



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

BR/GOP/05  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - IX**

**GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

**DESAFIOS DA INTEGRAÇÃO ELÉTRICA DOS SISTEMAS ISOLADOS DE MANAUS E MACAPÁ AO SISTEMA  
INTERLIGADO NACIONAL  
INTERLIGAÇÃO 500 KV TUCURUÍ-MACAPÁ-MANAUS**

**Antonio Ricardo M. Tenório (\*)**

**ONS**

**Leonardo C. Soares**

**ONS**

**Daniele V. P. da Motta**

**ONS**

**Eliane de Fátima Silva**

**ONS**

**Paulo Eduardo M. Quintão**

**ONS**

**Antonio Felipe C. Aquino**

**ONS**

**RESUMO**

A integração de sistemas isolados ao SIN (Sistema Interligado Nacional) é sempre um grande desafio. Em particular, a interligação Tucuruí-Macapá-Manaus com seus quase 1800 km em linhas de tensão de 500 e 230 kV necessária para incorporar os sistemas isolados de Manaus e Macapá se mostrou de uma grande complexidade e uma tarefa extremamente interessante. Estão descritos nesse trabalho, os principais estudos realizados a frequência fundamental: manobras, controle de tensão, sincronismo, desempenho dinâmico, superação de disjuntores.

Como principais resultados desses estudos podemos citar: definição das manobras de energização/desenergização de circuitos e controle de tensão, definição dos ajustes sistêmicos dos Compensadores Estáticos de Reativos (CER) no tocante à estratégia de subtensão, definição dos SEP necessários para fazer face às perdas duplas e outras contingências severas, ajustes das proteções sistêmicas, etc. A experiência da integração da interligação Acre-Rondônia serviu de fundamento para se mitigar eventuais problemas de natureza sistêmica.

**PALAVRAS-CHAVE**

Suprimento a Manaus e Macapá, integração de sistemas isolados, modelagem dinâmica, estabilidade eletromecânica, sistemas especiais de proteção.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O suprimento de energia elétrica às cidades de Manaus e Macapá é feito atualmente através de sistemas isolados de concessão da Eletrobrás Eletronorte, Agentes de distribuição e outros Agentes de geração. Vários estudos foram realizados nas últimas décadas para incorporar estes sistemas isolados ao SIN. Em 2003, um estudo desenvolvido pelo então CCPE (Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos) concluiu pela atratividade da incorporação desses sistemas isolados da região amazônica ao SIN. Estudos de viabilidade técnico-econômica concluíram, mais tarde, que a melhor alternativa de integração desses sistemas isolados era a construção de um circuito duplo (CD), na mesma torre, na tensão de 500 kV ligando a UHE Tucuruí até a cidade de Manaus, formando o circuito Tucuruí – Xingu – Jurupari – Oriximiná – Silves – Lechuga em uma extensão de 1418 km. Para atendimento à cidade de Macapá foi recomendado um CD, na mesma torre, em 230 kV, a partir da subestação de Jurupari, com seccionamento em Laranjal do Jari, em um total de 334 km. O empreendimento, denominado de interligação Tucuruí – Macapá – Manaus (TMM), foi dividido em três lotes, envolvendo 18 bancos de capacitores série (BCS) fixos, com grau de compensação médio de 70%, e 4 CER. O presente trabalho apresentará os resultados dos estudos pré-operacionais para a configuração dos sistemas Manaus e Macapá sem considerar eventuais atrasos nas obras internas a esses sistemas para permitir sua integração ao SIN.

## 2.0 - CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DO EMPREENDIMENTO

A integração dos sistemas isolados de Manaus e Macapá através de longas linhas de transmissão de 500 kV, com graus de compensação série e shunt elevados, em configuração radial e contando com a operação de três CER em 500 kV (SE Jurupari, Oriximiná e Silves) e um CER na SE Macapá 230 kV, constitui um grande desafio em termos de estudos de regime permanente, dinâmico e de transitório eletromagnético; não sendo este último objeto do presente trabalho. Salienta-se que a integração de novos sistemas isolados, via de regra, é um processo difícil e desafiador. O recente caso da integração do Acre-Rondônia ao SIN é um exemplo que não deve ser esquecido. Os principais desafios estão associados às dificuldades para obtenção de dados confiáveis dos sistemas elétricos e modelos dos geradores e outros controladores, das características dos geradores que serão integrados com relação aos requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS, conhecimento das especificidades das redes isoladas existentes, etc.

Esta seção apresenta as principais características dos circuitos, reatores, bancos de capacitores série e compensadores estáticos integrantes do empreendimento. A Figura 1 apresenta a interligação TMM em um diagrama eletrogeográfico e sua extensão até atingir a SE Lechuga, na área metropolitana de Manaus. Esta interligação foi dividida em três lotes, envolvendo 18 BCS fixos, com grau de compensação médio de 70%, e quatro CER, sendo três no sistema de 500 kV e um no sistema de 230 kV para atendimento a Macapá.

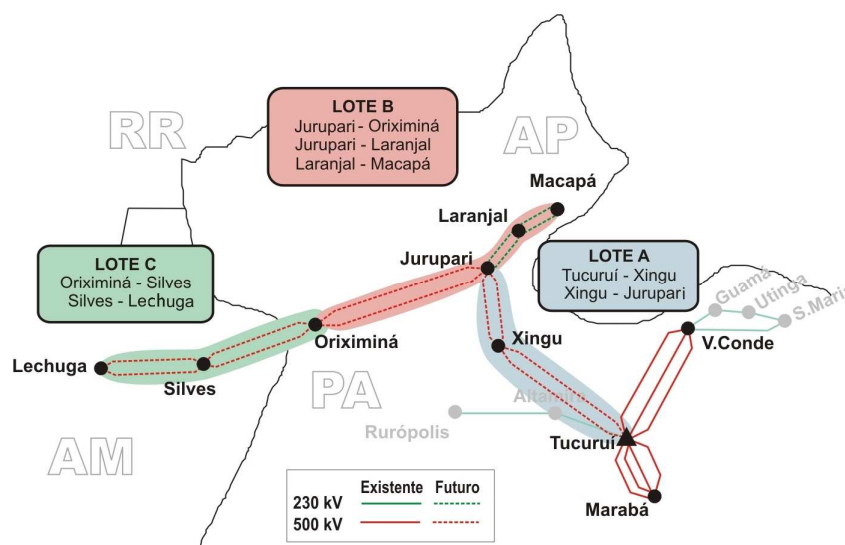


FIGURA 1 – Diagrama eletrogeográfico mostrando a interligação TMM

Os parâmetros elétricos das linhas de transmissão de 500 e 230 kV são apresentados na Tabela 1, mostrada a seguir.

Tabela 1 – Parâmetros das linhas de transmissão de 500 e 230 kV da interligação TMM

LINHAS DE TRANSMISSÃO CD 500 E 230 kV	R0 (%)	X0 (%)	B0 (Mvar)	R1 (%)	X1 (%)	B1 (Mvar)	L (Km)
Tucuruí II -Xingu C1/C2, 500 kV	2,142	9,727	235,0	0,194	2,796	417,7	265,0
Xingu - Jurupari C1/C2, 500 kV	1,996	9,008	215,8	0,179	2,582	384,0	244,0
Jurupari - Oriximiná C1/C2, 500 kV	2,660	12,493	315,1	0,248	3,639	555,9	350,0
Oriximiná-Silves C1/C2, 500 kV	3,169	12,323	283,8	0,241	3,451	534,2	335,0
Silves-Lechuga C1/C2, 500 kV	2,272	8,501	186,6	0,167	2,348	354,1	224,0
Jurupari - Laranjal C1/C2, 230 kV	7,991	24,304	17,9	0,887	6,103	30,6	105,2
Laranjal - Macapá C1/C2, 230 kV	16,454	51,631	39,4	1,887	13,133	66,9	229,0

Nota: (%) na Base de 100 MVA / 500 ou 230 kV dependendo da tensão nominal da linha

A Tabela 2 apresenta de forma resumida a compensação de reativos em derivação e série da interligação TMM. Os parques térmicos e as usinas hidrelétricas dos sistemas Macapá e Manaus consideradas nos estudos pré-operacionais da interligação TMM são mostrados na Tabela 3.

As principais dificuldades para a obtenção dos dados referentes aos sistemas isolados de Macapá e Manaus, incluindo dados de geradores e modelos de reguladores de tensão, velocidade e estabilizadores, foram as seguintes:

- Dificuldade inicial para contato com os Agentes de geração visando a obtenção dos dados dos geradores e respectivos controladores, principalmente devido ao fato de que os mesmos operam atualmente em um sistema isolado e não tinham ainda relacionamento com o ONS;
- Como após a interligação somente irão ficar em operação usinas a gás, a maioria dos Produtores Independentes de Energia (PIE) estão convertendo suas usinas, que hoje operam a óleo, para gás para a operação após a interligação; desta forma alguns Agentes ainda não têm os ajustes finais dos controladores das unidades geradoras.

Tabela 2 – Compensação de reativos da interligação TMM

SE Xingu	SE Jurupari 500kV	SE Oriximiná 500kV	SE Silves 500kV	SE Lechuga 500kV	SE Laranjal 230kV	SE Macapá 230kV
2 RE LT 136 Mvar 1 RE Barra 136 Mvar 2 BCS 70%	2 RE LT 136 Mvar 2 RE LT 200 Mvar 2 RE Barra 136 Mvar 1 CER (-200, +200)Mvar 4 BCS 35 %	2 RE LT 200 Mvar 2 RE LT 200 Mvar 1 RE Barra 200 Mvar 1 CER (-200, +300)Mvar 4 BCS 35 %	2 RE LT 200 Mvar 2 RE LT 110 Mvar 1 RE Barra 200 Mvar 1 CER (-200, +300)Mvar 4 BCS 35 %	2 RE LT 110 Mvar 1 RE Barra 200 Mvar 4 BCS 35%	2 RE LT 25 Mvar	2 RE LT 25 Mvar

RE = reator em derivação, CER = compensador estático de reativos, BCS = banco de capacitores série

Tabela 3 - Parques Térmicos e Usinas Hidrelétricas dos Sistemas Manaus e Macapá após a interligação com o SIN

Usina	Nº de unidades	Potência MVA		Potência MW		Agente
		Unidade	Total	Unidade	Total	
SISTEMA MANAUS						
UHE Balbina	5	55,5	277,5	50	250	Eletrobras Amazonas Energia
UTE Jaraqui	23	4,45	102,35	3,282	75,486	Breitner
UTE Tambaqui	23	4,45	102,35	3,282	75,486	Breitner
UTE Manauara	5	21,35	106,75	17,076	85,38	Cia Energética Manauara
UTE Ponta Negra	5	21,35	106,75	17,076	85,38	Geradora de Energia do Amazonas
UTE Cristiano Rocha	5	21,35	106,75	17,076	85,38	RAESA
UTE Mauá Bloco 3	2	75	150	55	110	Eletrobras Amazonas Energia
UTE Mauá Bloco 4	6	20,795	124,77	15,75	94,5	Eletrobras Amazonas Energia
UTE Mauá Bloco 4	4	20,795	83,18	15,75	63	Eletrobras Amazonas Energia
UTE Aparecida Bloco 1	2	58,59	117,18	49,8	99,6	Eletrobras Amazonas Energia
UTE Aparecida Bloco 2	2	71,18	142,36	45	90	Eletrobras Amazonas Energia
SISTEMA MACAPÁ						
UHE Coaracy Nunes 1 e 2	2	25,3	50,6	24	48	Eletrobras Eletronorte
UHE Coaracy Nunes 3	1	30,4	30,4	30	30	Eletrobras Eletronorte
UTE Santana MD Wartsila	4	18,58	74,32	15,7 <sup>(3)</sup>	62,8	Eletrobras Eletronorte
UTE Santana LM 2500	3	25,24	75,72	18 <sup>(4)</sup>	54	Eletrobras Eletronorte

### 3.0 - ESTUDO DE MANOBRAS

A interligação Tucuruí – Macapá – Manaus estará sujeita a diversas perturbações ao longo dos seus quase 1800 km, desde contingências simples até contingências duplas que poderão ocasionar a separação dos sistemas Manaus e Macapá do SIN. Para dar cobertura às diversas condições possíveis, foram definidos os procedimentos a serem adotados para manobras dos circuitos de 500 e 230 kV da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus para as diversas configurações possíveis pós-contingências, bem como para colocação em operação da interligação em questão.

#### 3.1 Recomposição

A recomposição do tronco de 500 kV da SE Tucuruí 2 até a SE Lechuga poderá ser realizada desde que sejam respeitadas as seguintes condições:

- Sentido obrigatório de energização a partir da SE 500 kV Tucuruí II. A recomposição a partir da SE 500 kV Lechuga é proibida;
- Sincronizadas pelo menos 10 unidades geradoras ou 8 unidades geradoras + 1 compensador síncrono ou 5 unidades geradoras + 3 compensadores síncronos na UHE Tucuruí;
- Tensão na SE 500 kV Tucuruí 2 igual ou inferior a 540 kV;
- Todos os BCS previamente *bypassados*;

- Prévia energização do(s) reator(es) no barramento do terminal emissor da LT a ser energizada;
- A tomada de carga será iniciada preferencialmente na SE Manaus que receberá tensão a partir da LT 230 kV Lechuga – Manaus e poderá ser energizada desde que a tensão na SE 230 kV Lechuga seja igual ou inferior a 228 kV;
- A SE Macapá poderá tomar carga após receber tensão a partir da energização das LT 230 kV Jurupari – Laranjal e Laranjal – Macapá, que só poderá ser realizada com tensão igual ou inferior a 226 kV na SE 230 kV Jurupari e após fluxo de potência ativa na LT 500 kV Jurupari – Oriximiná;
- Os BCS de todas as LT só poderão entrar em operação após o fechamento de paralelo com o sistema Manaus;
- Após tomada de carga em Manaus, poderá ter início a energização do segundo circuito do tronco de 500 kV Tucuruí – Xingu – Jurupari – Oriximiná – Silves – Lechuga, desde que haja folga para absorção de até 300 Mvar na UHE Tucuruí.

### 3.2 Energização e Desenergização

Para energização e desenergização das LT em 230 kV e 500 kV foram definidas tensões pré-manobra de forma a atender os critérios estabelecidos nos Procedimentos de Rede do ONS. Adicionalmente, devem ser atendidos os seguintes condicionantes:

- O sentido normal de energização da LT será sempre a partir do terminal eletricamente mais próximo da UHE Tucuruí, ou seja, aquele de maior potência de curto-circuito. Analogamente, o sentido normal de desenergização será sempre a partir do terminal eletricamente mais distante da UHE Tucuruí;
- BCS da LT sob manobra previamente *bypassados*.

Considerando o elevado grau de compensação reativa da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus e as condições mínimas indicadas para a UHE Tucuruí, não foram verificadas maiores dificuldades para a realização de manobras de desenergização e de energização tanto para configurações de desligamento parcial quanto para recomposição total da interligação

## 4.0 - ESTUDO DE CONTROLE DE TENSÃO

- Para obtenção de níveis de tensão adequados em seus barramentos, a interligação Tucuruí – Macapá – Manaus conta com os seguintes recursos para controle do perfil de tensão:
  - ✓ Unidades geradoras e Compensadores Síncronos da UHE Tucuruí;
  - ✓ Reatores shunt e Compensadores Estáticos apresentados na Tabela 2;
  - ✓ Bancos de capacitores na SE 230 kV Lechuga – 4 x 55 Mvar;
  - ✓ LTC dos autotransformadores 500/230 kV da SE Jurupari – 2 x 450 MVA;
  - ✓ LTC dos autotransformadores 500/230 kV da SE Lechuga – 3 x 600 MVA;
- O ponto de valor mais alto de tensão no tronco de 500 kV da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus é o barramento dos BCS Xingu, na LT Xingu – Jurupari, podendo haver dificuldade para atendimento do limite máximo de 110% (550 kV) em cenários de baixo carregamento na interligação associado à baixa geração na UHE Tucuruí. Em caso de esgotamento de todos os recursos para controle de tensão, deverão ser *bypassados* os próprios BCS Xingu, para eliminação da violação de tensão nos mesmos;
- Todos os reatores de barra da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus apresentados na Tabela 2 poderão permanecer ligados em qualquer cenário de carga e importação pelos sistemas Macapá e Manaus;
- Os bancos de capacitores na SE 230 kV Lechuga poderão estar em operação ou não, de acordo com a necessidade de controle de tensão do sistema Manaus;
- É desejável que os CER operem com potência reativa em torno de zero, salvo em condições de esgotamento de potência reativa na UHE Tucuruí e/ou quando os demais recursos não forem suficientes para manter o perfil de tensão da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus dentro da faixa de operação normal;
- Em relação ao SIN, mais especificamente ao Sistema Norte e à interligação Norte/Sudeste, a entrada em operação da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus não altera as diretrizes para controle de tensão vigentes.

## 5.0 - ESTUDO DE SINCRONISMO

Para análise da sincronização dos sistemas Manaus e Macapá com o SIN, buscaram-se condições de carga e geração que maximizassem a defasagem angular entre os polos do disjuntor a ser fechado. Para formação dos sistemas ilhados Manaus e Macapá, foi mantida a geração interna mínima possível, respeitando-se as inflexibilidades das usinas térmicas e a carga total foi reduzida para manutenção do equilíbrio carga-geração das respectivas ilhas.

Os estudos de fechamento de anel foram realizados tanto para a configuração de rede completa quanto para rede alterada, uma vez que poderá ser necessário manobrar as linhas de transmissão quando outros elementos da rede estiverem fora de operação. Para tanto, pesquisou-se a configuração mais crítica, a qual contemplava a

indisponibilidade de uma linha de transmissão que maximizasse a defasagem angular entre os terminais da linha de transmissão cuja manobra está sendo estudada.

A partir dos cenários operativos supracitados, foram determinados os ajustes para os relés de verificação de sincronismo apresentados nos subitens adiante, que garantirão o atendimento aos Procedimentos de Rede do ONS, que estabelece que as variações instantâneas de potência nas unidades geradoras no instante da manobra sejam inferiores a 50% da potência nominal aparente das mesmas.

No sistema Manaus, os limites para o sincronismo desse sistema com o SIN estão associados às unidades geradoras da UTE Cristiano Rocha. No caso do sistema Macapá, os limites estão associados aos geradores da UTE Santana 2.

### 5.1 Rede de Recomposição

Para a configuração em que está energizado em vazio todo o tronco em 500 kV entre as SE Tucuruí e Lechuga, com os BCS *bypassados*, o fechamento de paralelo com os sistemas Manaus e Macapá deverá ser feito respeitando-se as condições apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Diretrizes para sincronização dos sistemas Manaus e Macapá com o SIN

Ponto de Fechamento de Paralelo	$\Delta V$ máximo	$\Delta F$ máximo	$\Delta \delta$ máximo	Unidades Sincronizadas	
				UTE C.Rocha	UTE Santana 2
TR 500/230 kV Lechuga	20%	0,20 Hz	20 graus	0 ou $\geq 2$	Indiferente
Entre Jurupari e Macapá	20%	0,20 Hz	10 graus	indiferente	0 ou $\geq 2$

### 5.2 Perdas duplas de LT

Caso ocorra perda dupla em qualquer dos trechos da interligação Tucuruí – Macapá – Manaus, o sincronismo do SIN com os sistemas Manaus e Macapá poderá ser realizado no próprio trecho, respeitando-se as condições apresentadas na Tabela 5. Neste caso, os BCS dos circuitos que não estão sob manobra foram considerados em operação, o que resulta em maiores impactos e conduz a maiores restrições nos ajustes para fechamento.

Tabela 5 – Diretrizes para sincronização dos sistemas Manaus e Macapá com o SIN em caso de perda dupla

Ponto de Fechamento de Paralelo	$\Delta V$ máximo	$\Delta F$ máximo	$\Delta \delta$ máximo	Unidades Sincronizadas	
				UTE C.Rocha	UTE Santana 2
Entre Tucuruí e Jurupari	20%	0,20 Hz	10 graus	0 ou $\geq 2$	0 ou $\geq 2$
Entre Jurupari e Lechuga				0 ou $\geq 2$	Indiferente
Entre Jurupari e Macapá				indiferente	0 ou $\geq 2$

## 6.0 - ESTUDO DE DESEMPENHO DINÂMICO

As simulações e análises realizadas para avaliação da estabilidade eletromecânica da interligação TMM têm como premissas os critérios estabelecidos no submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Antes do início dos estudos de estabilidade eletromecânica foi feita uma modelagem detalhada de todos os equipamentos responsáveis pelo desempenho dinâmico do sistema, a partir de dados informados pelos Agentes envolvidos. Foram modelados os quatro CER das redes de 500 e 230 kV da interligação, assim como os geradores e seus respectivos controladores (reguladores de tensão, velocidade e estabilizadores), dos sistemas Manaus e Macapá que irão ficar em operação após a interligação com o SIN.

Foi definida uma lista de contingências duplas e simples nos sistemas de transmissão de 500 e 230 kV da interligação TMM e também no sistema Manaus 230 kV, que farão parte da Rede Básica.

Os sistemas Manaus e Macapá atualmente têm grande parte da carga atendida por usinas a óleo que, conforme planejado, irão sair de operação paulatinamente após a interligação. Para o sistema Manaus, por exemplo, em carga pesada, a saída de operação dessas usinas representa cerca de 50% do atendimento da carga da área. Desta forma, os cenários de intercâmbio analisados são de importação e, sendo assim, todas as contingências duplas nas redes de 500 e 230 kV da interligação TMM provocam a atuação do Esquema Regional de Alívio de Carga (ERAC) em Manaus e Macapá ou somente em uma delas, dependendo do trecho onde houver a contingência dupla.

A perda dupla da LT 500 kV Xingu - Jurupari (trecho inicial da interligação) resulta na formação de uma ilha elétrica dos sistemas Manaus e Macapá. Conforme mencionado, neste caso há a atuação do ERAC em ambos os sistemas, e a ilha formada é estável. Para as contingências simples no tronco de transmissão, em face do baixo carregamento do mesmo, não houve qualquer problema de estabilidade.

As contingências duplas na rede de 230 kV de Manaus são bastante severas do ponto de vista de carregamento de

circuitos pós-contingência, uma vez que a rede entre as SE Manaus e Mauá 3 é fechada em anel através de uma rede de 69 kV, consequentemente com baixa capacidade de transmissão. Para todas as contingências duplas analisadas há sobrecargas em linhas de transmissão de 69 kV, em alguns casos chegando até cerca de 70% do carregamento nominal e também nos transformadores 230/69 kV da SE Manaus. Em todos os casos, as sobrecargas podem ser eliminadas através de cortes de carga nas subestações terminais dos circuitos em sobrecarga, através de esquemas de corte de carga locais. Da mesma forma que para a interligação TMM não houve qualquer problema de estabilidade para contingências simples no sistema Manaus 230 kV.

Para a contingência dupla da LT 230 kV Jurupari - Laranjal, apesar da atuação correta do ERAC, foi observada a perda de sincronismo das unidades geradoras da UHE Coaracy Nunes no sistema Macapá para casos onde o somatório do fluxo de potência ativa nos dois circuitos era superior a 100 MW pré-contingência. A perda dupla do circuito Jurupari - Laranjal, associado a perda de sincronismo dessas unidades geradoras usina provocará um blecaute no sistema Macapá. De forma a evitar tais problemas, foi proposto um Sistema Especial de Proteção (SEP), que irá cortar imediatamente todas as cargas conectadas à SE Laranjal na perda dupla da LT 230 kV Jurupari – Laranjal, caso o somatório do fluxo de potência ativa nos dois circuitos pré-contingência seja superior a 100 MW.

Para o correto desempenho do sistema para as contingências analisadas também foi recomendado o ajuste da estratégia de bloqueio por subtensão dos quatro CER da interligação TMM, conforme a Tabela 6 abaixo, onde as tensões apresentadas são valores mínimos das tensões fase-neutro e fase-fase, para melhor seletividade na atuação da estratégia:

Tabela 6 – Estratégia de subtensão dos CER

Equipamento	Ação	Ajuste de Tensão	Temporização
CER de Jurupari, Oriximiná e Silves	Bloqueio	$\leq 0,60$ pu	5 ms
	Desbloqueio	$\geq 0,70$ pu	150 ms
CER de Macapá	Bloqueio	$\leq 0,65$ pu	5 ms
	Desbloqueio	$\geq 0,75$ pu	150 ms

## 7.0 - ESTUDO DE DETERMINAÇÃO DE LIMITES DE TRANSMISSÃO

Os limites de intercâmbio entre os sistemas Manaus e Macapá e o SIN serão impostos pelas próprias características dos sistemas. De fato, conforme abordado anteriormente, para fazer frente a eventuais perdas duplas na interligação TMM – contingência que não pode ser desprezada – faz-se necessário manter geração sincronizada internamente aos sistemas Manaus e Macapá.

Na prática a importação de energia do SIN estará limitada a cerca de 50% da carga dos sistemas Manaus e Macapá. A outra metade da carga deverá ser suprida localmente, através da geração interna disponível. Essa providência garante um desempenho dinâmico adequado para esses sistemas, com atuação satisfatória do ERAC após a separação do SIN, quando de contingências duplas ou simples com indisponibilidade na interligação TMM.

Para os cenários examinados, por exemplo, a importação máxima do sistema Manaus será de cerca de 700 MW, valor bastante inferior ao limite de estabilidade para perdas simples na interligação TMM.

## 8.0 - ESTUDO DE SUPERAÇÃO DE DISJUNTORES

Com a configuração atual do sistema Manaus, isto é, considerando os barramentos de Mauá e Manaus 69 kV segregados, e com a integração dos sistemas Manaus e Macapá ao SIN, foi detectada apenas um disjuntor de 69 kV da SE Santana em estado de alerta por corrente de curto-circuito simétrica. Apesar de nenhuma instalação ter apresentado superação de disjuntor, algumas instalações tiveram evolução significativa dos níveis de curto-circuito. Para as quarenta e quatro instalações que apresentaram variação percentual de nível de curto-circuito de  $\pm 10\%$ , o ONS recomendou que os Agentes concessionários destas instalações verificassem os ajustes de suas proteções.

Caso venha a ser necessário o fechamento dos barramentos de 69 kV das SE Mauá e Manaus, o montante de disjuntores superados no sistema Manaus chegaria a sessenta e três unidades, o que demandaria um grande esforço de engenharia e financeiro para substituí-los.



## 9.0 - SISTEMAS ESPECIAIS DE PROTEÇÃO E AJUSTES DAS PROTEÇÕES SISTÊMICAS

### 9.1 SEP - Esquema de corte de carga na SE Laranjal quando da contingência dupla da LT 230 kV Jurupari - Laranjal

Nas simulações realizadas nos estudos pré-operacionais foi observado que as unidades geradoras 1 e 2 da UHE Coaracy Nunes perdem sincronismo na contingência dupla da LT 230 kV Jurupari - Laranjal, quando o somatório dos fluxos de potência ativa nos dois circuitos antes da contingência é superior a 100 MW, indicando a necessidade de implantação de um SEP para corte total das cargas conectadas a SE Laranjal, quando dessa contingência dupla

A rede elétrica da Área Macapá está sendo revista no âmbito dos estudos do segundo quadrimestre de 2013. Dessa forma, a real necessidade de implantação de um SEP para corte das cargas conectadas à SE Laranjal, quando de contingência dupla, será reavaliada tão logo essa rede esteja definida.

### 9.2 Ajustes das Proteções Sistêmicas

#### 9.2.1 Esquema Regional de Alívio de Carga (ERAC)

Na seção 6.0 foram apresentados as principais conclusões obtidas a partir das simulações dinâmicas das contingências duplas dos troncos de 230 e 500 kV na interligação TMM que provocam o ilhamento das Áreas de Manaus e/ou Macapá. Para essas contingências foi dimensionado um ERAC, de forma a reestabelecer o equilíbrio carga versus geração e atender, mesmo que parcialmente, parte da carga dessas áreas através da formação de ilhas elétricas dinamicamente estáveis.

Para o dimensionamento do ERAC foram considerados os ajustes das proteções de sub e sobrefrequência das unidades geradoras, conforme informações prestadas pelos Agentes de geração da área, de forma que não houvesse desligamento das mesmas devido a atuação dessas proteções.

As Tabelas 7 e 8 apresentam os ajustes do ERAC proposto. Esses ajustes foram utilizados em todas as simulações desse trabalho e apresentou desempenho dinâmico satisfatório, apesar da severidade das contingências.

Adicionalmente, foram realizadas simulações para verificar a adequação dos ajustes propostos do ERAC da Área Manaus em cenários com importação da área variando de importação nula a 50% de importação. Os resultados das simulações mostram que os ajustes propostos para o ERAC apresentam desempenho adequado para os diversos valores de intercâmbio das áreas Manaus e Macapá.

#### 9.2.2 Proteção de Sobretensão Instantânea e Temporizada

Considerando os resultados dos estudos de energização de linhas, bem como os ajustes das proteções de sobretensão atualmente implantados nas linhas existentes, foram propostos ajustes para as proteções das linhas de 500 e 230 kV da interligação Tucuruí – Macapá - Manaus. Os ajustes propostos para o sistema de 500 kV entre Tucuruí II-Lechuga são mostrados na Tabela 9. Também foram propostos ajustes para os sistemas de 230 kV de Manaus e Macapá [2].

Tabela 7 – Janela de medição de taxas de variação de frequência do ERAC

Área	Janela de medição da taxa de variação de frequência
Manaus	De 59,7 Hz a 59,2 Hz
Macapá	
Interligação	

Tabela 8 – Ajustes do ERAC

Área	Agente envolvido na carga cortada	Estágio	Taxa (Hz/s)	Frequência de retaguarda (Hz)	Corte de carga (%)
Manaus	Eletrobras Amazonas Energia	1º	1,00	58,3	12
		2º	2,00	58,1	12
		3º	2,50	57,9	12
		4º	5,50	57,7	12
		5º	7,00	57,5	12
Macapá	Eletrobras Eletronorte, Centrais Elétricas do Amapá (CEA)	1º	0,50	58,3	11
		2º	1,00	58,1	11
		3º	2,00	57,9	11
		4º	4,00	57,7	11
		5º	6,00	57,5	11
Interligação	CELPA e Amazonas Energia	1º	0,50	58,3	11
		2º	1,00	58,1	11
		3º	2,00	57,9	11
		4º	4,00	57,7	11
		5º	6,00	57,5	11

Tabela 9 – Ajustes dos relés de sobretensão do sistema de 500 kV (instantâneo/temporizado)

LT 500 KV	Term. 1	Circuito 1		Circuito 2		Term. 2	Circuito 1		Circuito 2	
		Vinst/Vtemp (%)	Tinst/Ttemp (s)	Vinst/Vtemp (%)	Tinst/Ttemp (s)		Vinst/Vtemp (%)	Tinst/Ttemp (s)	Vinst/Vtemp (%)	Tinst/Ttemp (s)
TUC II-XGU	TUC II	147/131	0,0/3,5	147/131	0,0/4,5	XGU	145/131	0,0/3,5	145/131	0,0/4,5
XGU-JUR	XGU	145/131	0,0/3,0	145/131	0,0/4,0	JUR	145/131	0,0/3,0	145/131	0,0/4,0
JUR-ORI	JUR	145/131	0,0/2,5	145/131	0,0/3,5	ORI	145/131	0,0/2,5	145/131	0,0/3,5
ORI-SIL	ORI	145/131	0,0/3,0	145/131	0,0/4,0	SIL	145/131	0,0/3,0	145/131	0,0/4,0
SIL-LEC	SIL	145/131	0,0/2,5	145/131	0,0/3,5	LEC	145/131	0,0/2,5	145/131	0,0/3,5

## 10.0 - CONCLUSÃO

Os estudos pré-operacionais para a integração dos sistemas isolados de Manaus e Macapá mostraram-se complexos e desafiadores. No início desses estudos, o ONS enfrentou alguns problemas para a obtenção de dados dos Agentes de transmissão e geração, em um ambiente ainda novo para alguns desses Agentes. Além disso, a conversão de muitos PIE de óleo combustível para gás natural em Manaus atrasou a definição de modelos dinâmicos desses geradores.

O fato dessa interligação possuir 18 BCS e 4 CER, além de sua vasta extensão, fez com que os estudos se tornassem difíceis notadamente nas condições de ilhamento. Para que as ilhas elétricas resultantes das perdas duplas fossem estáveis, foi definido um ERAC de atuação rápida, com 5 estágios e baseado em taxa de variação de frequência e frequência absoluta de retaguarda. Além disso, como resultado dos estudos pré-operacionais foram definidos os ajustes das proteções sistêmicas, os ajuste sistêmicos dos CER, os pré-requisitos para sincronismo, as diretrizes para controle de tensão e energização/desenergização de circuitos.

Por fim, cabe salientar que o presente trabalho abordou a interligação TMM considerando que todas as obras internas estruturais aos sistemas Manaus e Macapá estarão comissionadas na data de entrada em operação desta interligação. Importante também salientar que a experiência da interligação Acre-Rondônia foi levada em consideração nesses estudos de integração da interligação TMM.

## 11.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Procedimentos de Rede do ONS – Submódulo 23.3 – Diretrizes e Critérios para Estudos Elétricos

[2] Relatório ONS RE 3/196/2012 – Estudos Pré-operacionais Associados à Interligação em 500 kV Tucuruí-Macapá-Manaus.

[3] Edital do Leilão 004/2008-ANEEL – Anexos 6A, 6B, 6C – Interligação Tucuruí-Macapá-Manaus



## 12.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Antonio Ricardo de Mattos Tenório**, graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) na turma de julho de 1982. Em 1985, fez o curso de pós-graduação no CESE (Curso de Especialização em Sistemas Elétricos) na Escola de Engenharia de Itajubá (EFEI). Em 1995, concluiu seu mestrado (MSc) pela UMIST (University of Manchester - Institute of Science and Technology), na Inglaterra, na área de sistemas elétricos e eletrônica de potência. Em 2011 concluiu o MBA de Capacitação em Aspectos Institucionais do Setor Elétrico na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Trabalhou na Chesf durante 18 anos e na ABB Power Technologies/FACTS (Suécia) durante 5 anos. Desde 2004 trabalha no

ONS, na área de estudos especiais, como engenheiro especialista. Suas áreas de interesse envolvem sistemas CA e CC, estudos elétricos e eletromagnéticos, qualidade de energia, equipamentos FACTS, HVDC e eletrônica de potência. É filiado ao IEEE e ao CIGRÉ-Brasil, onde exerce atualmente o cargo de Secretário do Comitê de Estudo B4 – Elos de Corrente Contínua e Equipamentos FACTS, desde setembro de 2012.

**Daniele de Vasconcelos Pereira da Motta** (Rio de Janeiro, 1976), Engenheira eletricista graduada pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, em 1999. Mestrado em Sistema de Potência na COPPE/UFRJ, em 2005. Especialização em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ, em 2008. Atua como Engenheira de Sistema de Potência no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS desde 1999, desenvolvendo estudos pré-operacionais para integração ao SIN de novas instalações, estudos de recomposição e demais estudos elétricos de regime permanente e transitórios eletromecânicos.



**Paulo Eduardo Martins Quintão**, engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ em 1993, com mestrado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 1999. De 1994 a 2008 trabalhou no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL no desenvolvimento de ferramentas computacionais para análise de sistemas de potência. Desde 2008 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS na Gerência de Estudos Especiais - GPE2.



**Leonardo Côrtes Soares** (Rio de Janeiro, 1976), Engenheiro eletricista graduado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ em 2000. Atua como Engenheiro de Sistema de Potência no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS desde 2000, desenvolvendo estudos elétricos de regime permanente e transitórios eletromecânicos para o planejamento da operação elétrica de curto e médio prazo e estudos pré-operacionais para integração ao SIN de novas instalações.



**Eliane de Fátima Silva**, Engenheira eletricista graduada pela UFBA (1979). Fez curso de pós-graduação na UFSC (1987). Trabalhou na Coelba (1978-1982), Eletronorte (1982-2000) e desde janeiro de 2000 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.



**Antonio Felipe da Cunha de Aquino**, engenheiro eletricista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ em 1999, com mestrado e doutorado em engenharia elétrica pela COPPE/UFRJ em 2000 e 2012, respectivamente. Em 2003, concluiu o curso de pós-graduação *latu sensu* em Proteção de Sistemas Elétricos pela UFRJ e, em 2009, o Curso de Capacitação Institucional do Setor Elétrico – CAISE pela PUC-RJ. De 1999 a 2000 trabalhou como pesquisador no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Desde 2000 trabalha no Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS com análise de sistemas de potência, ocupando o cargo de gerente na Gerência de Estudos Especiais – GPE2.