



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

FI/GAT/03  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

## **GRUPO - IV**

### **GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMAS DE POTÊNCIA - GAT**

#### **AVALIAÇÃO DO ESFORÇO COMPUTACIONAL EM PROGRAMAS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS**

**Leonardo Pinto de Almeida (\*)**  
**CEPEL**

**Fabricio Lucas Lirio**  
**CEPEL**

**Sergio Gomes Junior**  
**CEPEL, UFF**

**Guilherme Sarcinelli Luz**  
**FURNAS**

**Antônio Ricardo C. D. Carvalho**  
**CEPEL**

## **RESUMO**

Os programas ATP e PSCAD são amplamente utilizados em estudos de transitórios eletromagnéticos. Com os recentes projetos de Transmissão em Corrente Contínua no Brasil, para transmissão de energia das usinas de Santo Antônio, Jirau e Belo Monte, estes programas vêm sendo utilizados intensamente nestes últimos anos nas avaliações do desempenho dinâmico de elos de corrente contínua. Neste trabalho será avaliado o desempenho computacional dos programas ATP e PSCAD considerando um sistema exemplo contendo elo de corrente contínua, máquinas síncronas com seus sistemas de controle, além de uma rede CA de diversas barras contendo linhas de transmissão com parâmetros distribuídos. Serão considerados diversos aspectos, como a variação do passo de integração, precisão da resposta e esquemas de inicialização de cada programa. Serão também avaliadas algumas particularidades de cada programa, como a interpolação no PSCAD para cálculo preciso do instante de chaveamento dos conversores e as duas modelagens disponíveis no ATP para sistemas de controle: a TACS, baseada na montagem de diagrama de blocos de controle, e a MODELS, baseada em linguagem de programação. Ao final serão apresentadas as diversas comparações de tempo computacional, para diferentes graus de precisão da simulação.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Transitórios Eletromagnéticos, Elos de corrente contínua, Modelo de máquina, PSCAD, ATP.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Há alguns anos que o Brasil conta com os elos de corrente contínua de Itaipu (6300 MW), Garabi (2200 MW) e Uruguaiana (50 MW). Além disto, a transmissão em corrente contínua tem sido muito utilizada no planejamento da expansão do sistema elétrico para aproveitamento hidráulico dos rios da Bacia Amazônica. Recentemente, entrou em fase de operação e comissionamento o sistema de transmissão do Rio Madeira (usinas de Santo Antônio e Jirau), composto por dois bipolos (6300 MW) e dois back-to-back (800 MW). Para o escoamento da energia gerada na Usina de Belo Monte está prevista a entrada de mais dois bipolos (8000 MW). A transmissão em corrente contínua, portanto, representará uma parcela muito importante da nossa rede de transmissão, com capacidade total de aproximadamente 23,5GW.

O estudo do desempenho dinâmico de elos de corrente contínua, realizado em programas de simulação de transitórios eletromagnéticos, é de vital importância tanto na fase de planejamento, onde é avaliada a viabilidade do projeto, como na fase de operação onde são identificados eventuais problemas durante o funcionamento. Um dos estudos realizados durante a fase de planejamento e concepção de novos elos de corrente contínua, como é atualmente o caso do sistema de transmissão de Belo Monte no sistema brasileiro, são os estudos de interação entre os novos elos propostos e os elos já existentes. Estes estudos são realizados em programas de simulação de transitórios eletromagnéticos através da construção de "redes equivalentes" que representem, com um bom grau de exatidão, a ligação elétrica entre as estações conversoras dos elos.

(\*) Av. Horácio Macedo, 354, Cidade Universitária – Rio de Janeiro – RJ – Brasil – CEP 21.941-911  
Tel: (+55 21) 2598-6159 – Fax: (+55 21) 2598-6451 – Email: leonardo@cepel.br

Com o crescente número de elos de corrente contínua, acrescido da complexidade de um sistema fortemente interligado como é o caso do sistema brasileiro, estas “redes equivalentes” têm crescido em número de barramentos o que leva a um esforço computacional maior na realização dos estudos.

Atualmente existem várias ferramentas para simulação digital off-line com diferentes graus de recursos de modelagem e simulação. Em [1] os autores apresentaram uma comparação entre as capacidades de duas dessas ferramentas: ATP [2] e PSCAD [3], através da validação de um sistema teste composto por duas áreas conectadas por um elo de corrente contínua. Cada área é formada por duas e três usinas, respectivamente, para os lados do retificador e inversor, e o sistema apresenta uma modelagem detalhada das máquinas, pontes conversoras do elo, sistemas de controle, além de uma representação por parâmetros distribuídos das linhas de transmissão de corrente alternada e contínua.

No ATP, tanto os sistemas de controle das pontes conversoras do elo quanto os sistemas de controle das unidades geradoras, foram modelados por MODELS, enquanto que no PSCAD utilizou-se uma interface gráfica própria para criação dos diagramas de blocos. O tempo computacional para 5 s de simulação foi de 333 s no PSCAD e 289 s no ATP utilizando um processador Intel Core2Duo de 2.53 GHz.

No presente artigo foi dada continuidade a este trabalho, focando na questão do esforço computacional, ou seja, tempo. Todo o sistema de controle do elo CCAT, foi modelado, no ATP, também por TACS, que é mais eficiente computacionalmente, embora possua uma menor flexibilidade de modelagem. Resultados de simulação serão apresentados e o tempo computacional comparado para diversos passos de integração entre os programas. Foi ainda avaliada a influência do método de interpolação do PSCAD na variação do passo de integração utilizado e, conseqüentemente, no tempo computacional.

## 2.0 - CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA PSCAD

O programa PSCAD tem como principal característica a sua facilidade no uso gráfico, não requerendo o uso de entrada de dados via cartão. Além disto possui uma quantidade de modelos prontos disponíveis e exemplificados em sistemas testes didáticos distribuídos junto com o programa, com ênfase nos componentes de eletrônica de potência. Por este motivo é um dos programas mais utilizados nas universidades.

Uma importante característica do PSCAD, que será avaliada neste artigo, é o cálculo por interpolação do instante de operação dos chaveamentos, para seccionamento de passos de integração com o objetivo de levar em conta com mais precisão o efeito do chaveamento. Este recurso é particularmente interessante para a simulação de elos de corrente contínua, que possui uma grande quantidade de chaveamentos por ciclo. Chaveamentos em instantes imprecisos podem comprometer os resultados, conquanto possa ser evitado pelo uso de passo de integração reduzido. Com o recurso da interpolação para seccionamento do passo, torna-se possível a utilização de passos de integração maiores, com tempos computacionais menores, sem perda de precisão nos resultados de simulação. Deve-se observar que este recurso é o padrão de operação do programa, mas pode ser desabilitado, conforme será feito para avaliação.

Em relação à modelagem, descrita em maiores detalhes em [1], pode-se comentar que todo o sistema de controle é modelado por diagrama de blocos, compostos por blocos elementares de diversos tipos e parâmetros. Os componentes do PSCAD, incluindo o sistema de controle, também podem ser programados utilizando uma linguagem própria (script) ou a linguagem Fortran. No entanto esta prática não é comum para a modelagem do sistema de controle dos elos de corrente contínua e não será analisada neste trabalho.

## 3.0 - CARACTERÍSTICAS DO PROGRAMA ATP

Pode-se dizer que o uso do ATP é menos intuitivo do que o PSCAD. A interface gráfica do ATP, chamada de ATPDraw, facilitou bastante o uso, pois permite a edição gráfica da maior parte dos componentes e gera arquivos de dados em formato de cartões que são automaticamente lidos e processados pelo ATP, de forma transparente ao usuário. No entanto, para utilização integral de todos os modelos disponíveis no ATP, deve-se algumas vezes recorrer ao formato cartão original, que pode ser incluído como um componente adicional do gráfico.

Se por um lado o uso do formato cartão torna o programa menos intuitivo, por outro traz uma grande flexibilidade, principalmente na criação de módulos compostos por inúmeros componentes, além de importação de arquivos de dados em formato cartão gerados por outros programas, por exemplo, para inclusão de equivalentes de redes.

O programa ATP possui dois tipos de modelagem para o sistema de controle: a TACS e a MODELS. A TACS é baseada na montagem de um diagrama de blocos, pela inclusão dos diversos blocos elementares, com suas respectivas conexões e parâmetros, semelhante ao programa PSCAD. Na Figura 1 é apresentado o diagrama de blocos modelado no ATPDraw relativo ao controle de corrente do retificador (CCA) e na Figura 2 o mesmo diagrama no PSCAD.

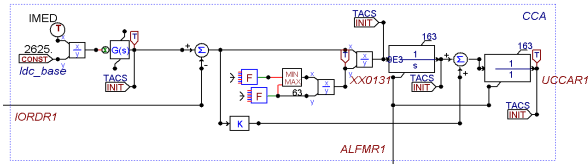


Figura 1: CCA modelado utilizando TACS

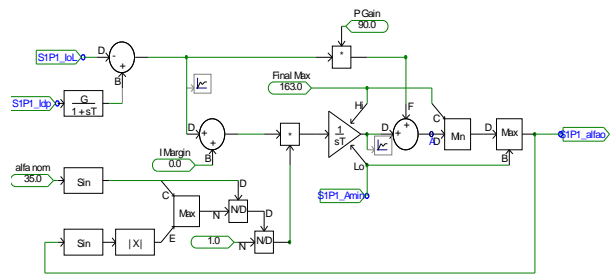


Figura 2: CCA modelado no PSCAD

Por outro lado, a MODELS é baseada em uma linguagem de programação própria, que é reconhecida pelo ATP e interpretada durante a sua execução. A seguir é apresentado o código relativo ao CCA do retificador, como exemplo.

```

--- CCA
IDC_PU:=IDC/(IDC_BA*1000.)
LAPLACE(IDCMED/IDC_PU):=(1|S0)/(1|S0+TC_IDC|S1)
ERRI := (IDCMED - IORDERL)
SINMAX:=MAX(SIN(35.0*PI/180.),SIN(ABS(UCCA*PI/180.)))
SINDIV:=SINMAX/SIN(35.*PI/180.)
ERRII:=ERRI/SINDIV
LAPLACE(ERRO_INT/ERRII) {DMIN:ALFAMIN,DMAX:163.}:=(KI|S0)/(1|S1)
ERRO_PRO:=KP*ERRI
UCCA:=(ERRO_INT + ERRO_PRO) {MIN:ALFAMIN,MAX:163.}
    
```

A TACS é mais intuitiva de se usar, mas para a modelagem de lógicas complicadas, envolvendo por exemplo temporizações, exige um esforço de modelagem maior, pois normalmente requer a tradução da lógica em uma quantidade grande de blocos elementares disponíveis no ATP. Usualmente a implementação na MODELS destas lógicas complicadas é bem mais simples e compacta, no entanto o domínio da linguagem de programação requer um maior esforço de aprendizado, comparado com a TACS.

Pode-se dizer que a precisão da MODELS é maior, pois na TACS algumas malhas de realimentação possuem um atraso de um passo de integração na sua atuação, exigindo o uso de um menor passo de integração para resultados mais precisos, como observado nos resultados do artigo para o sistema utilizado.

Outra característica do ATP é que não há o recurso de interpolação do passo de integração.

#### 4.0 - SISTEMA EXEMPLO

Para as avaliações do artigo, utilizou-se o mesmo sistema exemplo de [1], modelado no PSCAD e ATP. Para o ATP utilizou-se a modelagem do sistema de controle dos conversores por TACS e MODELS. Nas figuras seguintes, são apresentadas as figuras do modelo do elo CCAT nos dois programas:

O sistema é composto por 14 barras CA, 5 geradores síncronos, 10 linhas de transmissão de parâmetros distribuídos. Os dados completos podem ser encontrados em [1].

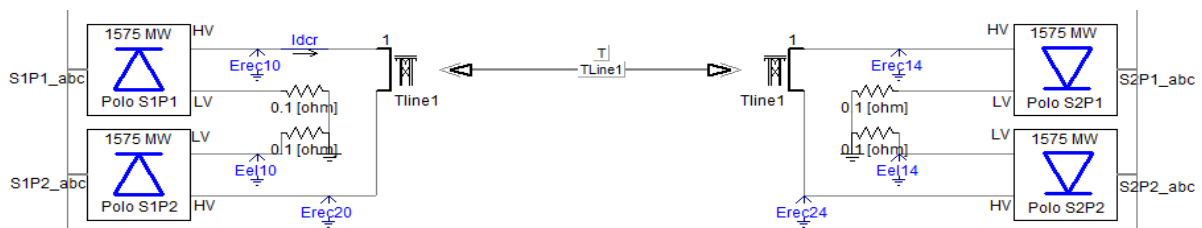


Figura 3: Sistema CCAT utilizado no programa PSCAD

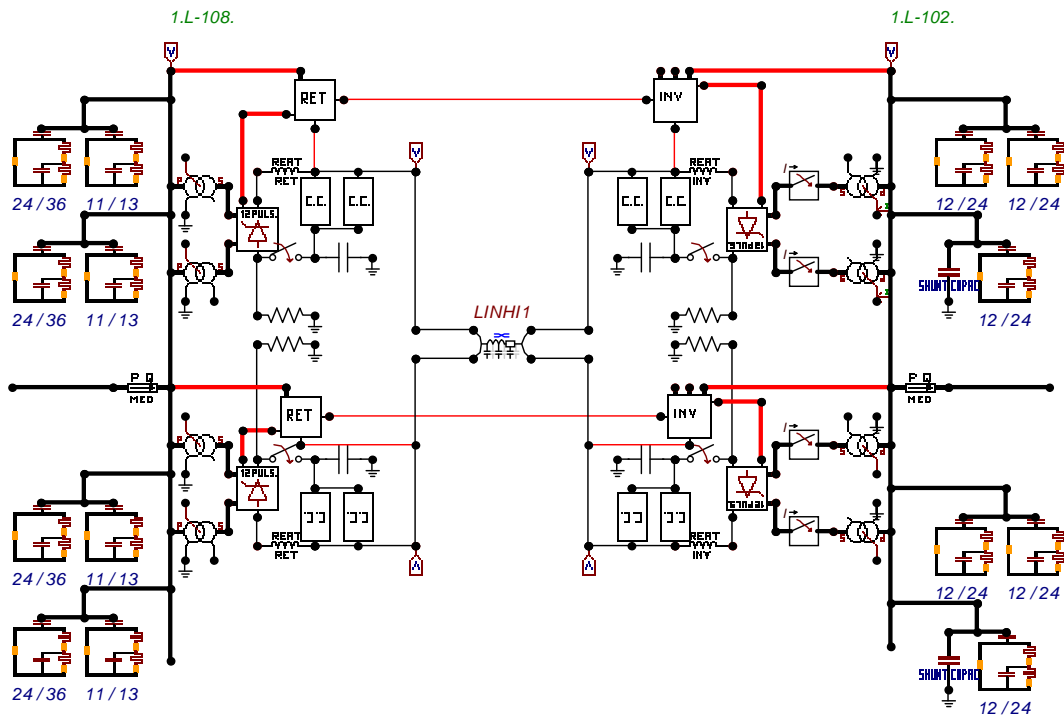


Figura 4: Sistema CCAT utilizado no programa ATP

## 5.0 - RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

A avaliação dos resultados de simulação será feita utilizando eventos de curto-circuito fase-terra na rede CA, do lado do retificador e do inversor, considerando diversos passos de integração. O tempo de simulação utilizado foi de 1 s, com aplicação do defeito em 0,40 s e eliminação do mesmo em 0,50 s por abertura de linha. Os gráficos serão apresentados em escala de tempo de 0,35 s a 0,70 s para melhor visualização dos transitórios. Os resultados foram obtidos utilizando quatro tipos de simulação: PSCAD com e sem interpolação e ATP com os sistemas de controle representados através de TACS e MODELS.

Na Figura 5 são mostrados os resultados de curto-circuito fase-terra do lado do inversor (barra 9) com abertura de um dos circuitos da linha entre as barras 8 e 9. Os resultados da simulação do defeito no lado do retificador (barra 6) com abertura da linha entre as barras 6 e 7 são mostrados na Figura 6. Nestas simulações utilizou-se um passo de integração de 10  $\mu$ s. São apresentadas as variáveis da tensão CA no retificador ( $V_{ca}$  Ret) e inversor ( $V_{ca}$  Inv), ângulo de disparo no retificador (Alfa Ret) e inversor (Alfa Inv), tensão e corrente CC no retificador ( $V_{cc}$  Ret e  $I_{cc}$  Ret, respectivamente).

Deve-se observar que apenas os resultados das simulações do PSCAD com interpolação são apresentados, visto que, para este passo de integração, habilitar ou não a interpolação não fez diferença. Verifica-se nos gráficos apresentados que os resultados são visualmente coincidentes o que evidencia a equivalência dos modelos nas três representações utilizadas.

Nas Figuras 7, 8 e 9 foi avaliada a precisão dos resultados para a variação do passo de integração nos três tipos de representação. Utilizou-se inicialmente os passos de 1  $\mu$ s, 5  $\mu$ s, 10  $\mu$ s e 20  $\mu$ s. Nestas simulações foi possível observar que para os passos considerados não houve alteração dos resultados.

Em seguida, com o intuito de atingir os limites aceitáveis de precisão nos resultados, aumentou-se ainda mais o passo de integração, utilizando os valores de 50  $\mu$ s e 100  $\mu$ s. Para evidenciar a precisão dos resultados utilizou-se o caso de 10  $\mu$ s como referência. Nesta avaliação também se incluiu o modelo PSCAD sem interpolação.

Na Figura 10 são apresentados os resultados utilizando o ATP TACS. Neste caso ambos os passos mostraram-se inadequados quando comparados com a referência adotada. Na simulação ATP MODELS, mostrado na Figura 11, o passo de 50  $\mu$ s mostrou-se ainda adequado, o mesmo não ocorrendo para 100  $\mu$ s. Os resultados da Figura 12, utilizando o PSCAD com interpolação mostram que os resultados são adequados para o passo de 50  $\mu$ s, e para o passo de 100  $\mu$ s o resultado é semelhante, embora não seja visualmente coincidente com os resultados dos passos menores. Por fim na Figura 13 pode-se observar que o PSCAD sem interpolação fornece resultados inadequados para os passos de 50  $\mu$ s e 100  $\mu$ s.

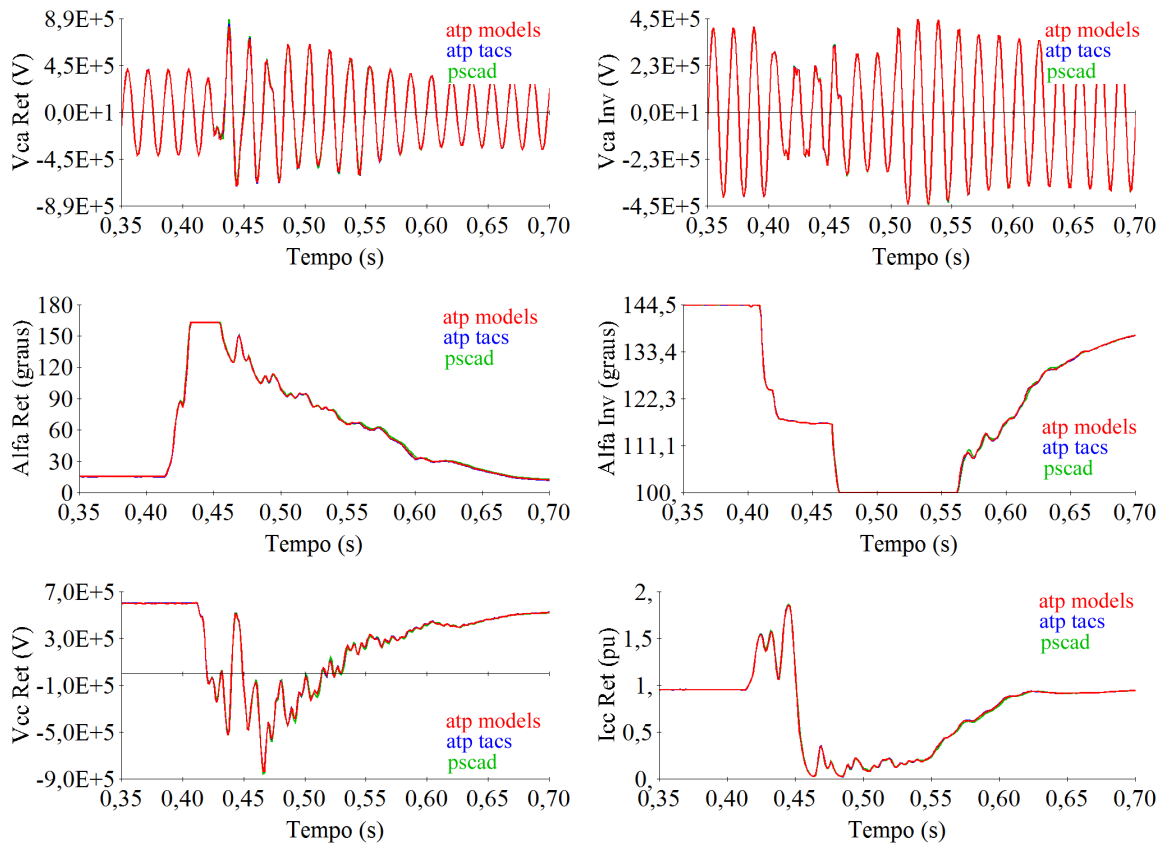


Figura 5: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (passo de  $10 \square$ s)

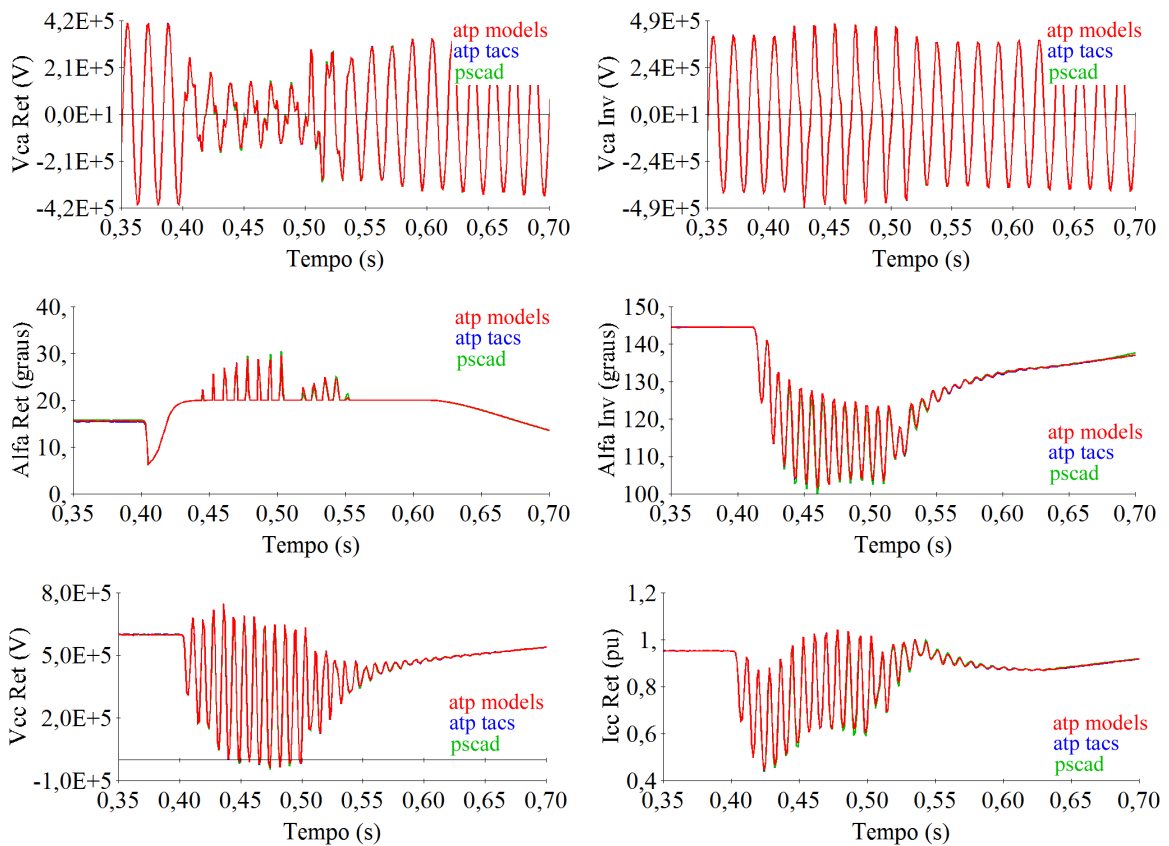


Figura 6: Simulação de defeito remoto no lado do retificador (passo de  $10 \square$ s)

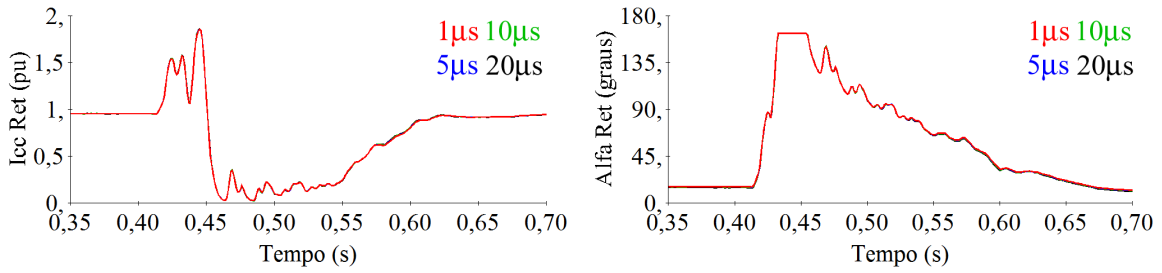


Figura 7: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (ATP TACS)

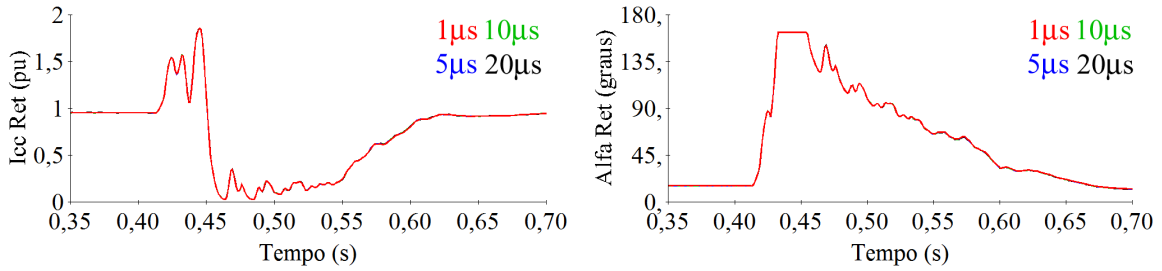


Figura 8: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (ATP MODELS)

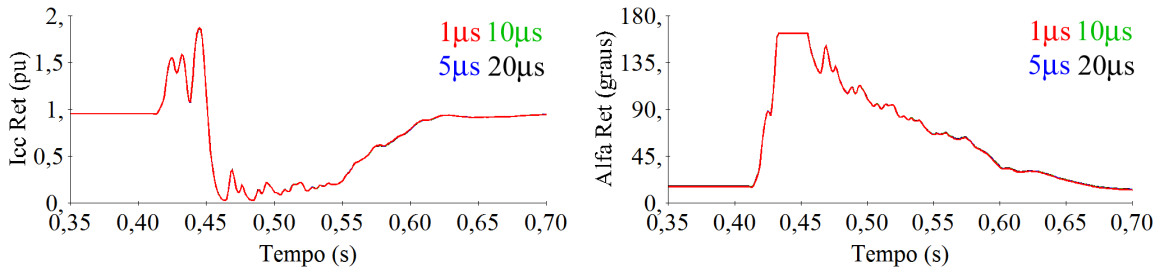


Figura 9: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (PSCAD)

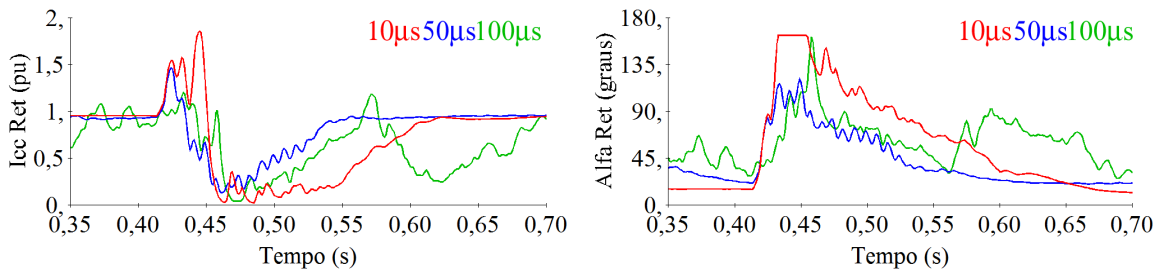


Figura 10: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (ATP TACS)

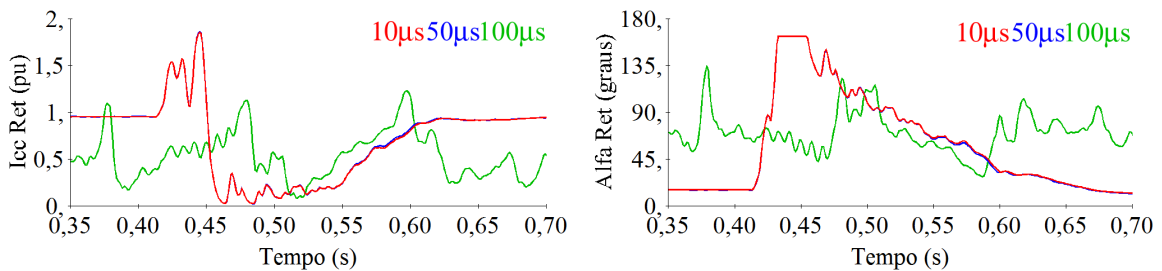


Figura 11: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (ATP MODELS)

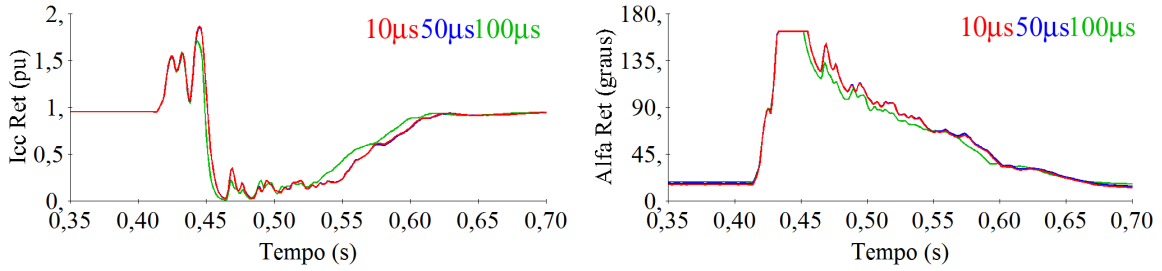


Figura 12: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (PSCAD com interpolação)

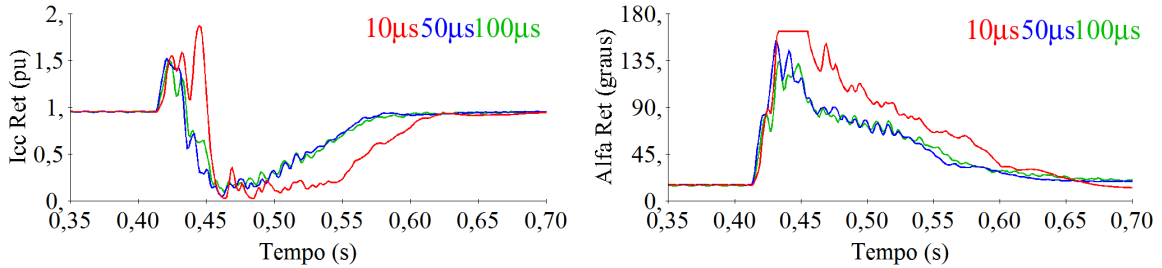


Figura 13: Simulação de defeito remoto no lado do inversor (PSCAD sem interpolação)

De maneira geral pode-se afirmar que nesta avaliação foi possível constatar que o modelo ATP utilizando TACS e PSCAD sem interpolação não fornecem bons resultados para passos de integração de 50  $\mu$ s ou maiores. Enquanto que para o modelo ATP utilizando MODELS ou para o PSCAD com interpolação, os resultados são adequados para um passo de 50  $\mu$ s ou menores.

Os tempos computacionais das simulações de curto-circuito fase-terra do lado do inversor e do retificador, no PSCAD e ATP estão apresentados na Tabela 1, considerando diversos passos de integração: 5  $\mu$ s, 10  $\mu$ s, 20  $\mu$ s, 50  $\mu$ s e 100  $\mu$ s e com dois tipos de simulação em cada programa. Para o ATP considerou-se as modelagens por TACS e MODELS e para o PSCAD a interpolação do passo de integração habilitada ou desabilitada. No total foram 40 simulações (2 curtos-circuitos x 2 programas x 5 passos x 2 tipos de simulação por programa). Na Figura 14 os tempos computacionais estão representados graficamente na forma de histograma, para facilitar a visualização. Os valores numéricos estão apresentados em segundos.

Tabela 1: Tempos computacionais das simulações em PSCAD e ATP

Passo	PSCAD [s]						ATP [s]			
	COM INTERPOLAÇÃO			SEM INTERPOLAÇÃO			MODELS		TACS	
	Snapshot 0s - 2s	cc1f inv <sup>(1)</sup> 2s - 3s	cc1f ret <sup>(2)</sup> 2s - 3s	Snapshot 0s - 2s	cc1f inv <sup>(1)</sup> 2s - 3s	cc1f ret <sup>(2)</sup> 2s - 3s	cc1f inv <sup>(1)</sup> 0s - 1s	cc1f ret <sup>(2)</sup> 0s - 1s	cc1f inv <sup>(1)</sup> 0s - 1s	cc1f ret <sup>(2)</sup> 0s - 1s
5 $\mu$ s	272,0	138,0	136,0	262,2	139,0	134,0	103,6	102,7	60,9	60,2
10 $\mu$ s	145,0	73,0	74,0	133,6	67,4	68,0	52,6	52,1	31,5	31,0
20 $\mu$ s	80,0	41,0	41,0	70,4	36,3	38,0	27,3	26,9	16,8	16,4
50 $\mu$ s	40,0	20,0	21,0	30,8	16,7	16,0	12,0	11,7	7,9	7,6
100 $\mu$ s	27,0	13,0	13,0	17,3	9,9	10,0	6,9	6,8	5,0	4,6

- (1) Curto-circuito fase-terra no lado do inversor
- (2) Curto-circuito fase-terra no lado do retificador

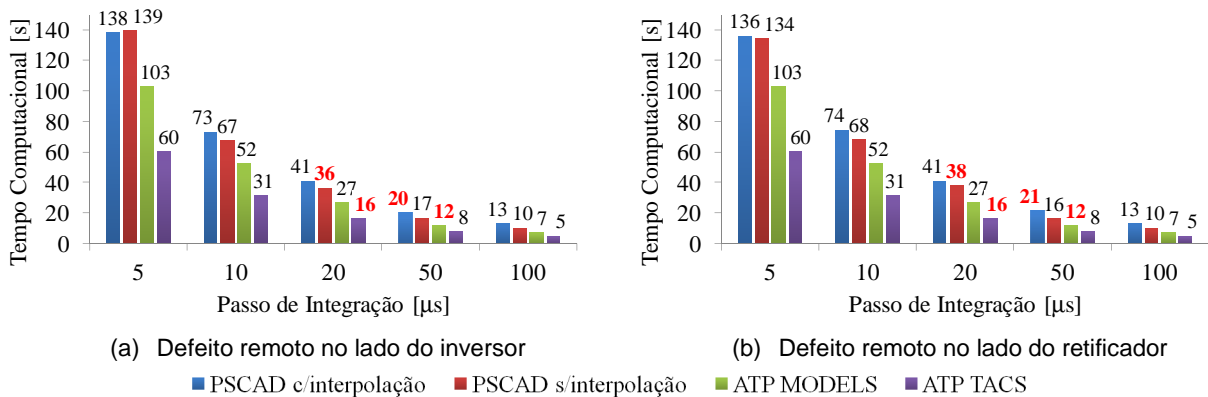


Figura 14: Tempos computacionais das simulações no PSCAD e ATP

Deve-se observar que o PSCAD com a presença de máquinas síncronas exige um tempo adicional de simulação para inicialização do sistema, onde será gerado um arquivo de snapshot que pode ser usado para iniciar as simulações a partir do seu instante de criação, com as variáveis já em regime permanente. Ao simular a partir do arquivo de snapshot, o tempo inicial de simulação pode voltar ao zero conforme utilizado no artigo.

Na ausência de máquinas, o tempo de inicialização pode ser reduzido para valores próximos aos do ATP (0,4 s nos casos simulados), dispensando o uso do arquivo de snapshot. No caso exemplo, com o objetivo de garantir uma inicialização precisa, utilizou-se um tempo de simulação de 2 s para a inicialização do sistema e geração do snapshot. O tempo computacional para criação do snapshot em 2 s, também apresentado na Tabela 1, foi de aproximadamente o dobro do tempo de simulação, que era de 1 s, sendo de 262 s para o passo de 5  $\mu$ s, 134 s para o passo de 10  $\mu$ s, 70 s para o passo de 20  $\mu$ s, 31 s para o passo de 50  $\mu$ s e 17 s para o passo de 100  $\mu$ s. Os snapshots foram compartilhados para as simulações de curto-circuito do lado do retificador e inversor. Não é possível a utilização no PSCAD de snapshot com passo de tempo de integração diferente, devendo-se gerar um para cada passo. Para inicialização do elo CCAT em ambos os programas, utilizou-se a mesma técnica dada em [1] que utiliza fontes de tensão fictícias nos terminais dos conversores, que são desligadas após 0,3 s.

Uma primeira observação que pode ser feita é que o tempo computacional é mais ou menos inversamente proporcional ao passo de integração utilizado, como seria esperado. Por exemplo, para as simulações com passo de 10  $\mu$ s, o tempo computacional é aproximadamente metade do tempo do passo de 5  $\mu$ s, e o dobro do tempo do passo de 20  $\mu$ s.

Outra conclusão é que o tempo computacional é pouco sensível em relação ao defeito. Por exemplo, para o passo de 10  $\mu$ s no PSCAD sem interpolação o tempo computacional do curto no lado do retificador é de 67 s, enquanto que para o curto no inversor é de 68 s. Com interpolação é de 73 s para o inversor e 74 s para o retificador. No ATP utilizando MODELS é de 53 s para o inversor e 52 s para o retificador. Para a TACS é de 32 s e 31 s, respectivamente.

Como verificado, para um mesmo passo de integração, o tempo computacional do ATP TACS é de aproximadamente 60% do tempo da ATP MODELS. Em relação ao PSCAD com interpolação, este tempo do ATP TACS é em torno de 46%. Desabilitar a interpolação no PSCAD não traz grandes reduções de tempo computacional. Nas mesmas simulações utilizando passo de 10  $\mu$ s, sem interpolação o curto no lado do inversor possui tempo computacional de 67 s e com interpolação de 74 s. No entanto a precisão dos resultados com interpolação é bem maior do que sem interpolação, como visto anteriormente. Ou seja, com interpolação, tem-se resultado razoável com passo de até 100  $\mu$ s, que possui tempo computacional de 13 s, enquanto que o tempo do caso sem interpolação, com passo de 20  $\mu$ s, que dá resultado razoável, seria de 42 s, ou seja, mais de 3 vezes o tempo computacional do caso com interpolação. A simulação com passo de 50  $\mu$ s sem interpolação é muito imprecisa e não poderia ser utilizada.

Na Figura 15 é apresentado o tempo computacional para os casos com maior passo de integração que possuem respostas coincidentes com os passos de integração reduzidos, ou seja, os melhores tempos computacionais para os quatro tipos de simulação (PSCAD com e sem interpolação e ATP utilizando MODELS ou TACS), sem perda de precisão. A Figura 15a possui os tempos em segundos, enquanto que a Figura 15b possui os tempos normalizados pelo tempo do ATP MODELS. Para o PSCAD com interpolação utilizou-se o passo de 50  $\mu$ s, para o PSCAD sem interpolação, o passo de 20  $\mu$ s, para o ATP TACS o passo de 20  $\mu$ s e para o ATP MODELS o passo de 50  $\mu$ s. Estes valores estão destacados em vermelho na Figura 14. Verifica-se que do ponto de vista de eficiência computacional, o ATP MODELS foi o melhor. No entanto verifica-se também que o PSCAD com interpolação é o mais robusto, pois o caso com passo de 100  $\mu$ s, embora não tenha produzido resposta coincidente, produziu bons resultados, diferentemente dos outros três tipos de simulação.

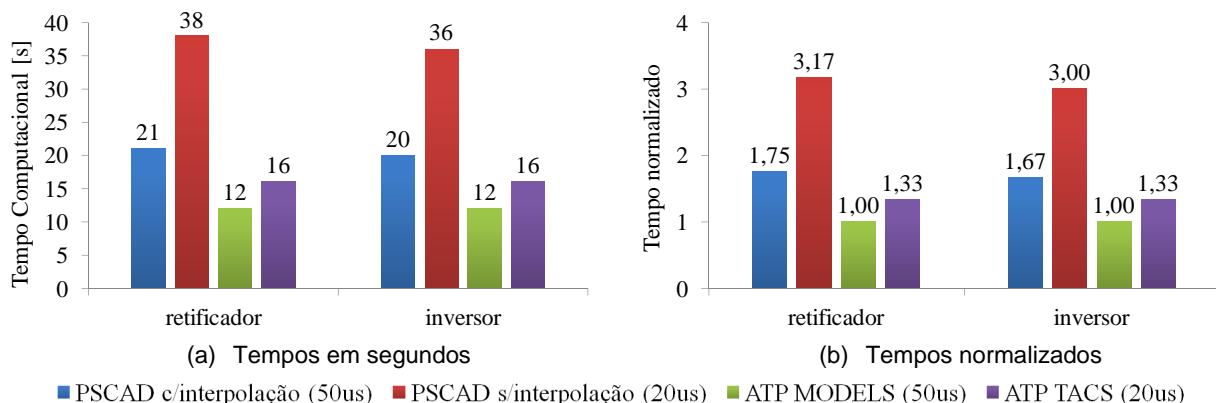


Figura 15: Análise comparativa dos melhores tempos computacionais para os quatro tipos de simulação



## 6.0 - CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentado uma análise dos resultados e desempenho computacional dos programas ATP e PSCAD para sistemas contendo elos de corrente contínua e máquinas síncronas. Uma primeira conclusão é que desde que se utilize modelos equivalentes e passos de integração adequados os resultados entre os programas ATP e PSCAD são coincidentes. Verificou-se que o ATP utilizando a MODELS foi o mais eficiente, utilizando passo de integração de 50  $\mu$ s sem perda de precisão. O PSCAD com interpolação produziu resultados mais robustos, no sentido que foi o único capaz de produzir respostas satisfatórias com passo de 100  $\mu$ s. Verificou-se ainda que não é recomendável desabilitar a interpolação do passo no PSCAD pois, ou torna o resultado mais impreciso, ou exige passos de integração reduzidos piorando o desempenho computacional. Outra conclusão importante foi que a inicialização no ATP de sistemas com máquinas síncronas é muito boa, não exigindo a simulação prévia de um tempo de alguns segundos para atingir o regime permanente, como necessário no PSCAD, tornando a eficiência computacional do ATP ainda maior. Deve-se observar que algumas dessas conclusões podem variar conforme o caso em estudo, e a modelagem do sistema de controle, mas servem como indicativo da questão do desempenho computacional entre os programas. Em particular o desempenho do tempo computacional entre programas ou diferentes representações pode variar significativamente em estudos com uma quantidade de elos HVDC maiores, como por exemplo, em estudos de multifeed.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L.P.Almeida, F.L.Lirio, S.Gomes Jr, G.Sarcinelli, "Sistema Benchmark no PSCAD e ATP contendo Elo de Corrente Contínua e Máquinas", XIII SEPOPE, May 2014, Foz do Iguaçu, Brazil.
- [2] K.U. LEUVEN EMTP CENTER - Alternative Transient Program Rule Book and Hans Kr. Hoidalén – ATPDraw Manual.
- [3] PSCAD – Circuit Design and Custom Models – Tutorial Manuals – Manitoba Research Center.

## 8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Leonardo Pinto de Almeida graduou-se em Engenharia Elétrica pela UFRJ em 2000, obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ. Desde 1998 trabalha no CEPEL. Atualmente, encontra-se no Departamento de Redes Elétricas e tem se dedicado à realização de estudos elétricos de sistemas de potência solicitados por diferentes agentes do Setor. Participa dos estudos do Projeto de Transmissão em CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira, e mais recentemente, da usina de Belo Monte. É membro do Comitê de Estudos B4 (CCAT e Eletrônica de Potência) do Cigré-Brasil. Suas principais áreas de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado à Sistemas de Potência e Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.



Fabricio Lucas Lirio graduou-se em Engenharia Elétrica em 1998 na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) em 2000. Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) em 2007. Desde 2000 trabalha no CEPEL, onde atua no Departamento de Redes Elétricas (DRE). Trabalha no desenvolvimento do Programa ANATEM, participou dos estudos da alternativa CCAT para o Aproveitamento das usinas do rio Madeira e Belo Monte e auxilia no desenvolvimento do Programa PacDyn. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos, Eletromecânicos e Harmônicos. É membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.



Sergio Gomes Junior. graduou-se em Engenharia Elétrica em 1992 pela Universidade Federal Fluminense, concluiu Mestrado e Doutorado também em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1995 e 2002 e em 2004 fez um pós-doutorado na *Northeastern University* em Boston, Estados Unidos. Desde 1994 é pesquisador do Cepel trabalhando na pesquisa e desenvolvimento de programas computacionais para a análise de sistemas de potência e desde 2000 é gerente do projeto PacDyn no Cepel. Desde 2010 também é professor adjunto da Universidade Federal Fluminense. Suas principais áreas de interesse são: dinâmica e controle de sistemas de potência, eletrônica de potência, harmônicos e transitórios eletromagnéticos. É *Senior Member* do IEEE e membro do Comitê de Estudos B4 do Cigré-Brasil.



Guilherme Sarcinelli Luz, brasileiro, nascido no RJ em 1957, engenheiro eletricista pela UFRJ (1981) - Engenheiro de FURNAS C.Elétricas S.A., lotado na Diretoria de Operação.

Áreas de atuação: Simulação de Transitórios Eletromagnéticos e Sistemas de Corrente Contínua utilizando os programas ATP e PSCAD. Trabalha em FURNAS desde 1996, após trabalhar 11 anos na área de Consultoria na PROMON, THEMAG e Eletroconsult de Paraguay.



Antônio Ricardo Cavalcanti Dias de Carvalho graduou-se em Engenharia Elétrica em 1981 na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Em 1987 obteve o título de Mestre na área de Sistemas de Potência na COPPE/UFRJ, apresentando dissertação sobre a Modelagem de Sistemas de Controle de Elos CCAT em Programas de Transitórios Eletromagnéticos (EMTP).

Até 1986 trabalhou em Furnas, no Departamento de Estudos Elétricos da Operação, onde se dedicou principalmente aos estudos associados ao início da operação dos bipolos CCAT do Sistema da UHE Itaipu. No CEPEL, atuou em diversos trabalhos sobre transmissão CCAT e equipamentos FACTS, tais como: desenvolvimento de modelos de elos CCAT, SVC e TCSC no programa ATP; Projeto "HVDC Multinfeed", em conjunto com o EPRI (USA); estudos elétricos do Projeto CCAT/CCC de Garabi; da alternativa CCAT para o aproveitamento das usinas do rio Madeira e expansão da Interligação Norte-Sudeste. É membro dos Comitês de Estudos B4, C1 e C2 do Cigré-Brasil. Seus campos de interesse são: Transmissão CCAT, Equipamentos FACTS, Controle aplicado a Sistemas de Potência, bem como Estudos de Transitórios Eletromagnéticos e Eletromecânicos.