

## **CAPÍTULO II - ID 03 CLUSTER**



Figura II.1 – Vista do cluster no LabCin do CEPEL.

Esta atividade está descrita na meta 2 do SICONV e seu Termo de Referência recebeu o nº 03. Destina-se à aquisição de clusters para atualização da infraestrutura computacional do Laboratório de Computação Intensiva (LabCin) do CEPEL.

Para atender tal objetivo, foi realizado o pregão eletrônico PE001/2012-BIRD, tendo o contrato de fornecimento nº 092/2012, no valor de R\$ 4.728.000,00, sido assinado com a Empresa Torino Informática Ltda. em 14/06/2013. Os termos de recebimento definitivo foram emitidos em 27/09/2013 (MME) e 13/11/2013 (CEPEL) e o pagamento concluído em fevereiro de 2014.

A seguir, são apresentados os relatos da utilização dos clusters no período e o histórico da manutenção do equipamento desta atividade:

### **II.1 Atividades do LabCin no 3º trimestre de 2017**

No projeto NEWAVE, responsável pelo desenvolvimento de metodologias e programa computacional para o planejamento da operação de longo-médio prazo de sistemas hidrotérmicos interligados, durante o 3º trimestre de 2017 foi realizado o apoio na extensão metodológica e adaptação do programa NEWAVE para representação do parque hidroelétrico por usinas individualizadas nos primeiros períodos do horizonte de planejamento e por reservatórios equivalentes de energia nos períodos subsequentes.

No âmbito do projeto DECOMP, responsável pelo planejamento da geração de curto prazo, foram realizadas diversas rodadas para validação interna, pelo CEPEL, das versões 25.1 a 25.7 do programa DECOMP. Estas validações consistiram na execução, a cada nova versão do modelo, de mais de 450 casos, correspondentes ao histórico dos Programas Mensais de Operação (PMO) e revisões, de 2009 até hoje, para verificar a adequação das recentes funcionalidades implementadas no modelo. Dentre essas funcionalidades se destacam:

- 1) Validação, pela 74a FT DECOMP, da versão 26(25.7) para uso pelo ONS e CCEE;

2) Representação do Modelo Linear para a Evaporação nos Reservatório diretamente no problema de programação linear (PL);

Já o modelo SUISHI, modelo de Simulação a Usinas individualizadas para Sistemas Hidrotérmicos Interligados, desenvolvido pelo CEPEL, no terceiro trimestre de 2017 os modos de simulação para cálculo de energia firme, de simulação hidrotérmica, e de simulação para cálculo de energia garantida foram aperfeiçoados com:

- 1) A escrita de novas variáveis no arquivo de saída SUBSIS.CSV;
- 2) A consideração da NOVA SAR no módulo de otimização entre subsistemas equivalentes;
- 3) Adaptação do programa conversor para que desconsidere eventuais alterações de características informadas para UHEs ainda não existentes. Em virtude destes e de outros aperfeiçoamentos, foram produzidas as versões 13.0.1, 13.1 e 13.2 do modelo. Consequentemente, durante o terceiro trimestre de 2017, o cluster foi utilizado para a realização de testes das melhorias implementadas. Diferentes plataformas de dados foram utilizadas, tais como as empregadas no Plano Mensal de Operação (PMO), na elaboração do Plano Decenal de Expansão de Energia e também na revisão ordinária de garantia física de energia das usinas hidroelétricas.

Conforme relatório de Atividades enviado pelo Sr. Felipe Marques Kede Melo, no cluster que se encontra no Ministério de Minas e Energia – MME, nesse trimestre, os casos foram rodados com êxito conforme solicitados pelas áreas responsáveis. Não foram instaladas novas versões no período.

Não houve manutenção de hardware nesse período no cluster que se encontra no CEPEL.

Não houve manutenção de hardware nesse período no cluster que se encontra no MME.

## **II.2 Balanço Final da Atividade Cluster**

Na avaliação do CEPEL, os Clusters adquiridos no âmbito do Convênio nº 769362/2012 vêm cumprindo o propósito para o qual foram especificados. Todos estes avanços descritos foram obtidos graças à infraestrutura de clusters computacionais, que provê ao MME e CEPEL um ambiente para desenvolvimento e execução de aplicações de alto desempenho, que utilizem técnicas de computação paralela.

## **II.3 Avaliação dos Benefícios da atividade CLUSTERS**

### **1. Contextualização**

O CEPEL desenvolve, desde a década de 1980, uma ampla cadeia de modelos computacionais para a utilização no planejamento da expansão da geração e na operação energética do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Essa cadeia de modelos permite a análise de cenários com horizontes temporais de 20-30 anos, com discretização mensal, até casos com horizontes temporais de uma semana com discretização horária, obtendo as metas de geração para cada usina que atendam a demanda e minimizem o valor esperado do custo de operação ao longo do período.



Fazem parte dessa cadeia os modelos do CEPEL, denominados NEWAVE, para cálculo de estratégias de operação, de longo/médio prazo, de sistemas hidrotérmicos interligados, DECOMP, para determinação da coordenação da operação de curto prazo, e SUISHI, para a simulação da operação a usinas individualizadas de sistemas hidrotérmicos interligados.

Esses modelos são de uso oficial no setor elétrico nacional, sendo suportados por processos formais de homologação. São largamente empregados em atividades como as de planejamento da expansão, cálculo das garantias físicas de novos empreendimentos (NEWAVE e SUISHI) e cálculo do índice de custo-benefício (ICB) dos leilões de energia nova (NEWAVE) realizados pelo Ministério das Minas e Energia (MME) e Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE); planejamento da operação energética de longo/médio (NEWAVE) e curto prazo (DECOMP) conduzido pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico; determinação do preço de liquidação das diferenças realizado pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); e estudos de planejamento e operação do Sistema Elétrico Brasileiro.

O modelo NEWAVE resolve de forma eficiente um dos maiores problemas de otimização estocástica, permitindo aproveitar, de maneira eficiente e racional, os recursos hídricos do País, na geração de energia elétrica através de usinas hidráulicas. Outra vantagem do uso do NEWAVE é a minimização dos custos de operação do Sistema Elétrico considerando mecanismos de aversão a risco e a maximização da segurança energética, trazendo um ganho econômico significativo para toda a sociedade brasileira.

O modelo DECOMP resolve o problema do planejamento da operação de curto prazo, obtendo as metas semanais, para o primeiro mês, e mensais, para o segundo mês, de geração para cada usina do sistema individualmente.

O modelo SUISHI simula a operação mensal do sistema hidrotérmico interligado a usinas individualizadas a partir da política de operação fornecida pelo modelo NEWAVE.

## **2. Benefícios para o CEPEL**

A aquisição dos novos clusters permitiu o aprimoramento dos programas computacionais. Esses modelos são partes importantes na tarefa de coordenação hidrotérmica de longo/médio prazo e curto prazo, e de planejamento da expansão da geração do Setor Elétrico Brasileiro. A seguir estão listados os principais aprimoramentos realizados nos modelos NEWAVE, DECOMP e SUISHI da Cadeia de Modelos para o Planejamento Energético do CEPEL:

No âmbito do projeto NEWAVE, foram desenvolvidos diversas funcionalidades. Dentre essas funcionalidades se destacam:

- Desenvolvida opção de alocação em memória dos cortes de Benders e energia natural afluyente;
- Até a versão 19 do modelo NEWAVE não havia diferenciação entre submercados e reservatórios equivalentes de energia(REE). A partir da versão 19.1, essas representações passam a ser feitas de forma diferenciada. Foram executados conjuntos de testes com diferentes configurações de REE x Submercados com o intuito de avaliar qual seria o ganho em modificar a atual configuração. A representação do sistema hidroelétrico em um maior número de REEs permitiu uma melhor representação das características hidrológicas das usinas;

- Aprimoramento do mecanismo de aversão a risco denominado Superfície de Aversão a Risco (SAR) que apresentava dois aspectos negativos: o tempo computacional elevado e a falta de intuição do valor a ser adotado para a penalidade pelo não atendimento desta restrição, devido ao efeito cumulativo. Foi desenvolvido uma dissertação de mestrado com o intuito de corrigir as duas deficiências apontadas, dando origem à NOVA SAR.
- Para atender encaminhamento da Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico (CPAMP), foi realizada avaliação dos impactos de uma nova Função Custo de Déficit (FCD) proposta sobre os estudos de planejamento da expansão e da operação do sistema elétrico brasileiro. Foram rodados casos com diversas configurações de PMO (Plano Mensal de Operação), de PLD (Preço de Liquidação de Diferenças), de Cálculo de Garantia Física para Leilões e Planos Decenais de Expansão de Energia, considerando as FCD proposta e atual representadas em um e quatro patamares. Devido ao alto número de casos simulados, foram desenvolvidos ferramentas auxiliares para gerenciamento das execuções no cluster e coleta de resultados.
- No âmbito do Grupo de Trabalho “Questões Metodológicas Associadas aos Modelos Computacionais de Expansão e Operação” – GT7/CPAMP foram avaliados novos valores para os parâmetros do método de aversão a risco CVaR utilizado pelo modelo NEWAVE. Foram rodados no cluster um grande número de casos considerando diferentes combinações de parâmetros, além de sua aplicação em diversas configurações.
- Extensão metodológica e adaptação de método de tratamento dos cortes de Benders gerados pelo modelo NEWAVE durante a estratégia de Programação Dinâmica Dual Estocástica com o objetivo de reduzir significativamente o tempo de CPU, através de um número extenso de casos baseados em PMOs (programa mensal de operação de responsabilidade do ONS) e PDEs (plano decenal de energia de responsabilidade do MME/EPE);
- Extensão metodológica e adaptação do programa NEWAVE para representação do parque hidroelétrico por usinas individualizadas nos primeiros períodos do horizonte de planejamento e por reservatórios equivalentes de energia nos períodos subsequentes.

No âmbito do projeto DECOMP, foram validadas diversas versões. Estas validações consistiram na execução, a cada nova versão do modelo, de mais de 300 casos, correspondentes ao histórico dos Programas Mensais de Operação (PMO) e revisões, de 2009 até hoje, para verificar a adequação das funcionalidades implementadas no modelo. Dentre essas funcionalidades se destacam:

- Divisão dos Submercados/Subsistema em Reservatórios Equivalentes de Energia (REE);
- Impressão de novos arquivos no formato de tabelas (.csv);
- Estudos de recuperação de base para a resolução dos problemas de otimização gerados pelo modelo DECOMP.
- Leitura e tratamento de vazões passadas através do arquivo "vazoes.xxx" e Leitura do arquivo "vazoes.xxx" gerado pela versão 5.3 do programa GEVAZP;
- Cálculo das energias levando em consideração a vazão incremental do posto de acoplamento, sem a necessidade da consideração do tempo de viagem da água;
- Troca de escrita/leitura em arquivos auxiliares por uso de variáveis, para fins de redução do tempo computacional no procedimento de impressão dos relatórios de saída.



- Cálculo das ENAS de acoplamento com o NEWAVE utilizando as vazões lidas no arquivo "vazao.xxx" gerado pela versão 5.3 do GEVAZP. Estas implementações foram desenvolvidas em conjunto com o modelo GEVAZP, versão 5.3
- Inclusão de variável de folga para as restrições de balanço hidráulico das usinas com vertimento proibido.

O projeto SUIISHI teve a sua primeira versão e validação paralela em 2015 já utilizando o cluster adquirido com os recursos do projeto META. Desde então diversas versões foram implementadas e validadas. Dentre essas funcionalidades se destacam:

- Incorporou-se ao modelo a Simulação a Usinas individualizadas para Sistemas Hidrotérmicos Interligados desenvolvido pelo CEPEL, as metodologias necessárias para a consideração de diferentes Reservatórios Equivalentes de Energia (REEs) dentro de um mesmo Submercado, assim como para a consideração do acoplamento hidráulico entre REEs;
- Atualização do modo de simulação para cálculo de garantia física de energia, o qual passa a estar compatível com a portaria MME nº 101, de 22 de Março de 2016;
- Compatibilização, nas simulações para cálculo de energia firme, do cálculo da energia fio d'água líquida com as premissas adotadas na versão 10.3 do modelo SUIISHI;
- Compatibilização, no módulo de otimização do balanço hidrotérmico entre REEs, da penalidade de vertimento com o valor adotado na versão 22.6 do modelo NEWAVE;
- Consideração de curvas guia de operação para diversos reservatórios fio d'água;
- Atualização do modo de simulação para cálculo de energia garantida, que foi aperfeiçoado originando as versões 12.1 e 12.2 do modelo.
- Consideração de todos os polinômios vazão x nível de jusante cadastrados para uma determinada usina hidroelétrica.
- Consideração do mecanismo de aversão a risco denominado Superfície de Aversão a Risco (SAR) no módulo de otimização entre subsistemas;

A infraestrutura implantada permitiu ampliar a capacidade de estudos simultâneos, conforme demonstram os indicadores estabelecidos, calculados e apresentados nos Relatórios de Acompanhamento do Convênio semestralmente, a saber:

#### **Índice de Ganho de Execução (IGE)**

O índice IGE fornece o ganho obtido pelo LABCIN, em termos de quantidade de casos simultâneos e através da comparação dos tempos médios de execução que o programa NEWAVE leva para resolver os casos oficiais de PMO num determinado período de apuração entre o cluster antigo e o novo.

Tabela II.1 – Valores semestrais do indicador Índice de Ganho de Execução (IGE)

IGE	2014	2015	2016	2017
1º Semestre	-	64.23%	35.05%	56.31%
2º Semestre	67.85%	59.64%	44.67%	-

A nova estrutura permitiu o desenvolvimento e aplicação de novas estratégias de paralelização, a saber:

- Gerenciamento externo na solução dos problemas de programação linear (PLs);
- Comunicação em 2 Níveis: Como a comunicação entre processadores da mesma blade é mais rápida, as informações coletivas são enviadas para 1 processador e esse processador é responsável por distribuir para os outros processadores da mesma blade;
- Armazenamento Local dos Cortes de Benders: Evita o aumento da comunicação com aumento do processo iterativo;
- Opção de armazenar Energias Naturais Afluentes em Memória;
- Opção de armazenar Cortes em Memória;
- Ajustes no código fontes para aumentar a eficiência.

### **3. Benefícios para o Setor Elétrico e para a Sociedade como um todo.**

Os aprimoramentos viabilizados na cadeia de modelos computacionais do CEPEL, apoiados pelo LabCin, possibilitaram ganhos adicionais na qualidade dos planos de expansão da geração e operação energética, no sentido da minimização de custos e riscos de racionamento de energia. Adicionalmente, o ganho de desempenho nos cálculos numéricos, agilizou o processamento de casos de estudo, permitindo aumentar a quantidade de cenários analisados, conferindo maior segurança aos resultados, minimizando o efeito do risco inerente de incertezas futuras. A possibilidade de execução de uma quantidade maior de casos simultâneos permitiu abranger uma quantidade maior de alternativas para a solução de um estudo ou de testes para um novo desenvolvimento na modelagem matemática, agilizando em ambos os casos a obtenção do produto final.



## **CAPÍTULO VII - ID 11 LABPMU**



Figura VII.1 – Vista geral do LABPMU onde estão alocados os equipamentos adquiridos nesta atividade.

Esta atividade está descrita na META 1 do Plano de Trabalho do SICONV e seu Termo de Referência recebeu o nº 11. Destina-se à aquisição de equipamentos para o Laboratório de Medição Fasorial Síncrona do CEPEL (LABPMU).

Para estas aquisições foram realizados cinco pregões eletrônicos, a saber:

Pregão eletrônico PE004/2013-BIRD, para aquisição dos lotes: LOTE 1 – Unidades de Medição Fasorial e Receptores GPS Externos c/ acessórios; LOTE 2 – PMU com relé de proteção de LT e Receptor GPS Externo; LOTE 3 - PMU com relé de proteção de LT e Receptor GPS Interno; LOTE 4 - PMU com medição de qualidade de energia e Receptor GPS interno, dando origem aos contratos de fornecimento:

- nº 370/2013, no valor de R\$ 28.557,00, assinado com a empresa Reason Tecnologia S/A em 04/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 17/10/2014 e o pagamento concluído em outubro de 2014. Lote 1
- nº 371/2013, no valor de R\$ 134.000,00, assinado com a empresa Schweitzer Engineering Laboratories Comercial Ltda. em 22/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 01/12/2014 e o pagamento concluído em dezembro de 2014. Lotes 2 e 3.
- nº 372/2013, no valor de R\$ 59.600,00, assinado com a empresa Novakoasin Equipamentos e Sistemas em 04/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 31/10/2014 e o pagamento concluído em novembro de 2014. Lote 4.

Pregão eletrônico PE005/2013-BIRD, para aquisição de Equipamentos para o Laboratório de Medição Fasorial Síncrona (osciloscópio, multímetros e fonte de alimentação DC), dando origem ao contrato de fornecimento nº 367/2013, no valor de R\$ 71.000,00, assinado com a empresa Rohde & Schwarz do Brasil Ltda. em 15/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 01/12/2014 e o pagamento concluído em dezembro de 2014.

Pregão eletrônico PE006/2013-BIRD, para aquisição dos lotes 1 - Aquisição de Licenças de Programas Computacionais para o Laboratório de Medição Fasorial Síncrona; 2 – Aquisição de Equipamentos para o

Laboratório de Medição Fasorial Síncrona (servidor e estações de trabalho), dando origem aos contratos de fornecimento:

- nº 368/2013, no valor de R\$ 76.500,00, assinado com a empresa Schweitzer Engineering Laboratories Comercial Ltda. em 22/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 04/12/2014 e o pagamento concluído em dezembro de 2014.
- nº 369/2013, no valor de R\$ 28.490,00, assinado com a empresa Print Solução em Tecnologia Ltda. em 07/08/2014. O termo de recebimento definitivo foi emitido em 06/11/2014 e o pagamento concluído em dezembro de 2014.

Pregão eletrônico PE001/2016-BIRD, para aquisição do simulador digital em tempo real, deu origem ao contrato de fornecimento nº 144/2016, no valor de R\$ 1.800.000,00, assinado com a empresa Nova Didacta Comércio de Equipamentos Industriais e Didáticos Ltda. em 27/07/2016. O Prazo para fornecimento previsto em contrato foi de 180 dias. Porém o fornecedor antecipou a entrega. Esta se deu em 28/09/2016. As atividades de instalação, comissionamento e treinamento se deram no período de 21/11/2016 a 08/12/2016. Desta forma, o Termo de Recebimento Definitivo foi emitido em 09/12/2016 e o pagamento realizado em 15/12/2016, concluindo a execução do contrato.

Pregão eletrônico PE003/2016-BIRD, para aquisição dos amplificadores de tensão e corrente. A empresa OHMINI COM. IMP. EXP. DE PRODUTOS, fez proposta no valor de R\$ 312.500,00. O contrato de fornecimento nº 288/2016 foi assinado em 01/11/2016, sendo o prazo de entrega previsto de 120 dias. Os amplificadores foram entregues em 20/03/2017. Na ocasião o fornecedor alegou problemas no transporte da China para o Brasil (carnaval no Brasil e ano novo chinês na China, além de problemas climáticos nos Estados Unidos que impediram a carga de seguir viagem) para justificar o atraso na entrega. O termo de recebimento provisório foi emitido em 24/03/2017. O Termo de Recebimento o Definitivo emitido em 12/05/2017, após a aprovação nos testes de aceitação. O pagamento dos R\$ 312.499,97 constantes na nota fiscal ocorreu em 25/05/2017, concluindo a execução do contrato.

#### **VII.1 Atividades do LABPMU no 3º trimestre de 2017**

**Estudo sobre o Desempenho de PMUs em Ensaios de Degrau de Fase e de Amplitude e Simulação e Tempo Real**

##### **1. Introdução.**

Sistemas de Medição Fasorial correlacionam no tempo informações de fase e magnitude de tensões e correntes medidas em diferentes pontos geográficos de um sistema elétrico de potência. Os seus principais componentes são as unidades de medição fasorial ("phasor measurement unit" - PMU), que devem ter seu desempenho avaliado antes de sua instalação em campo. Este relatório apresenta alguns resultados dos testes de referência, especificamente ensaios de degrau de fase e de magnitude, realizados no LabPMU do CEPEL com unidades PMUs apresentando diferentes configurações. O objetivo é enfatizar a necessidade de verificação da configuração correta, antes de sua instalação em campo.

##### **2. Ensaio de degrau de fase e de magnitude em PMUs de classe M e classe P**

Um dado importante é que as PMUs podem ser configuradas como tipo "M" (focado em medição) e "P" (focado em proteção) dentro do mesmo sistema. Para avaliar o efeito deste tipo de arranjo foram



analisados os resultados obtidos programando duas PMUs de um mesmo fabricante e mesmo modelo com duas configurações distintas ("M" e "P").

Usando-se o calibrador foram realizados ensaios em PMUs para avaliar o tempo de resposta para degraus de amplitude e de fase na tensão e na corrente. A figura 1 ilustra este ensaio: o tempo de resposta corresponde ao tempo entre o instante em que a PMU começa a apresentar o erro total vetorial ("total vector error" - TVE) (1) maior que 1% até o momento em que o TVE volta a se tornar menor que 1% novamente. Os resultados apresentam-se nas tabelas 1 e 2, a seguir. A partir dos limites da norma e dos resultados apresentados pelas PMUs, conclui-se que a PMU configurada como classe P é mais rápida do que quando configurada como classe M.

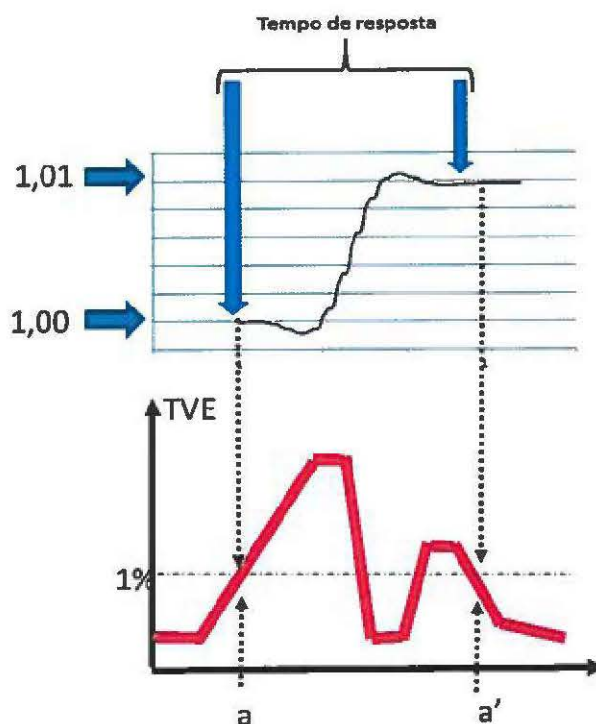


Figura VII.2 – Ensaio de degrau na magnitude de PMUs

Tabela 1 – Tempo de resposta para o Degrau de Amplitude.

	Limite (ms)	Medido (ms)	Resultado
Tipo M	116,7	60,0	passou
Tipo P	33,3	28,3	passou

Tabela 2 – Tempo de resposta para o Degrau de Fase.

	Limite (ms)	Medido (ms)	Resultado
Tipo M	116,7	66,7	passou
Tipo P	33,3	33,3	no limite da norma

### 3. Simulação em tempo real em PMUs de classe M e classe P

Este capítulo tem o objetivo de avaliar se os fenômenos relatados nas PMUs, através dos ensaios com o calibrador, apresentados no capítulo 2, poderiam se manifestar em simulações de eventos de sistemas elétricos. Para isto foram realizados ensaios baseados em simulador em tempo real RTS.

No simulador em tempo real realizou-se ensaio com o circuito elétrico apresentado na figura 2. Há duas PMUs do mesmo fabricante instaladas na barra da esquerda, configuradas como “M” e “P”. Foi aplicada uma falta e os disjuntores brk1 e brk2 abriram cerca de 150 ms após o evento, permanecendo abertos por 300 ms. Quando os mesmos foram fechados, a falta já havia sido retirada.

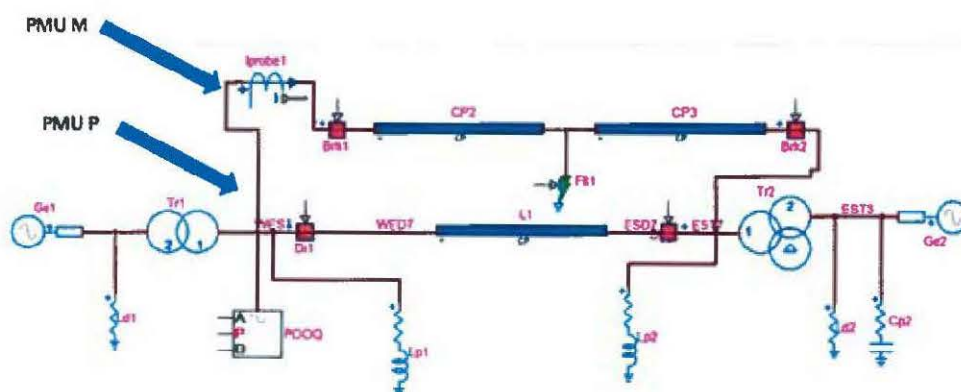


Figura VII.3 – Circuito usado no simulador em tempo real

Observam-se na figura 4 os resultados da simulação. A PMU M demora mais a para atingir o ponto de operação se comparada a PMU P, conforme havia sido observado nos ensaios do calibrador (capítulo 2). É importante destacar que nos ensaios realizados não foram levados em consideração possíveis efeitos dinâmicos trazidos pelos transformadores de instrumentos.

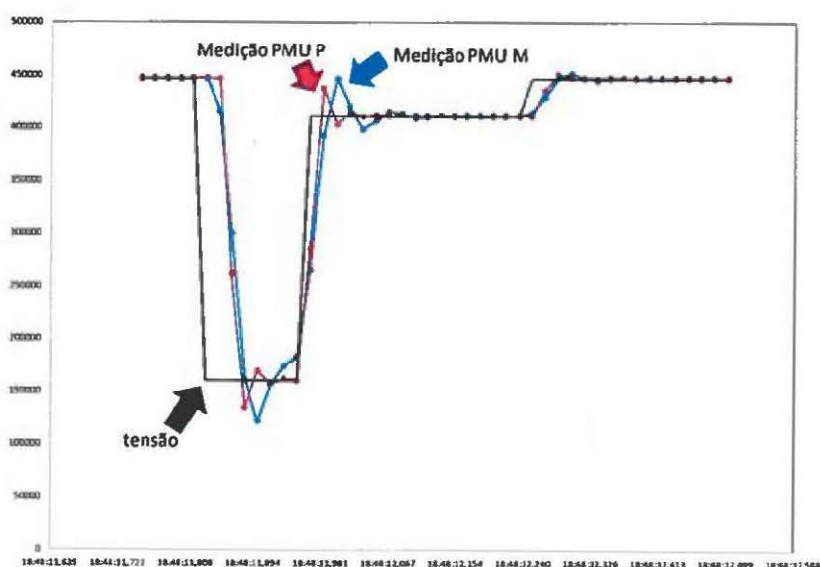


Figura VII.4 – Resultados obtidos com as PMUs M e P



#### **4. Conclusões**

O Laboratório de Medição Sincrofasorial do CEPEL se propôs a verificar correlações entre ensaios do Calibrador de Unidades de Medição Fasorial e simulações em tempo real. O trabalho teve foco em diferentes configurações de PMUs, especificamente PMUs do tipo “M” e PMUs do tipo “P”. Realizaram-se ensaios de degrau no calibrador para as duas configurações. Em seguida, foram feitas simulações envolvendo situações de transitórios com o objetivo de analisar o comportamento das PMUs para estas diferentes configurações. Demonstrou-se que é possível correlacionar o comportamento de PMUs em um sistema elétrico a partir dos resultados obtidos nos ensaios de calibração.

#### **5. Referência**

(1) IEEE, “IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems,” IEEE Std C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std C37.118-2005), 2011.

#### **VII.2 Balanço Final da Atividade LABPMU**

Na avaliação do CEPEL, os equipamentos para o LABPMU, adquiridos no âmbito do Convênio nº 769362/2012, vêm cumprindo o propósito para o qual foram especificados, conforme demonstram os relatórios de acompanhamento apresentados nos Relatórios de Acompanhamento do Convênio. Cabe ressaltar que os indicadores previstos no documento INDICADORES DE BENEFÍCIO E DESEMPENHO do Projeto META, de autoria da SEDP/SE-MME, atual AEGP/SE-MME foram plenamente atingidos, conforme reportado.

#### **VII.3 Avaliação dos Benefícios da atividade LABPMU**

##### **1. Laboratório de Medição Fasorial Síncrona do CEPEL (LabPMU)**

O Laboratório de Medição Sincrofasorial LabPMU foi criado objetivando a investigação do comportamento de Unidades de Medição Fasorial (PMUs), para aplicações no Sistema Interligado Nacional e em sistemas elétricos de potência, em geral. Ele começou a ser implantado na unidade Cidade Universitária do CEPEL em dezembro de 2015 dentro do convênio entre o MME e o Banco Mundial. O convênio consistiu basicamente na aquisição da infraestrutura apresentada a seguir: Unidades de medição fasorial (10 unidades), Receptor GPS e acessórios (6 unidades), Programa computacional para Concentrador de Dados de Fasores (1 licença), Servidor para PDC (2 unidades), Estação de trabalho (3 unidades), Simulador digital em tempo real (1 unidade), Osciloscópio Digital (1 unidade), gerador de sinais (1 unidade), multímetros (2 unidades), fonte de alimentação dc (1 unidade), amplificadores trifásicos de tensão e corrente para simulação em tempo real (4 unidades).

##### **2. Conjuntura existente no Brasil**

O Operador Nacional do Sistema está implementando atualmente projeto para a implantação de um Sistema de Medição Sincronizada de Fasores (SMSF) que prevê a instalação inicial de unidades de medição fasorial (PMUs) em 31 subestações da Rede Básica, estrategicamente escolhidas, envolvendo inicialmente cerca de 200 PMUs, de diversos agentes. Em fase posterior, o projeto foi dimensionado para compreender até 1000 PMUs. Estes equipamentos serão comprados, instalados, operados e mantidos pelos agentes responsáveis pelas subestações selecionadas. O sistema SMSF impõe uma arquitetura de aplicativos

computacionais e define os protocolos e a periodicidade do envio de dados de PMUs entre o ONS e os agentes.

Segundo informações obtidas [2], oito aplicativos de PMUs serão implementados em tempo real nos centros de controle fazendo uso destes dados: monitoramento da frequência, da corrente e tensão, do ângulo, do fluxo de potência, da estabilidade oscilatória, do suporte à recomposição, da detecção e localização do evento e da determinação do limite de transferência dinâmica. Este novo ferramental implicará no aumento da confiabilidade na operação do SIN (Sistema Interligado Nacional), uma vez que a operação possuirá um volume maior de dados do sistema aumentando sua observabilidade. Além disto, as ações preventivas poderão ser mais bem avaliadas, usando-se as informações trazidas pelas PMUs e verificadas através dos aplicativos computacionais

Importante destacar que este processo tem a participação do Banco Mundial, em convênio com o Ministério de Minas e Energia, no que concerne à aquisição de hardware e software necessários para os concentradores de dados fasoriais. A previsão inicial [1] é pela conclusão desta etapa inicial do projeto até o fim de 2018.

A qualidade destes equipamentos é fundamental para o sucesso do projeto. Neste sentido, há a necessidade de laboratórios que possam avaliar os vários aspectos de medição sincrofasorial antes de sua instalação em campo. Cabe destacar antecipadamente que o LabPMU, Laboratório de Medição Sincrofasorial do CEPEL, se insere plenamente neste objetivo.

### **3. Benefícios Qualitativos**

#### **3.1 Benefícios para o CEPEL**

Pode-se destacar primariamente a capacitação do CEPEL para realização de ensaios, estudos e pesquisa experimental sobre Unidades de Medição Fasorial (PMUs), para aplicações no Sistema Interligado Nacional e em sistemas elétricos de potência em geral.

Neste sentido, cumpre destacar:

3.1.1 Foram realizados vários ensaios de desempenho em unidades de medição fasorial comerciais adquiridas através do convênio com o Banco Mundial e PMUs de outros fabricantes também. Estes ensaios e a troca de informações com os agentes e com os fabricantes permitiram ao CEPEL obter uma visão crítica do quadro geral no que concerne ao desempenho de unidades de medição fasorial que serão instaladas no SIN por conta do projeto do ONS.

3.1.2 Foi verificado o funcionamento do aplicativo concentrador de fasores (pdc) e também do aplicativo visualizador de fasores, adquiridos no âmbito do convênio com o Banco Mundial, o que permitiu ganhar conhecimento a partir destes tipos de ferramentas. Esta experiência permitiu que a infraestrutura existente no LabPMU bem como os pesquisadores que a operam auxiliassem nos ensaios iniciais do programa SAGE-PDC, que é o concentrador de dados fasoriais desenvolvido no CEPEL, utilizando a infraestrutura do sistema Scada. Esta sinergia entre os dois laboratórios do CEPEL está aumentando a massa crítica de conhecimentos do centro relativos à medição fasorial síncrona



**3.1.3 O Simulador em Tempo Real**, adquirido no âmbito do convênio, já foi usado para demonstrar a necessidade de verificação da configuração de PMUs antes de sua instalação em campo. Esta demonstração foi divulgada através de artigos em seminários e a experiência adquirida permitirá usar este simulador para avaliar as aplicações de PMUs já presentes no SAGE, programa desenvolvido no CEPEL, trazendo imenso ganho técnico para os produtos desenvolvidos pelo Centro.

### **3.2 Benefícios para o Setor Elétrico**

O LabPMU oferece suporte tecnológico às empresas de transmissão de energia elétrica com destaque às que integram o Sistema Eletrobras, incluindo também apoio ao ONS (Operador Nacional do Sistema) à investigação da qualidade da medição sincrofasorial para o SIN.

Neste sentido, há vários aspectos que podem e estão sendo avaliados pelo LabPMU, especialmente sincronismo, desempenho de PMUs, desempenho de concentradores de fasores e qualidade dos aplicativos. Com relação às PMUs, o laboratório já vem realizando ensaios para fabricantes, permitindo que os modelos possam ser aprimorados de forma que as aplicações projetadas para PMUs não sejam prejudicadas por falta de qualidade destes equipamentos, beneficiando o setor como um todo.

Os agentes de transmissão de energia elétrica em geral e aqueles que pertencem ao sistema Eletrobras em particular estão lançando suas especificações técnicas e seus editais de compra de unidades de medição fasorial e concentradores de dados de forma a atenderem o SMSF. Neste sentido o CEPEL vem prestando apoio nas especificações e realizando ensaios nas unidades dos fabricantes selecionados tendo sido percebidos em alguns casos oportunidades de melhorias nas unidades ensaiadas.

Uma avaliação preliminar de aplicações no LabPMU será importante para o correto uso dos aplicativos disponíveis para PMUs. O laboratório está desenvolvendo ferramentas para esta avaliação, baseando-se em “softwares” de simulação elétricos amplamente difundidos no setor, como o ANATEM. Desta forma, também nesta área de conhecimento, esperam-se benefícios para o sistema elétrico interligado.

### **3.3 Benefícios para a Sociedade como um todo.**

A tecnologia de medição sincrofasorial melhora a resiliência e a confiabilidade da rede [3,4], reduzindo o número de interrupções e também ajudando na restauração do sistema após um “blecaute” trazendo benefícios para a sociedade. Ações operativas visando prevenção de ocorrências podem ser mais efetivas, uma vez que podem usar informações mais rápidas e exatas, proporcionadas por PMUs.

Prevê-se, ainda, que a tecnologia de medição sincrofasorial pode incrementar os ganhos econômico-financeiros para os agentes responsáveis pelos ativos de transmissão devido a redução da “parcela variável” e também para seus clientes finais de grande porte devido a redução das paradas de produção. Esta economia de custos é derivada principalmente da redução do congestionamento elétrico, à redução do tempo de análise pós-eventos e validação de modelos elétricos visando planejamento. A melhoria da medição do sistema, proporcionada por PMUs pode ainda auxiliar na introdução de mais energia renovável no sistema, permitindo a redução do uso de energia fóssil, com óbvios ganhos ambientais.

### 3.4 Conclusão

O LabPMU constitui-se em importante ferramenta de suporte tecnológico, sendo capaz de auxiliar nas direções supracitadas, na medida em que preza pela qualidade da medição a ser incorporada ao sistema elétrico.

### 4. Referências

[1] PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA DOS SETORES DE ENERGIA E MINERAL, PROJETO META, RELATÓRIO DE PROGRESSO – EXERCÍCIO 2017 1º SEMESTRE, Banco Mundial, Acordo de Empréstimo 8095-BR.

[2] IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO SINCRONIZADA DE FASORES NO SIN E AS LIÇÕES APRENDIDAS COM O PROJETO PILOTO DE AQUISIÇÃO DE PMUS ATRAVÉS DO OPENPDC PELAS EQUIPES DE ESTUDO ELÉTRICO E DE ANÁLISE DE EVENTOS DO ONS, Rafael Fernandes et al., XXIV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Curitiba, 2017.

[3] THE VALUE PROPOSITION FOR SYNCHROPHASOR TECHNOLOGY - ITEMIZING AND CALCULATING THE BENEFITS FROM SYNCHROPHASOR TECHNOLOGY USE, versão 1.0, North American Synchrophasor Initiative, NASPI Technical Report, outubro, 2015.

[4] Patel, M., Aivaliotis, S., Allen, E., et al., 2010. "Real-Time Application of Synchrophasors for Improving Reliability: to ensure the reliability of the bulk power system," North American Electric Reliability Corporation, outubro 2010, acessado no [sítio](http://www.nerc.com/docs/oc/rapirtf/RAPIR%20final%20101710.pdf) <http://www.nerc.com/docs/oc/rapirtf/RAPIR%20final%20101710.pdf>.