



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

CB/GAT/07

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO – IV

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

MODELAGEM DO *MASTER CONTROL* E DO CONTROLE DO BIPOLO 1 DO ELO CCAT DO RIO MADEIRA NO ANATEM: PRINCIPAIS MALHAS DE CONTROLE, DESEMPENHO, VALIDAÇÃO E ANÁLISE DE PERTURBAÇÕES REAIS

Filipe Rodrigues Lopes(*)
Eletronorte

Paulo Fischer Toledo
ABB

Felipe Alves Sobrinho
ABB

Jairo Jair Tavares Jr.
ABB

RESUMO

O Anexo Técnico do Lote C do Edital de Leilão nº007/2008-ANEEL, que contempla os conversores do Bipolo 1 e o Controle Mestre do elo CCAT do Rio Madeira, responsabiliza a transmissora – a Eletronorte - pela modelagem computacional dos elementos que compõem este sistema e a sua e a disponibilização aos órgãos competentes para estudos de fluxo de carga, de transitórios eletromecânicos e de transitórios eletromagnéticos. Este trabalho se concentrará na modelagem do Controle Mestre do elo CCAT do Rio Madeira, bem como do controle do Bipolo 1 no Anatem, para estudos de transitórios eletromecânicos.

O modelo original do Bipolo 1 no Anatem enviado ao ONS e ANEEL quando da entrada em operação do elo CCAT do Rio Madeira é baseado em modelo *built-in* MD03 predefinido de controle de conversor CA/CC. Malhas adjacentes de controle e o Controle Mestre se complementam ao modelo através de *controlador definido pelo usuário* (CDU).

Este trabalho apresentará, portanto, as principais malhas de controle que compõem o Bipolo 1 e o Master Control, inclusive aquelas que foram concebidas após a entrada em operação para otimizar o desempenho do elo CCAT do Rio Madeira. Posteriormente, serão apresentados os resultados de testes de desempenho e sua validação através da comparação com os resultados destes mesmos testes realizados no PSCAD e/ou em RTDS, garantindo que as respostas de todos os modelos digitais disponíveis ao Operador Nacional do Sistema (ONS) sejam muito próximos entre si e entre os controles reais presentes na planta. Finalmente, serão apresentados os resultados de uma análise de uma perturbação real, utilizando como ferramenta de análise o modelo desenvolvido para o Bipolo 1 e o Master Control, confrontando seus resultados com oscilografia retirada do campo, atestando novamente – na prática – a eficiência do modelo.

PALAVRAS-CHAVE

Modelagem Computacional, Elo CCAT do Rio Madeira, Estudos de Transitórios Eletromecânicos, Anatem

1.0 - INTRODUÇÃO

Os Procedimentos de Rede, Submódulo 18.2 [1] preconiza o Anatem como sendo a plataforma de referência para estudos elétricos de fenômenos transitórios eletromecânicos. O Anatem se diferencia de outros simuladores, também capazes de realizar análises dinâmicas no domínio do tempo, principalmente pela possibilidade de se obter resultados rápidos e precisos, tendo como rede modelada o próprio Sistema Interligado Nacional, com todas os elementos que o compõe: Linhas de Transmissão, máquinas síncronas e de indução, elos de corrente contínua, compensadores estáticos, compensadores séries controláveis, relés, Controles Automáticos de Geração, dispositivos FACTS, esquemas de ERAC, cargas de toda a natureza e etc, seja por modelos pré-definidos pelo programa ou via Controles Definidos pelo Usuário (CDU), permitindo modelar as características dinâmicas dos

principais controladores de Sistemas de Potência. Todos eles validados pelos agentes responsáveis e consolidados pelo ONS que, por sua vez, define os principais casos base de regime permanente para todos cenários de carga e períodos diversos do ano dentro de um horizonte específico.

Dada a interface entre o Anarede/Anat0 e o Anatem, ambos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – Eletrobras Cepel – é possível facilmente obter a resposta da rede para um determinado evento no Sistema Interligado Nacional para qualquer condição pré-concebida da rede, sem a necessidade cálculo de Equivalentes de Rede, trazendo precisão e confiabilidade ao resultado obtido. Em suma, o objeto de análise do Anatem são os estudos de grandes perturbações nos sistemas de potência, compreendendo os períodos de estabilidade transitória e dinâmica. Logo, a modelagem de dispositivos de controle do sistema elétrico de potência nesta ferramenta deve partir desta premissa.

Para o caso particular da modelagem Anatem do Controle Mestre (ou *Master Control*) do Elo de Corrente Contínua do Rio Madeira, bem como dos Controles de Polo e Bipolo do Bipolo 1, obviamente, foram modeladas as principais malhas que afetam a performance dinâmica da rede em períodos de transitórios eletromecânicos da forma mais simplificada, porém eficiente, possível. Isto é, ainda que por meio da modelagem via CDU fosse possível modelar os sistemas de controle da forma mais detalhada possível, este seria um esforço de engenharia desnecessário. Para avaliação de desempenho de controle fino, é recomendado o uso de outras ferramentas digitais, igualmente presentes durante o desenvolvimento do Bipolo 1: a plataforma de Simulação Digital em Tempo Real (*Real-time Digital Simulator – RTDS*) para estudo de performance de controle *online* e o PSCAD, para estudos *off-line*, ambos fazendo o uso de equivalentes de rede para representação do sistema elétrico ao qual os equipamentos estão conectados. Para a validação do Modelo do Bipolo 1 no Anatem, essas ferramentas foram utilizadas como referências de comparação, bem como a utilização de caso de perturbação reais em campo.

Portanto, serão apresentadas a seguir as principais malhas de controle que estão representadas no modelo Anatem, inclusive aquelas que foram concebidas após a entrada em operação para otimizar o desempenho do elo CCAT do Rio Madeira.

2.0 - HIERARQUIA DE CONTROLE DO ELO DE CORRENTE CONTÍNUA DO MADEIRA

Os controles do Elo CCAT do Madeira estão estruturados de tal forma que a maioria das funções vitais para o funcionamento do sistema estão localizadas na unidade de controle mais próximas dos conversores. Este conjunto de controle é chamado de Controle de Polo. Em um nível seguinte está o Controle de Bipolo, cuja a principal função é manter e gerenciar o nível de potência transmitida pelos polos, bem como garantir o consumo de potência reativa necessário para o funcionamento dos conversores. No nível mais alto está o *Master Control*, que gerencia a transmissão entre os dois Bipolos e as Usinas de Santo Antônio e Jirau, tomando ações em casos de contingência. O diagrama abaixo ilustra os níveis de controle do Elo CCAT do Madeira

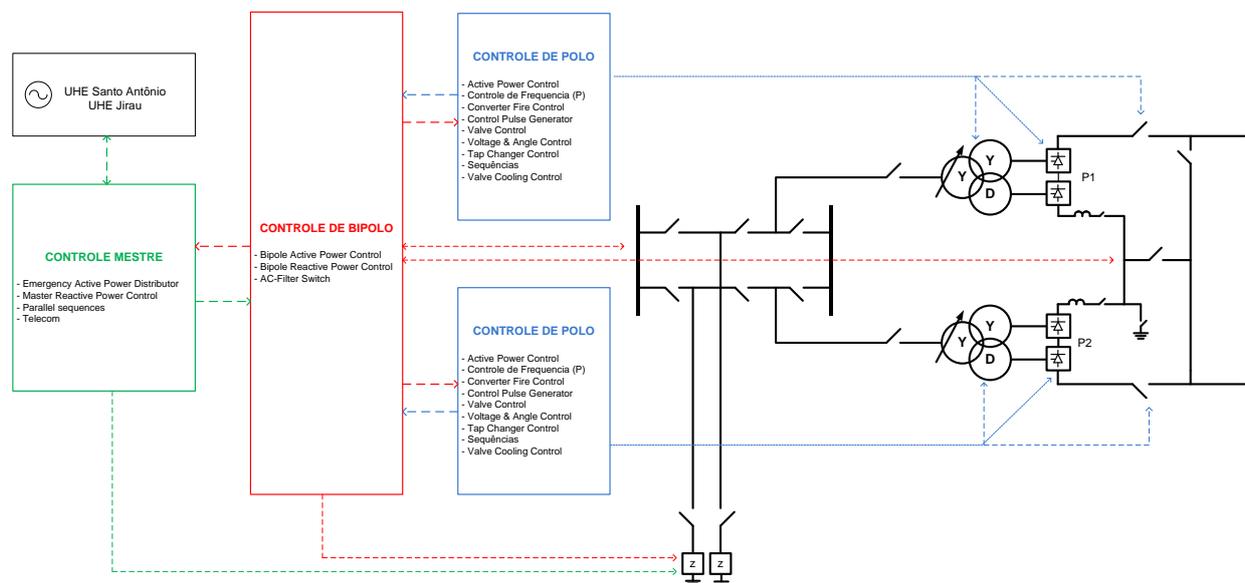


FIGURA 1 – Diagrama simplificado dos níveis de Controle do Elo CC do Madeira – Bipolo 1.

Nos itens seguintes serão apresentados as principais características de cada nível hierárquico de controle e como cada um está representado no modelo Anatem.

2.1 Controle de Polo

A principal função do Controle de Polo é garantir que a corrente CC do elo seja igual à corrente de ordem I_0 . A ordem de potência, recebida do Controle de Bipolo por cada Polo. A ordem de potência é o *input* para o *Active Power Control* (APC) que calcula a ordem de corrente correspondente. Nesta função estão importantes malhas de controle como o CMR (*Current Margin Regulator*), essencial para a definição do ponto de operação estável dos conversores e a parcela proporcional do Controle de Frequência.

Uma vez calculado I_0 , este valor é então enviado para o *Converter Firing Control* (CFC) que calcula o ângulo de disparo (α) correspondente e gera uma base para o controle de pulso. Nesta função está contida o VDCOL (*Voltage Dependent Current Order Limiter*), muito importante para a recuperação da rede CA pós-falta, limitando o consumo de potência reativa pelos conversores. Esta função também contém o CCA (*Current Control Amplifier*), controlador PI importante para a manutenção dos valores de I_0 em regime e rapidez e estabilidade quando da necessidade de variações transitórias.

O *Control Pulse Generator* (CPG) gera os pulsos de disparos que serão enviados para o *Valve Control* (VC) e, por sua vez, envia estes sinais para cada tiristor individual da válvula.

A figura abaixo, extraída do Manual do Anatem [2], apresenta a representação do Controle de Polo na modelagem do Polo 1 e 2 do Bipolo 1 do Madeira. Baseado no modelo *Built-in* MD03 (em Dados de Modelos Predefinidos de Controle de Conversor – DMCV), esta é uma representação extremamente simplificada do modelo real, bem mais complexo. Entretanto, como dito anteriormente e demonstrado mais adiante, esta representação é capaz de fornecer as respostas dinâmicas necessárias dentro do escopo de uma análise de transitórios eletromecânicos. A Tabela I e II apresentam os parâmetros do utilizados neste modelo para o retificador e inversor.

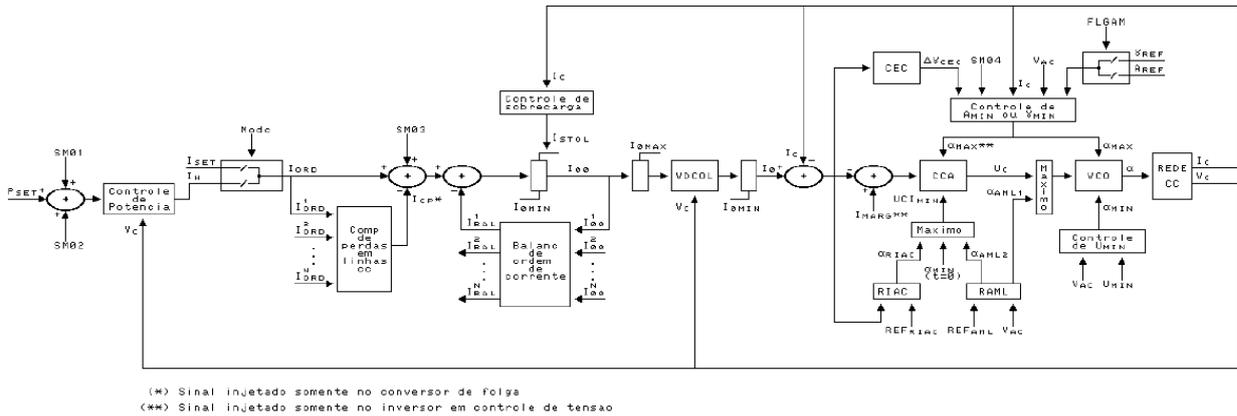


FIGURA 2 – Representação simplificada do Controle de Polo no Anatem - modelo MD03 do DMCV

Tabela I – Parâmetros do modelo MD03 representando o Controle de Polo do retificador do Bipolo 1

Vmn	Tvp	Tx1	Td1	Yal	Tmx	Amx	Gmx	Stx	Tfv
0.45	1.0	10.0	1.0	33.0	0.50	4.60	0.50	50.0	0.020
Tvd	Tvs	Vdn	Vdx	Frn	lmn	lmx	Ki	Kp	To
0.01	0.045	35.0	85.0	35.0	10.0	150.	6500	120.0	0.0014
Tri	Lri	Tof1	Tof2	Ari	Laml	Ton1	Ton2	Tof3	Saml
300	2.0	0.3	5.0	15.0	80.0	0.030	0.02	0.05	1.25
Aml1	Aml2	Tcf	VDmn	Thdm	Tvdm	Telc	L		
32.5	27.0	0.016	0.375	0.013	0.250	0.010	L		

Tabela II – Parâmetros do modelo MD03 representando o Controle de Polo do inversor do Bipolo 1

Vmn	Tvp	Tx1	Td1	Yal	Tmx	Amx	Gmx	Stx	Tfv
0.45	1.0	10.0	1.0	33.0	0.50	4.60	0.50	50.0	0.020
Tvd	Tvs	Vdn	Vdx	Frn	lmn	lmx	Ki	Kp	To
0.01	0.030	32.0	85.0	30.0	10.0	150.	5500	54.0	0.0014
Tri	Lri	Tof1	Tof2	Ari	Laml	Ton1	Ton2	Tof3	Saml
300	2.0	0.3	5.0	15.0	80.0	0.030	0.02	0.05	1.25
Aml1	Aml2	Tcf	VDmn	Thdm	Tvdm	Telc	L	Kcg	Kca
32.5	27.0	0.030	0.375	0.013	0.250	0.010	L	50.0	51.0

2.2 Controle de Bipolo

É neste nível de controle que o operador irá definir, na maior parte das vezes, a ordem de potência a ser transmitida pelo Bipolo. O Controle de Bipolo também tem a função de garantir que a transmissão se mantenha naquele nível que foi definido pelo operador, mantendo a corrente nos polos igualmente distribuída, de maneira que a corrente no neutro seja minimizada. O cálculo das ordens de potência são realizadas pelo *Bipole Active Power Control* (BAPC).

Neste nível hierárquico de controle também está contida a parcela integral do Controle de Frequência, responsável por eliminar o erro de regime no 500 kV do sistema receptor ao longo do tempo, modulando a ordem de potência do Bipolo 1, quando esta função estiver ativada.

A medida que a potência transmitida aumenta, aumenta também a solicitação de potência reativa por parte dos conversores. Portanto, as condições de necessidade entrada de filtros, tanto para consumo de MVar quanto para filtragem harmônica (funções Absmin e Min Filter, respectivamente) nas estações de Porto Velho e Araraquara estão sob supervisão do Controle de Bipolo, mais especificamente sob controle do BRPC, *Bipole Reactive Power Control*. Essa configuração de filtros por nível de potência varia de acordo com a configuração do Elo DC. A Tabela III apresenta um exemplo de configuração de filtros para cada função dentro do BRPC na configuração de transmissão Bipolar.

Tabela III – Configuração de filtros em Operação Bipolar e Tensão Normal – Estação Coletora Porto Velho [3]

CONFIGURAÇÃO DO BIPOLO 1	Ordem de Potência (MW)	Unidades de Filtros (MVar)	
		Rating de Filtros (Absmin Filter)	Desempenho Harmônico (Min Filter)
OPERAÇÃO BIPOLAR	315 – 787	2 x 263	2 x 263
	788 – 1417	3 x 263	3 x 263
	1418 – 2362	3 x 263	4 x 263
	2363 – 2992	3 x 263	4 x 263 + 1 x 183 ou 5 x 263
	2993 – 3150	4 x 263	4 x 263 + 1 x 183 ou 5 x 263
	>3150	4 x 263	5 x 263 + 1 x 183

No Anatem, a saída do Controle de Bipolo se conecta à entrada do Controle de Polo da mesma forma que no controle da planta, isto é, por meio de um somador, conforme ilustra a Figura 3. Este nível de controle está modelado como um CDU que é carregado via comando de ULOG 1, concatenado ao modelo *built-in* MD03 via DCNV.

Já a modelagem do BRPC, representado de forma integrada ao MRPC (que será apresentado adiante), já utiliza a nova funcionalidade das versões mais atuais, introduzida a partir do Anatem 11.0.1, que tem sido chamado por [4] de “modelagem de relé por CDU”, através do qual é possível ligar ou desligar – neste caso – unidades de banco shunt individualizados durante a simulação por ação de controle, isto é, sem ser necessário a utilização do comando DEVT, tornando a ação de entrada de filtros muito mais próxima da realidade.

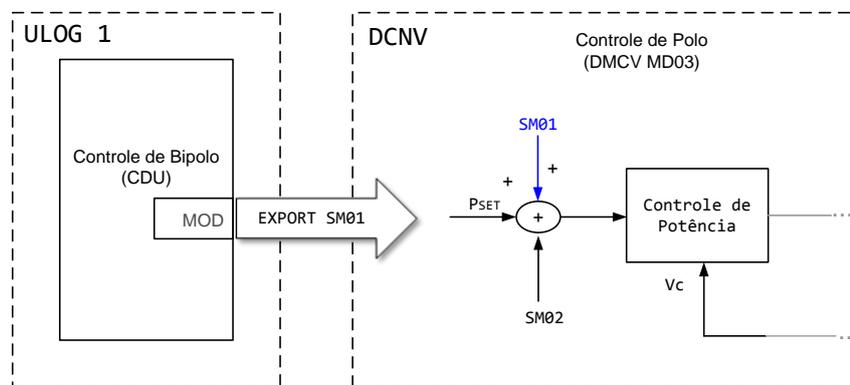


FIGURA 3 – Representação da modelagem do Controle de Bipolo no Anatem.

2.3 Controle Mestre (ou *Master Control* - MC)

O Controle Mestre é o nível de controle mais alto que existe no Elo CCAT do Madeira. Sua função é gerenciar o fluxo de potência recebido das UHEs Santo Antônio e Jirau juntamente com o fluxo de potência transmitido pelos Bipolos 1 e 2, realizando ações de controle em caso de contingências, tais como:

- Redistribuição de potência ativa entre Bipolo 1 e Bipolo 2 de modo otimizado em caso de perda ou limitação de capacidade de transmissão no Elo CCAT, sendo possível também a redistribuição da potência ativa perdida em caso de contingência total do Back-to-Back. Esta função é chamada de *Emergency Active Power Distribution* - EAPD;
- Redução automática da ordem de potência no Elo CCAT (*Runback*) em caso de perda de capacidade de geração das usinas ou da perda de capacidade de transmissão CA entre as usinas e a estação retificadora Coletora Porto Velho ou entre a estação inversora Araraquara 2 e o sistema receptor CA do Sudeste;
- Evitar auto-excitação no complexo gerador do Rio Madeira limitando a quantidade máxima de filtros conectados no barramento 500 kV pela quantidade de máquinas em operação nas usinas. Essa lógica é chamada de Max Filter;
- Minimizar o risco de sobretensão nos barramentos de 500 kV desconectando filtros automaticamente (Umax);
- Controlar o fluxo de potência reativa entre os conversores CCAT e a rede CA correspondente, desconectando ou conectando filtros dependendo da estação (Qcontrol).

Maiores detalhes sobre a filosofia dessas funções podem ser encontradas em [5].

Todas as informações por parte das usinas chegam ao Controle Mestre por meio de uma interface chamada *Generator Station Coordinator* – GSC. Em caso de uma contingência de unidades geradoras, o GSC recalcula a nova capacidade de despacho da usina, atualizando o MC com a nova informação, que por sua vez realizará o *Runback*. Em caso de contingência de transmissão, o MC realizará um novo cálculo de capacidade de transmissão e enviará ao GSC, caso necessário, a montante de potência ativa que deve ser cortado pelas usinas, mantendo sempre o balanço entre Geração e Transmissão.

Todas estas funções estão representadas no modelo do *Master Control* no Anatem via CDU. As funções associadas ao Controle de Potência Ativa no elo CCAT, a saber, o EAPD, o *Runback*, e o corte de geração (que mesmo não fazendo parte do Lote C, foi representado no modelo) estão concatenados ao Controle de Bipolo internamente ao ULOG 1 por meio do bloco 'EXPORT CDU'. Enquanto o MRPC, função que engloba o Max Filter, o Umax e o Qcontrol, é intrinsecamente ligado ao BRPC por filosofia.

Majoritariamente, as funções de Controle de Potência Reativa do *Master Control* (MRPC) atuam desconectando filtros (a exceção é o Qcontrol em Araraquara, que conecta e desconecta filtros). Enquanto as funções do BRPC atuam sempre conectando. Para que uma função não entre em conflito com outra, foi elaborado uma ordem hierárquica entre todas as funções de RPC do Elo CCAT, ordenando e priorizando as funções entre si, de forma que, se uma função não atua desconectando filtro, há um intertravamento que libera o nível hierárquico inferior a conectar filtros caso necessário, e vice-versa.

Na modelagem no Anatem, o MRPC e o BRPC também funciona desta maneira, que por conveniência, visando facilitar a troca de sinais entre os níveis hierárquicos dentro do RPC, estão dentro do mesmo CDU.

A Figura 4 ilustra a modelagem do Controle Mestre em CDU, enquanto a Figura 5 demonstra como os níveis hierárquicos de controle do Elo CCAT estão conectados entre si. A Figura 6 apresenta a filosofia de Controle de Potência Reativa do Elo CCAT, com o MRPC funcionando simbioticamente com o BRPC e como esta lógica está representada dentro do CDU.

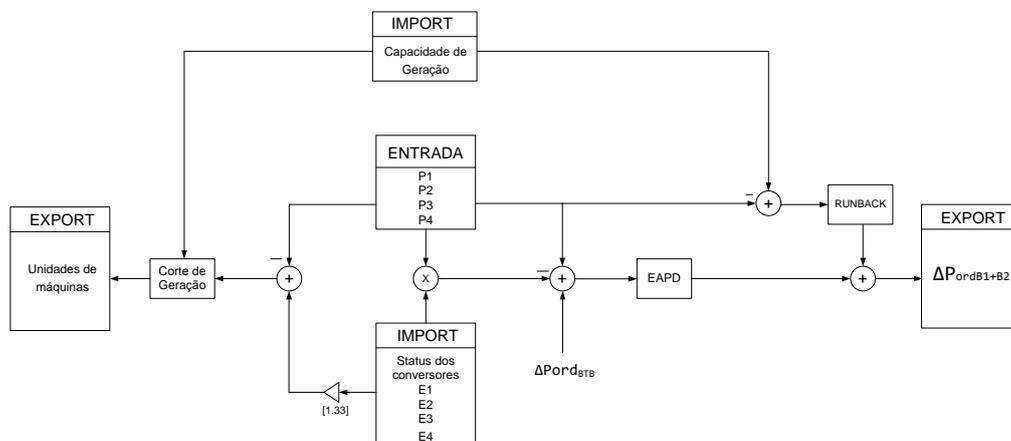


FIGURA 4 – Diagrama de blocos simplificado da modelagem do Controle Mestre em CDU

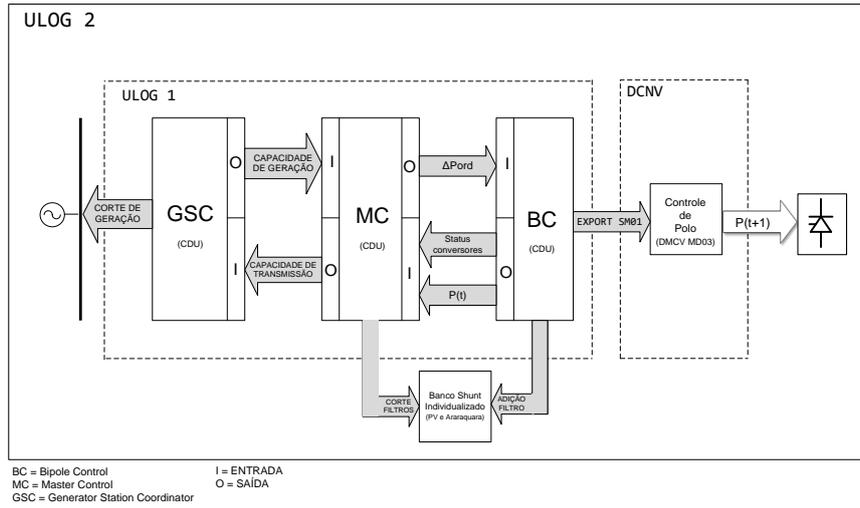


FIGURA 5 – Diagrama da Modelagem dos níveis de controle do Elo CCAT no Anatem

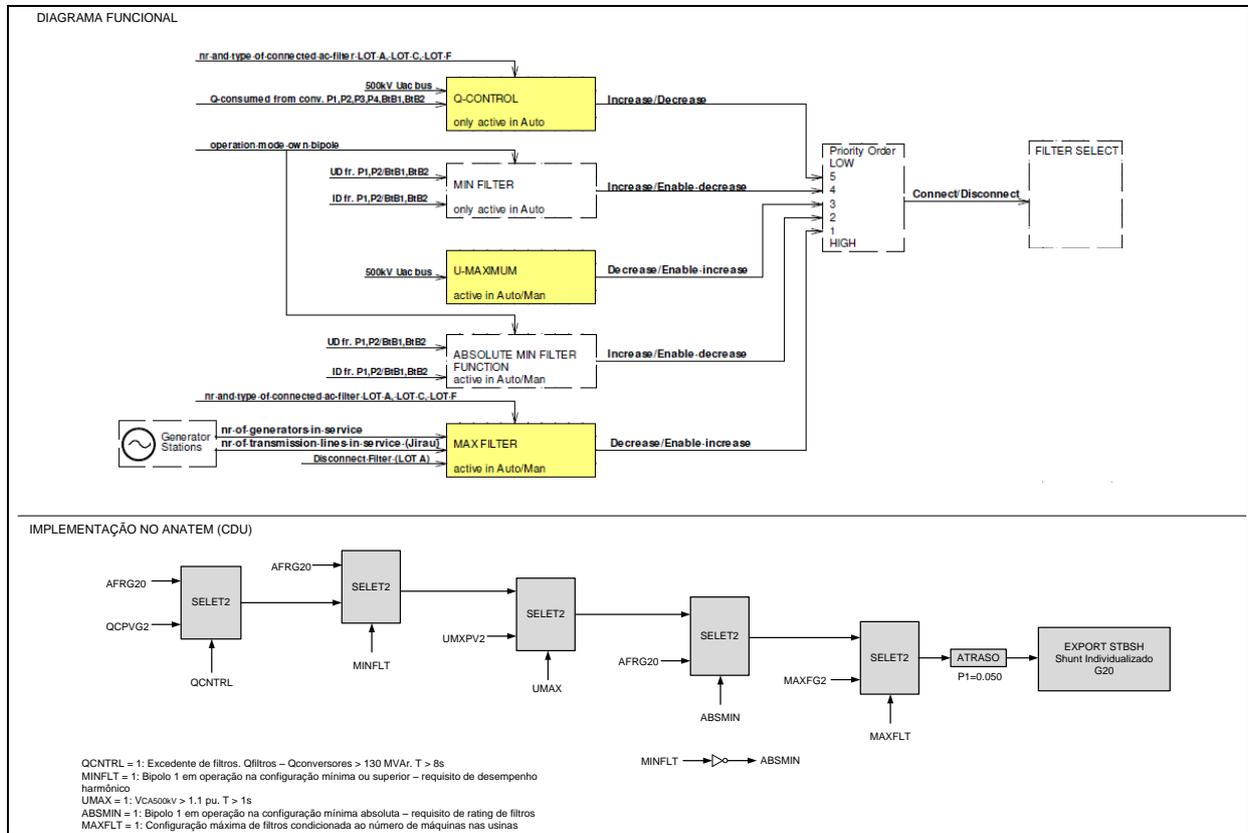


FIGURA 6 – Implementação do MRPC e BRPC no Anatem. Adição/Corte dos filtros 263 MVar do Bipolo 1

3.0 - VALIDAÇÃO DO MODELO

O modelo proposto nos itens anteriores foi submetido a diversos testes de contingência, cujos resultados foram comparados com contingências reais ou reproduzidas no Simulador de Corrente Contínua, onde uma réplica dos controles reais estão conectados a um equipamento de RTDS.

Considerando a quantidade de testes realizados visando validar o modelo, a seguir serão apresentados um teste para cada nível de controle do Elo CCAT do Bipolo 1.

3.1 Controle de Polo: Falta na Linha CC do Polo 1

Referência: *Dynamic Test Performance – RTDS (ONS-RJ) 21/07/2016*

TABELA IV – Configuração da Rede para caso simulado e de referência: Caso 15 - Falta CC com recuperação nominal

CASO DE REFERÊNCIA	BIPOLO 1 (MW)	BIPOLO 2 (MW)	TENSÃO CA PORTO VELHO (kV)	TENSÃO CA ARARAQUARA (kV)	NÚMERO DE MÁQUINAS
ANATEM	3150	3150	501.5	510	92
RTDS	3150	3150	520	526	90

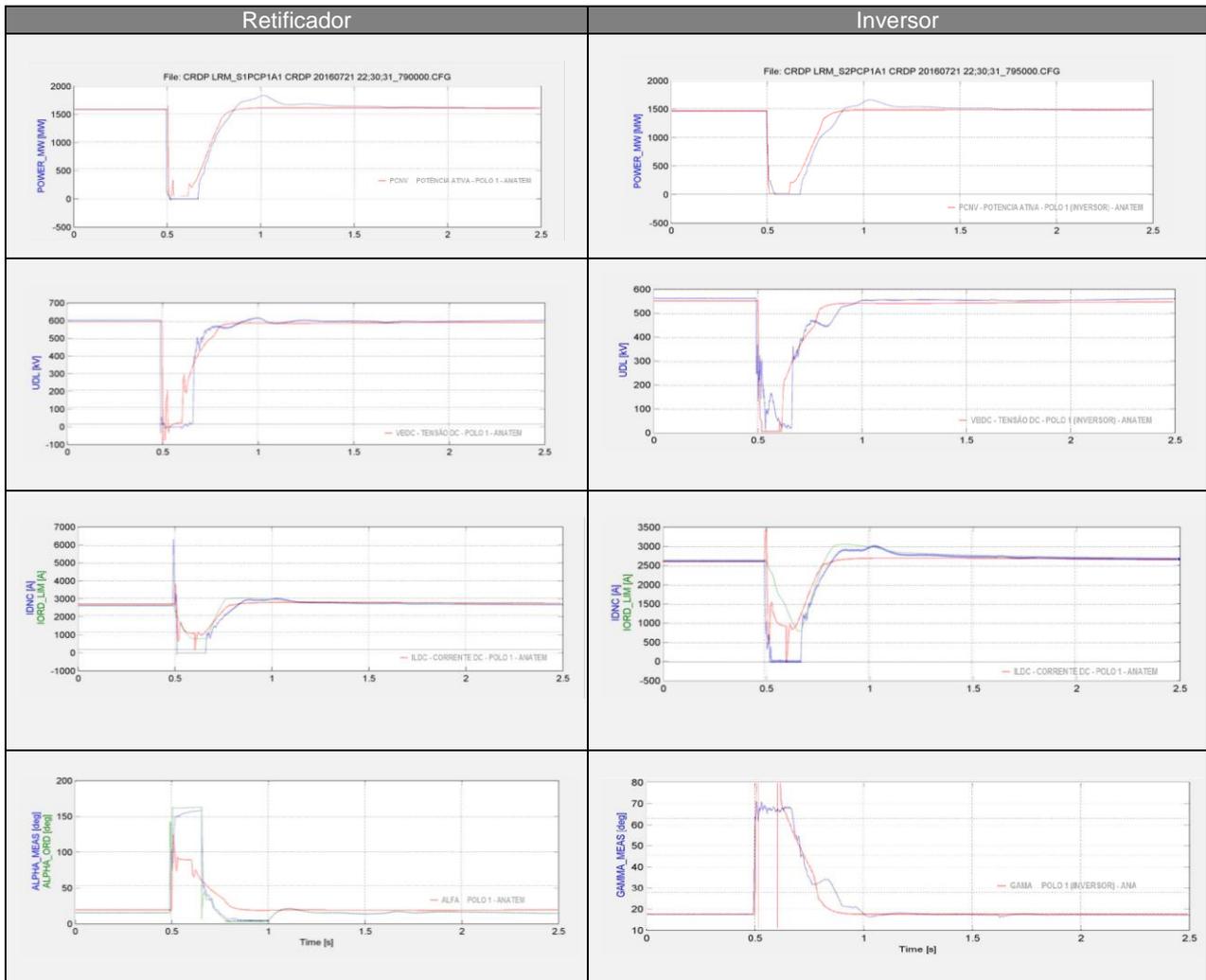


FIGURA 7 – Comparação entre resposta dos controles modelados no Anatem x controles reais – Teste do Controle de Polo.

Os resultados obtidos acima são considerados satisfatórios, levando em consideração os tempos de recuperação transitórios e os valores de estabilização em regime, tendo o modelo traduzido apropriadamente o comportamento da resposta do controle, conforme a referência. Reitera-se que o modelo possui uma série de simplificações que, a despeito disso, foi capaz de responder corretamente ao evento simulado – falta na linha CC com recuperação em tensão normal – atestando a parametrização do modelo, conferindo validade à representação do Controle de Polo do Bipolo 1 no Anatem.

3.2 Controle de Bipolo e *Master Control*: Perda de um Polo

Referência: Perturbação no Elo CCAT – Medição na SE Coletora Porto Velho 18/04/2016

TABELA V – Configuração da Rede para caso simulado e de referência: Perturbação real. Condição pré-defeito

CASO DE REFERÊNCIA	BIPOLO 1 (MW)	BIPOLO 2 (MW)	TENSÃO CA PORTO VELHO (kV)	NÚMERO DE MÁQUINAS
ANATEM	3150	3150	518	69
Oscilo SE Coletora	3150	3150	519	69

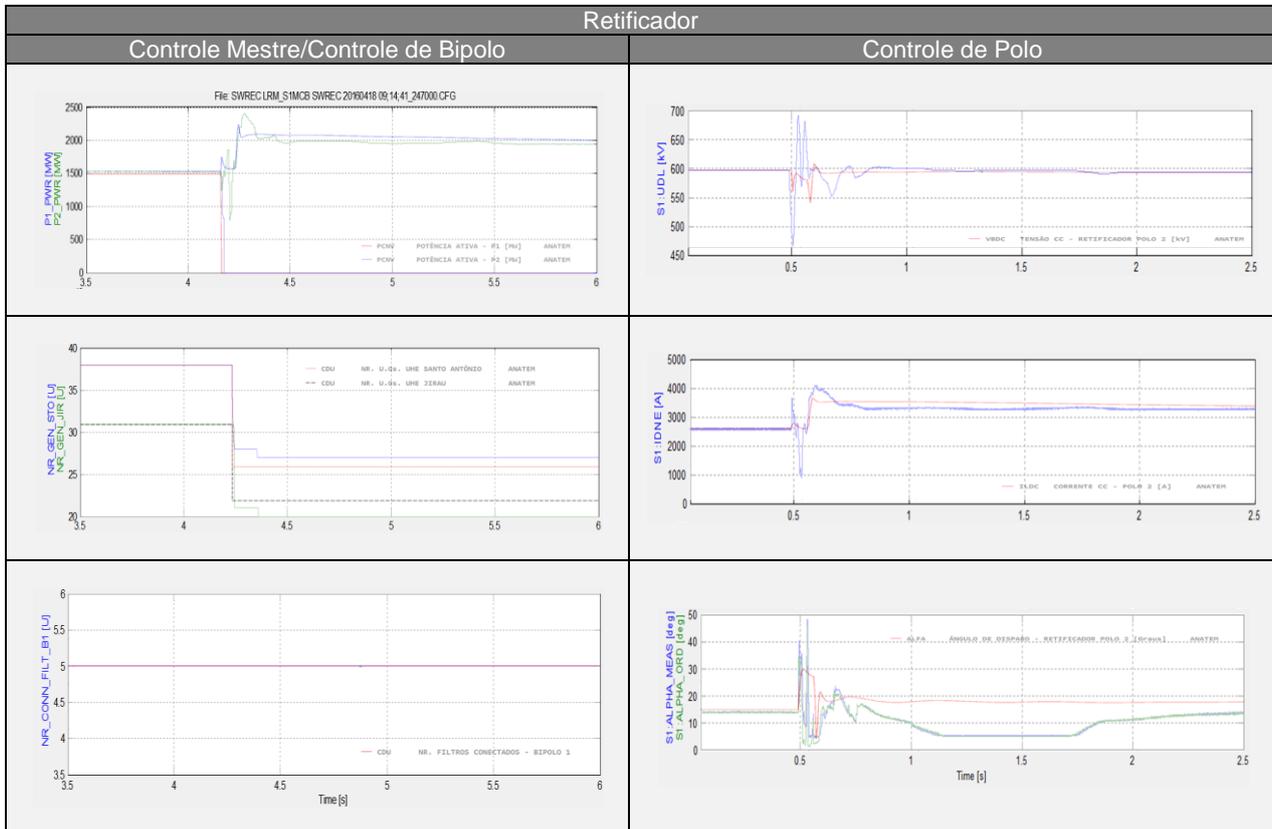


FIGURA 8 – Comparação entre resposta dos controles modelados no Anatem x controles reais – Teste do Controle Mestre o do Controle do Bipolo 1.

Os resultados acima demonstram o bom desempenho do modelo do Controle Mestre e do Controle de Bipolo diante de uma perturbação real, quando da perda de um polo. Como demonstra a figura anterior, a potência ativa foi redistribuída corretamente, com tempo de resposta preciso; e o quantitativo de unidades geradoras foi cortada apropriadamente – reiterando que a lógica real está contida no GSC. O comportamento do MRPC também foi apropriado, mantendo a quantidade de filtros conforme estipula a sua filosofia de controle.

4.0 - CONCLUSÃO

O Anatem é a ferramenta mais apropriada para análise de transitórios eletromecânicos pela sua capacidade de simular o comportamento dinâmico do Sistema Interligado Nacional rapidamente; pela facilidade de análise de um cenário específico, dada a integração com os programas de fluxo de potência Anarede e Anat0; e por dispor de dados elétricos e de controladores do sistema consolidados pelo ONS, garantindo a precisão dos resultados.

Neste contexto, fica explícita a necessidade de modelar e validar o Bipolo 1 e o Controle Mestre do Elo CCAT do Madeira nesta ferramenta, dada a importância que este sistema de corrente contínua tem para o SIN, visando o sucesso das análises de fenômenos dinâmicos de qualquer natureza.

Dada a complexidade do sistema de controle do Bipolo 1 e do Controle Mestre, buscou-se modelar as principais malhas de controle, seguindo fidedignamente a filosofia de cada uma, mas procurando simplificá-las tanto quanto fosse possível buscando evitar um esforço desnecessário de engenharia.

O modelo vigente do Bipolo 1 e do *Master Control* que consta no Banco de Dados do ONS encontra-se desatualizado, considerando as recentes adaptações de controle na planta, visando otimizar a operação deste sistema. Contudo, há que se ressaltar que melhorias e correções nas lógicas foram igualmente necessárias. Por fim, as lógicas que foram alteradas, corrigidas ou adicionadas estão listadas abaixo:

- Atualização do modelo para a versão atual do Anatem (v11.1.0)
- Correção da lógica de sobrecarga de longa duração
- Melhoria da lógica de corte de geração
- Melhoria da lógica de Runback
- MRPC/BRPC, considerando todas as hierarquias de controle para ambas as estações conversoras (Max Filter, Abs Min Filter, Umax, Min Filter e Qcontrol)
- Atualização do Controle de Frequência STAB500
- Implantação de corte de geração realizado automaticamente por controlador cdu
- Implantação de corte/adção de filtros realizados automaticamente pelo controlador .cdu
- Runback por perda de capacidade de transmissão do sistema receptor
- Limitação dinâmica do Controle de Frequência – STAB500
- Lógica de corte de potência de 150 MW para modulação de frequência em casos de sobrecarga
- Runback por RPC

Em relação aos testes de validação do modelo, os resultados são considerados satisfatórios levando em conta que o tempo de resposta do modelo diante das contingências são muito próximas àquelas verificadas pelos controles reais. Transitórios rápidos discrepantes durante os defeitos foram verificados, fruto da simplificação de algumas malhas de controle, sem contudo descredenciar o modelo, visto que a resposta dinâmica se manteve fiel. Atualizações neste modelo já estão previstas, considerando novos ajustes e melhorias nos controles reais do equipamento.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, “Procedimentos de Rede – Submódulo 18.2 – Relação dos sistemas e modelos computacionais”, Revisão 2016.12 – Data da vigência 01/01/2017

[2] Eletrobras CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Departamento de Redes Elétricas – DRE, “Programa de Análise de Transitórios Eletromecânicos – ANATEM v11.0.2”, Agosto 2016.

[3] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, “Estudos Pré-Operacionais para Integração do Complexo Gerador do Rio Madeira considerando a Entrada em Operação do 2º Bipolo”, ONS RE-3-068/2013 – Vol 2 – Operação Inicial do Bipolo 2, 2015

[4] Eletrobras CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Departamento de Redes Elétricas – DRE, “Programa Anatem - Análise de Transitórios Eletromecânicos – Guia de Utilização v11.00.01”, Agosto 2016.

[5] R.A. da Silva, P.C.G. Campos, I.L. Spinelli, M.D. Perfeito, A. Pagioro, A.X. Ramos, “Controle Mestre do Sistema de Transmissão HVDC do Rio Madeira”, XXII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – SNPTEE, Brasília, outubro 2013

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Filipe Rodrigues Lopes nasceu no Rio de Janeiro, Brasil, em 1983. Graduiu-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora em 2006. Trabalha desde 2007 na Eletrobras Eletronorte como Engenheiro de Operação desenvolvendo estudos elétricos nas áreas de Fluxo de Potência, Transitórios Eletromagnéticos e Transitórios Eletromecânicos.

Felipe Alves Sobrinho Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (2004). Trabalhou na Marte Engenharia e na Eletrobras Eletronorte na área de planejamento de sistemas de transmissão, participando de diversos estudos do projeto básico do Back-to-Back de Porto Velho e do Bipolo 1 entre Porto Velho e Araraquara. Desde 2014 trabalha na ABB na área de estudos elétricos e HVDC.

Paulo Fischer de Toledo formado como Engenheiro Elétrico pela Faculdade de Engenharia Mauá em 1978, Licenciatura e Ph.D. pelo Royal Institute of Technology (KTH), Estocolmo, Suécia em 2003 e 2007, respectivamente. Tem trabalhado na área de transmissão de energia elétrica associado a sistemas de Corrente Contínua desde 1980. Ele é Engenheiro da ABB – Asea Brown Boveri, e trabalhou em vários departamentos técnicos dentro da empresa. Responsável pelo projeto e solução sistêmica do projeto Rio Madeira, lotes A e C.

Jairo Jair Tavares Jr Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Uberaba (2014). Trabalhou na área de operação e manutenção na estação Back-to-Back Garabi no período de 2005-2012, participou do comissionamento e testes no Elo HVDC do Bipolo 1 do Rio Madeira, e atualmente desempenha atividades relacionadas ao controle e proteção do sistema HVDC do Bipolo 1 em Araraquara.