



**XXI SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO – GAT

GRUPO DE ESTUDO DE ANÁLISE E TÉCNICAS DE SISTEMA DE POTÊNCIA – GAT

O BLECAUTE DE 11/10/2009 E SEUS FUTUROS REFLEXOS NO PLANEJAMENTO, OPERAÇÃO E RECOMPOSIÇÃO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL – SIN

**Paulo Gomes
ONS**

RESUMO

No dia 10/11/2009 às 22h13min ocorreu uma perturbação no SIN, envolvendo os 3 circuitos da LT 765 kV Itaberá – Ivaiporã, provocando a rejeição de 3564 MW de geração da usina de Itaipu – 60Hz, a abertura da interligação Sul/Sudeste e o desligamento do sistema de HVDC associado à Itaipu 50Hz, que estava com um carregamento de 5329MW.

Na sequência ocorreram outros desligamentos ocasionando ao final da perturbação um corte de carga de 24436 MW, que correspondeu a aproximadamente 40% da carga do SIN no instante imediatamente anterior à perturbação. O tempo médio de recomposição das cargas foi de 222 minutos.

Neste artigo são apresentados: uma descrição da perturbação, a sua origem e causa, as consequências da mesma e as principais providências tomadas, conclusões e recomendações, tendo por base o relatório da análise desta perturbação, elaborado pelo ONS em conjunto com os Agentes envolvidos.

Ressalta-se que a elaboração de relatório desta natureza é uma atividade considerada da maior importância, pois permite aprimorar cada vez mais o conhecimento sobre o desempenho do sistema, proporcionando a adoção de novas ações/medidas corretivas/procedimentos que permitem fortalecer a segurança elétrica do SIN, com reflexos no Planejamento, Operação e Recomposição do SIN.

Palavras-chave:

BLECAUTES, INTERRUPÇÕES DE GRANDE PORTE, DESEMPENHO FRENTE A PERTURBAÇÕES, RECOMPOSIÇÃO.

1.0 - INTRODUÇÃO – DESCRIÇÃO SUCINTA DA PERTURBAÇÃO

A perturbação do dia 10/11/2009, que teve início às 22h13min, envolvendo a LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã (circuitos C1, C2 e C3), provocando a rejeição de 5.564 MW de geração da UHE Itaipu - 60 Hz, bem como a abertura dos circuitos remanescentes da Interligação Sul-Sudeste, em 525 kV, 500 kV e 230 kV, interrompendo adicionalmente um fluxo de 2.950 MW, Sul exportador para o Sudeste e o desligamento dos dois Bipólos do Sistema HVDC, que no momento encontravam-se com 5329 MW. Na sequência ocorreram outros desligamentos, ocasionando uma interrupção total de 24.436 MW (40 %) de cargas do Sistema Interligado Nacional, distribuídas da seguinte forma entre as regiões Sudeste: 22.468 MW, Centro-Oeste: 867 MW, Sul: 104 MW, Nordeste: 802 MW e Norte (Estados do Acre e Rondônia): 195 MW.

A perturbação teve início com uma falta monofásica, envolvendo a fase Branca, na LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã C1, durante condições meteorológicas adversas. Instantes após, com esta primeira falta ainda presente, ocorreu outra falta monofásica, desta vez envolvendo a fase Vermelha, na LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã C2. Em sequência, ainda com as duas primeiras faltas presentes, ocorreu uma terceira falta monofásica, envolvendo a fase Azul, esta

localizada na Barra A de 765 kV da SE Itaberá.

Assim sendo, as faltas ocorreram quase que simultaneamente nos citados circuitos C1 e C2 e na Barra A de 765 kV da SE Itaberá, permanecendo presentes por alguns instantes, configurando para o SIN um curto-circuito trifásico envolvendo a terra, na SE Itaberá, até o instante em que foi iniciado o processo de eliminação dos defeitos, com a retirada de serviço dos componentes afetados.

A falha na LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã C1 foi eliminada pelas atuações das proteções Principais e Alternadas de distância, baseadas no princípio de ondas trafegantes, em ambos os terminais. A falha na LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã C2 foi eliminada pelas atuações das proteções de sobrecorrente direcionais, em ambos os terminais. A falha na Barra A – 765 kV, da SE Itaberá, foi eliminada pela atuação da proteção Diferencial de Barra local. Instantes após a eliminação desta última falta, houve a atuação da proteção de sobrecorrente instantânea residual do Reator “shunt” da LT 765 kV Itaberá - Ivaiporã C3, em Ivaiporã, acarretando o desligamento dessa LT, interrompendo totalmente a conexão entre as SEs Itaberá e Ivaiporã.

Na UHE Itaipu - 60 Hz ocorreram os desligamentos de 5 unidades, rejeitando 3100 MW de geração, por atuação das Lógicas do Esquema de Controle de Emergência – ECE do tronco de 765 kV, devido à perda tripla nesse tronco de 765 kV, ocorrida no trecho entre as SEs Itaberá e Ivaiporã, promovendo o ilhamento e a preservação da região Sul.

No instante da perturbação a UHE Itaipu - 60 Hz operava com 9 Unidades Geradoras sincronizadas.

Face ao distúrbio mencionado acima ocorreu a abertura da LT 500 kV Bateias - Ibiúna C1 e C2, por sobrecarga e oscilação de potência entre os subsistemas Sul e Sudeste, com elevação da frequência no subsistema Sul a 63,5 Hz e redução da frequência no subsistema Sudeste a 58,3 Hz.

Instantes após os eventos até aqui mencionados ocorreram, principalmente nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, desligamentos de unidades geradoras e de diversas Linhas de Transmissão, estas pelas suas proteções de distância, em decorrência da oscilação de potência experimentada pelo Sistema.

Em decorrência da elevação de frequência citada anteriormente na Região Sul, em taxa elevada, ocorreu a abertura da LT 765 kV Foz do Iguaçu – Ivaiporã C1, C2 e C3, por atuação da Lógica 4 do ECE do tronco de 765 kV, isolando a Usina de Itaipu – 60 Hz, que permanecia conectada ao Sistema Sul.

Pelos mesmos motivos já descritos, foram desligadas também, pelas suas proteções, as linhas de Interligação do Sistema do Mato Grosso do Sul com as Regiões Sul e Sudeste, levando este Sistema ao colapso.

Com as aberturas mencionadas, ocorreu colapso de tensão na região Sudeste, notadamente na região de São Paulo, desligando o Sistema de Transmissão HVDC pela atuação da proteção de mínima tensão CC, interrompendo um fluxo de 5.329 MW, por este Elo CC, ficando a Usina de Itaipu – 50 Hz isolada do Sistema Interligado Nacional (SIN).

O distúrbio ocorrido no SIN provocou colapso nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Mato Grosso do Sul e atuações do ERAC, rejeitando cargas na Região Nordeste e Áreas Minas, Goiás, Mato Grosso e Acre/Rondônia, esta última após sua separação do Sistema Sudeste/Centro Oeste, formando ilha em torno da UHE Samuel e da UTE Termonorte II.

2.0 - CONSIDERAÇÕES METEOROLÓGICAS ANTES DO EVENTO

No dia do distúrbio verificava-se o deslocamento de uma frente fria ocasionando chuvas significativas e vento no norte de Santa Catarina e no Paraná.

Na área dos Estados de Santa Catarina e do Paraná, onde estão localizadas Linhas de 525 kV e de 765 kV (trechos Foz do Iguaçu / Ivaiporã e Ivaiporã / Itaberá), a partir das 14h00min foram observadas condições de tempo severo em Foz do Iguaçu e Cascavel, com a ocorrência de chuvas, ventos e descargas atmosféricas.

As figuras 1 e 2 a seguir apresentam o registro acumulado de descargas atmosféricas no período de 13:00 às 14:00 horas e em outro período de tempo de 22:10 às 22:20 horas onde ocorreu o evento.

Em função destas informações sobre as condições climáticas, a partir das 14h00min, o despacho de geração da UHE Itaipu – 60 Hz foi reduzido para reduzir o fluxo pelo tronco de 765 kV (em vermelho na figura), privilegiando a segurança do sistema elétrico, conforme pode ser observado no diagrama da figura 3.

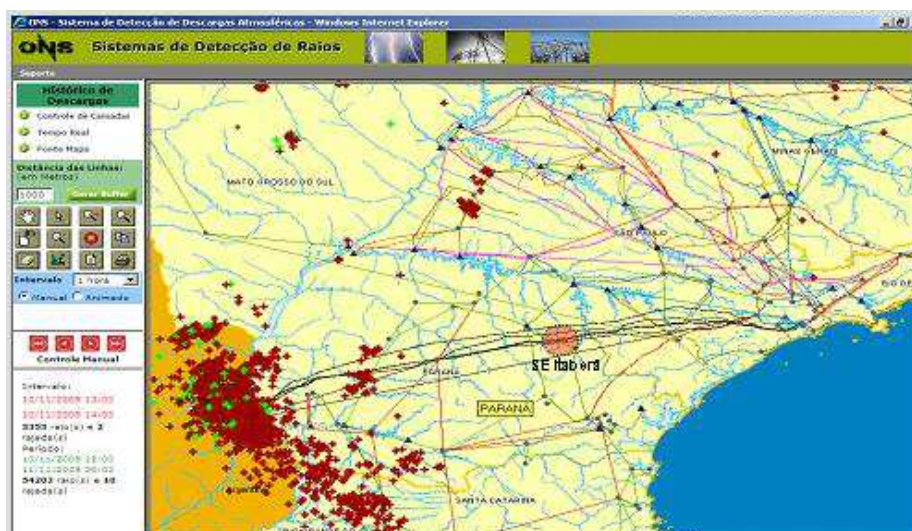


Figura 1 – Registro Acumulado de Descargas Atmosféricas (dia 10/11/2009, de 13:00 às 14:00h)



Figura 2 – Registro Acumulado de Descargas Atmosféricas (dia 10/11/2009, de 22:10 às 22:20h)

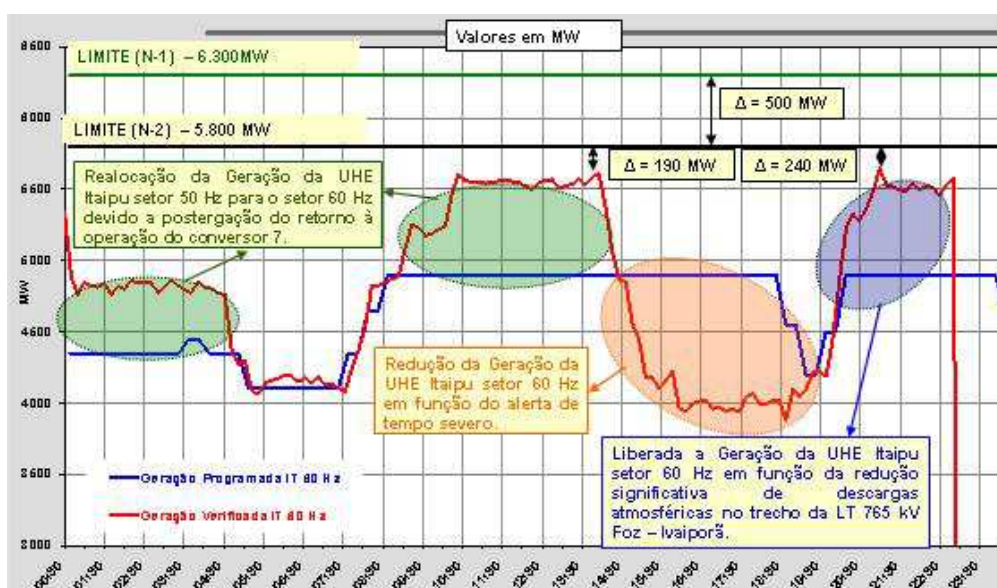


Figura 3 – Operação do dia 10/11/2009 (UHE Itaipu 60 Hz)

3.0 - PRINCIPAIS CONCLUSÕES DO RELATÓRIO DA ANÁLISE DA PERTURBAÇÃO

3.1. De caráter geral

- O processo de melhoria de Segurança Elétrica é um processo continuado, face as alterações constantes de topologia da rede, das cargas, da entrada em operação de novas usinas, incorporação de novos tipos de geração, mudanças das condições ambientais, etc.
- As análises de perturbações se constituem para todos os sistemas elétricos em um importante recurso de “feedback”, para identificar e implantar melhorias para o desempenho dos sistemas, haja visto que as perturbações, notadamente as mais graves, são diferentes umas das outras.
- O distúrbio que implicou no blecaute em análise, relativo ao dia 10/11/2009, foi muito mais severo do que os distúrbios que provocaram os blecautes de 1999 e 2002, não apenas pelo fato de envolver, visto pelo SIN, um curto-circuito trifásico com envolvimento da terra, mas, também, por provocar o desligamento dos 3 circuitos do tronco de transmissão em 765 kV, no mesmo trecho. Ainda assim, comparativamente, as consequências desse evento para o Sistema Interligado Nacional – SIN foram menos severas, conforme pode-se constatar pelo fato de ter sido preservada praticamente a totalidade das cargas na região Sul, pela preservação da totalidade das cargas de Brasília e pelo montante reduzido do corte de carga em Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. Na região Nordeste o corte de carga ocorreu somente pela atuação do ERAC e o tempo médio de retorno foi de 20 minutos. Cabe destacar que foi fundamental para esse desempenho não somente a adequada atuação dos esquemas de ilhamento como, também, as expansões do sistema de transmissão, notadamente as que envolvem reforços nas interligações entre subsistemas e sistemas receptores associados.
- O tempo médio de recomposição das cargas foi de 222 minutos. Com isto a gravidade desta perturbação, segundo metodologia internacionalmente adotada, foi de 90 sistema.minutos, inferior a dos blecautes de 1999 e 2002 que foram respectivamente de 111 e 106 sistema.minutos.

Para referência:

- O grau de 1,0 sistema.minuto, para uma perturbação, significa que o valor da energia não suprida na mesma seria igual a energia não suprida, caso se interrompesse a ponta de carga do sistema por um tempo de 1,0 minuto.
- O controle do perfil de tensão na área São Paulo, notadamente durante transitórios eletromecânicos, depende da contribuição de reativos vindos pelo tronco de 765 kV e pelas interligações em 500 kV entre o Sul e Sudeste.
- A compensação reativa recentemente implantada na área São Paulo, através de bancos de capacitores “shunt”, contribuem para a melhoria significativa do perfil de tensão desta área, em regime permanente. Porém, nas condições de colapso de tensão, após a perda do tronco de 765 kV, como verificado nesta perturbação, a contribuição destes bancos é pouco efetiva. Verificou-se, portanto, a necessidade de se avaliar a implantação de compensação reativa controlável, cujo fornecimento de reativos não seja impactado significativamente com a redução dos valores da tensão.
- Ressalta-se que o fenômeno de colapso de tensão provocou o desligamento do Elo HVDC pela sua proteção de mínima tensão CC.
- Para condições do tipo desta perturbação, o colapso de tensão ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno, o que dificulta bastante a implantação de esquemas de ilhamentos na área São Paulo. Ressalta-se aqui, que face as ações a serem comandadas pelos mesmos, que podem incluir elevados blocos de cortes de carga na área São Paulo, exige a obrigatoriedade de que um esquema para este fim tenha um nível adequado de seletividade, confiabilidade e flexibilidade e que também permita a sua atuação adequada para outros tipos de perturbações, bem como os efeitos altamente indesejáveis de uma atuação acidental do mesmo (prevenir a atuação do esquema sem que tenha havido qualquer distúrbio no sistema).

3.2. Quanto à perturbação em si:

As análises efetuadas concluíram que os curtos-circuitos verificados foram provocados por descargas atmosféricas e/ou pela redução da efetividade dos isoladores submetidos às condições meteorológicas adversas, caracterizadas por chuvas intensas e rajadas de vento.

O início da perturbação, na SE Itaberá 765 kV, foi singular. Pelo diagrama da figura 4 a seguir verifica-se que durante 13,5 milissegundos co-existiram três curtos-circuitos monofásicos, vistos pelo sistema como curto-circuito trifásico envolvendo a terra, face à localização dos defeitos.



Figura 4 – Sequência de Eventos e Efeito Resultante para o SIN

Como decorrência do distúrbio acima citado verificou-se a perda de toda a geração da UHE Itaipu (inicialmente a perda do setor de 60 Hz e posteriormente a perda do setor de 50 Hz, decorrente do desligamento do Elo de Corrente Contínua). À perda total da UHE Itaipu (aproximadamente 11.000 MW) foi acrescida a perda das Usinas conectadas ao Sistema de 440 kV.

3.3 Com relação aos cortes de carga observou-se:

Na região Sul, os Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, sofreram um corte de carga da ordem de 1 % e as mesmas foram restabelecidas em aproximadamente 9 minutos.

Na região Norte e no Estado do Maranhão não ocorreram cortes de carga. Os cortes de cargas verificados nesta região foram nos estados do Acre e Rondônia, pelo ERAC, e essas cargas restabelecidas em 30 minutos.

Na região Nordeste verificou-se a atuação de corte de carga pelo ERAC com tempo médio de retorno das mesmas em 20 minutos.

Nas regiões Sudeste e Centro Oeste, a área Goiás/Brasília não foi afetada, Minas Gerais foi pouco afetada e as cargas desligadas, prontamente restabelecidas. Os maiores problemas foram concentrados nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo e Mato Grosso do Sul. O tempo médio de recomposição das cargas da regiões Sudeste e Centro Oeste foi de 237 minutos e 72 minutos, respectivamente.

O quadro a seguir sumariza a questão das interrupções de carga.

Interrupções de cargas no Sistema Interligado Nacional					
Empresa	Carga (MW)	Duração Média (minutos)	Energia (MWh)	GIE	Distúrbio
ESCELSA	1286	124	2657,7	9,75	Extremamente grave
ELFSM	56	240	224,0		
CELG	89	10	14,8	3,25	Pequeno Porte
CEMAT	190	38	120,3	5,50	Médio Porte
ENERSUL	588	94	921,2	9,00	Muito grave
CEMIG	331	40	220,7	4,25	Médio porte
ENERGISA MG	186	98	303,8		
LIGHT	4600	235	18016,7	9,75	Extremamente grave
AMPLA	1576	227	5962,5		
ENERGISA N. FRIBURGO	55	161	147,6		
ELETROPAULO	6700	284	31713,3	9,50	Muito grave

Interrupções de cargas no Sistema Interligado Nacional					
Empresa	Carga (MW)	Duração Média (minutos)	Energia (MWh)	GIE	Distúrbio
BANDEIRANTE	2120	209	7384,7		
CAIUÁ	92	205	314,3		
ELEKTRO	1464	182	4440,8		
JAGUARIUNA	63	274	287,7		
PAULISTA	1974	243	7994,7		
PIRATININGA	1911	290	9236,5		
SANTA CRUZ	54	30	27,0		
CEAL	54	29	26,1	4,00	Pequeno porte
COELBA	150	30	75,0	3,75	Pequeno porte
ENERGISA PB / BO	94	29	45,4		
CELPE	414	22	151,8	4,75	Médio porte
COPEL	53	3	2,7	3,00	Pequeno porte
COSERN	38	21	13,3	3,50	Pequeno porte
CERON	136	30	68,0	5,25	Médio porte
AES Sul	16	8	2,1	3,00	Pequeno porte
CELESC	35	19	11,1	3,25	Pequeno porte
ENERGISA SE	52	5	4,3	4,00	Pequeno porte
ELETROACRE	63	26	27,3	5,75	Grande porte
TOTAL	24440	222	90415,4	7,25	Blecaute grave

4.0 - LIÇÕES APRENDIDAS

Trabalhos de pesquisa desenvolvidos pelo CEPEL/FURNAS nos laboratórios de EAT, concluíram que a capacidade de isolamento de cadeia isoladores pode ser reduzida em até 30% quando os mesmos são submetidos a intensidades de chuvas superior a 3mm/min. Este fato aumenta a probabilidade de ocorrência de descargas elétricas ao longo da cadeia de isoladores, provocando curtos-circuitos.

Os trabalhos desenvolvidos também identificaram que o desempenho da cadeia de isoladores melhora com a utilizadores dos defletores de chuva ("booster sheds").

5.0 - MEDIDAS IMPLANTADAS NA SE ITABERÁ APÓS A PERTURBAÇÃO

As seguintes ações após a perturbação foram tomadas por Furnas na SE Itaberá, no sentido de aprimorar o desempenho da SE quando de condições meteorológicas adversas.

- Verificação em conjunto com o CEPEL da malha da terra da SE e da condição do aterramento das torres de 765 kV, na área próxima à SE Itaberá, tendo sido constatado a condição satisfatória dos mesmos;
- Furnas adquiriu e instalou defletores de chuva "booster sheds" em 278 isoladores de Pedestal da SE Itaberá, visando melhorar o desempenho hidrelétrico dos isoladores da barramento sob chuva intensa (Figuras 5 e 6).
- Retirada dos 13 filtros de onda das 6 linhas de transmissão de 765 kV, conectados na SE Itaberá, com a migração do sistema Carrier para o de microondas. Tal medida teve por objetivo minimizar a probabilidade de falta nos isoladores de pedestal dos filtros de onda da SE Itaberá (Figuras 7 e 8).
- Melhoria da blindagem da SE Itaberá no tocante a incidência de descargas atmosféricas. Foram implantadas 7 novas estruturas metálicas (19 toneladas cada e 50m de altura), realocação de uma estrutura já existente e lançados novos cabos de blindagem com o objetivo de reduzir o valor máximo admissível de corrente de descargas atmosféricas, minimizando o valor de tensão aplicada nos isoladores de pedestal (Figura 9).



Figura 5 – Booster Sheds



Figura 6 – Coluna de Isoladores com *Booster Sheds*



Figura 7 – Retirada dos Filtros de Onda



Figura 8 – Filtros de Onda retirados de Operação



Figura 9 – Trabalho de Novos Cabos de Blindagem da SE Itaberá

6.0 - PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES

A seguir são apresentadas de forma sucinta as principais recomendações oriundas de análise do evento:

- Reavaliar os critérios de Segurança adotados pelo Planejamento da Expansão e Planejamento da Operação considerando os riscos e os custos envolvidos como também as eventuais consequências da perturbação;
- Obter informações mais seguras relacionadas as condições ambientais (vendavais/chuvas/descargas atmosféricas) a fim de permitir ao ONS a implantação de medidas de segurança preventivas;
- Reavaliar os requisitos de proteção intrínsecas de equipamentos verificando a influência de sua atuação no desempenho do sistema como um todo;
- Aprimorar os Procedimentos de Rede de forma a assegurar o conhecimento dos riscos envolvidos, especialmente durante os serviços de manutenção programada no sistema de transmissão, permitindo ao Operador adotar medidas preventivas para garantir a operação segura do SIN;
- Analisar a viabilidade de implementar novos sistemas especiais de proteção;
- Analisar a viabilidade de se utilizar as usinas termelétricas nos processos recomposição, notadamente aqueles localizados próximas aos grandes centros de carga;
- Analisar a criação de novos corredores de recomposição e a incorporação de dispositivos de auto-restabelecimento (black-start) em outras usinas;
- Realizar trabalho junto aos provedores dos sistemas de telecomunicação no sentido de aprimorar os processos de comunicação entre o Operador e os Agentes durante distúrbios.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Relatório ONS-RE-3-252-2009 – Análise da Perturbação do dia 10/11/2009 às 22h13min envolvendo o desligamento dos circuitos da LT 765 kV Itaberá-Ivaiporã;
- (2) Apresentação Furnas ao CMSE – Ações para Melhoria do Desempenho da SE Itaberá frente a Descargas Atmosféricas sob Condições de Chuvas Intensas (26/04/2010).

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Paulo Gomes, nascido no Rio de Janeiro, em 25 de agosto de 1948, obteve o grau de Engenheiro Eletricista pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro em 1973 , o grau de Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 1976 e o grau de Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá em 2001. Atualmente trabalha no ONS – Operador Nacional do Sistema como assessor da Diretoria de Planejamento e Operação da Operação.