4.2 – Manual”, Germany, 2002.
- [7] V. Henn, “System Planning Vespasiano 2 7SA612 TNA Test”, SIEMENS AG, Erlangen, Germany, 2002.

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**André Luiz Pereira de Oliveira** nasceu em São José do Rio Preto/SP em 1978. Engenheiro Eletricista pela EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá (Itajubá - MG) desde 2001. Obteve os títulos de Especialista em Proteção de Sistemas Elétricos e Mestre em Ciências (MSc) pela Universidade Federal de Itajubá (Itajubá - MG) em 2003 e 2006 respectivamente. Certificado pelo *Project Management Institute® - PMI®* dos Estados Unidos da América (USA) como *Project Management Professional (PMP®)* em 2004. Trabalha desde 2001 na SIEMENS Ltda. na área PTD H (*Power Transmission and Distribution – High Voltage*) como *Project Manager (PM)*. É responsável pelo fornecimento “turn-key” de Subestações de Alta Tensão e Sistemas de Compensação de Reativos gerenciando contratos com empresas industriais e concessionárias

do setor elétrico.