

## **Consciência situacional das equipes de tempo real do Despacho de Carga de ITAIPU na operação com os sistemas interligados Brasileiro e Paraguai**

**Luís Felipe Weisheimer, Rodrigo José García Ramírez, Bruno Augusto Bastiani, Mauricio Campos Passaro**

**Itaipu Binacional, UNIFEI**

**Brasil / Paraguay**

### **RESUMEN**

Por muitos anos a operação eletroenergética de Itaipu se deu de forma comum e regular ao seu projeto inicial, porém com o passar dos anos, três novos fatores começaram a trazer maiores preocupações para as equipes do Despacho de Carga de ITAIPU (DC-IPU), aumentando a dificuldade de se fazer a operação de tempo real desse sistema. 1. O crescimento do consumo de carga do sistema elétrico paraguaio, exigiu a construção e implantação de novas linhas, transformadores e subestações, para dar maior flexibilidade e confiabilidade ao Sistema Interligado Paraguai (SIN-PY), além da adoção, criação e modificação, de esquemas de controle de emergência necessários para operação segura da interligação com o SIN-PY. 2. Os últimos anos tem se caracterizado por anos de baixas afluências proporcionadas por cenários de estiagem. 3. Entrada de novas fontes de energia elétrica no Sistema Interligado Brasileiro (SIN-BR) como solar e eólica, alterando significativamente a programação energética diária da operação do SIN-BR, bem como ao longo do ano.

A fim de facilitar a sintonia entre o que ocorre no tempo real, sejam por mudanças temporárias ou definitivas como as três consideradas anteriormente e ainda aliado aquilo que o despachante identifica, conhece e repara diante do monitoramento homem-máquina, vem a necessidade de se ter a melhor condição possível da consciência situacional dentro da sala de controle do DC-IPU. É fundamental a necessidade de efetuar constantemente um monitoramento das ações e recursos que devem ser disponibilizados para as equipes de tempo real, seja planejando, treinando e adquirindo novos equipamentos ou conceitos e controlar a qualidade da atuação das equipes de tempo real através das análises de pós operação, para então, com os resultados, estabelecer: a) treinamentos personalizados e individualizados se for o caso; b) aquisição de novas funcionalidades para o sistema de Supervisão e Controle, equipamentos, programas e aplicativos mais adequados; c) criação de formas de visualização utilizando gráficos e telas dedicadas ao monitoramento.

O propósito desse trabalho é mostrar a implementação de novos gráficos e telas de monitoramento através das técnicas de alta performance com objetivo final do despachante de Itaipu a tomar as decisões mais assertivas possíveis na operação de tempo real, facilitando a percepção dos colaboradores com as informações e dados recebidos, por sua vez viabilizando uma consciência da situação em que o tempo real e a infraestrutura instalada promovem.

### **PALABRAS CLAVES**

Consciência situacional, operação em tempo real, suporte a tomada de decisão.

---

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

---

## 1. INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de Itaipu possui uma potência instalada de 14.000 MW e atualmente atende, aproximadamente, 11% do sistema elétrico brasileiro e, aproximadamente, 89% do sistema elétrico paraguaio [1]. Itaipu possui três salas de controle que são responsáveis por garantir o fornecimento de energia elétrica e, para isso, monitoram constantemente o fluxo de intercâmbio com as empresas interligadas, os equipamentos e seus níveis de carregamento e o sistema hidrológico de responsabilidade de Itaipu.

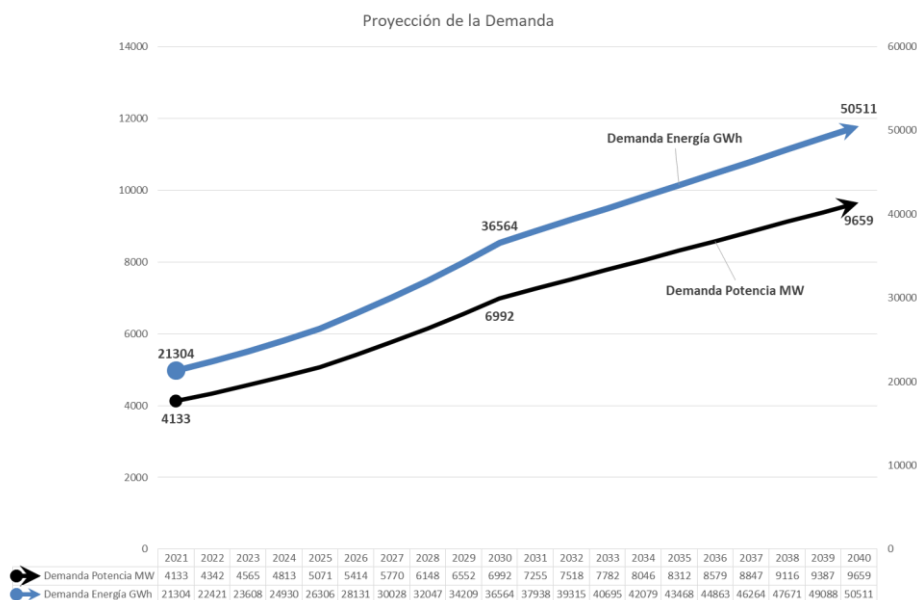
As salas de controle têm passado por uma grande transformação tecnológica, a qual passou de uma sala com um conjunto de instrumentos de medição e anunciadores de alarmes para um sistema de supervisão computadorizado com grande quantidade de informações, o qual é capaz de fornecer informações detalhadas sobre o estado de cada equipamento da planta e uma grande quantidade de alarmes aos operadores. Esses sistemas apresentam a vantagem de poderem ser facilmente modificados e adaptados, além de fornecerem mais informações aos operadores, o que auxilia na tomada de decisão. Entretanto, a grande quantidade de informações e alarmes, muitas vezes apresentados de forma inadequada, acabam por sobrecarregar as equipes de tempo real e dificultam e atrasam a tomada de decisão, podendo levar a decisões incorretas [2]. Assim, a transformação tecnológica deve ser acompanhada de ferramentas ou processos que melhorem a consciência situacional dentro das salas de controle.

Em Itaipu, além da transformação tecnológica, as salas de controle também foram afetadas por outros três fatores:

1. O crescimento do consumo de carga do sistema elétrico paraguaio, que pode ser visualizado na Figura 1, exigiu a construção e implantação de novas linhas, transformadores e subestações, para dar maior flexibilidade e confiabilidade ao Sistema Interligado Paraguayo (SIN-PY), além da adoção, criação e modificação, de esquemas de controle de emergência necessários para operação segura da interligação com o SIN-PY [3,4,5];
2. Os últimos anos tem se caracterizado por anos de baixas afluências proporcionadas por cenários de estiagem [6,7];
3. Entrada de novas fontes de energia elétrica no Sistema Interligado Brasileiro (SIN-BR) como solar e eólica, alterando significativamente a necessidade da operação do SIN-BR ao longo do dia, bem como período do ano [8].

Esses novos desafios alteram a operação eletroenergética da Usina Hidroelétrica de Itaipu, que por muitos anos seguiu o especificado no seu projeto inicial, e trazem novos desafios para as equipes de tempo real, principalmente para o Despacho de Carga de ITAIPU (DC-IPU) que é responsável pela operação hidroenergética e pelo monitoramento e restabelecimento das interligações de Itaipu com o SIN-BR e SIN-PY.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**



**Figura 1: Demanda proyectada do SIN-PY utilizada no “Plan Maestro” [5].**

Para auxiliar as equipes do DC-IPU, este trabalho mostra a implementação de novos conceitos utilizando novas formas de visualização gráfica e telas dedicadas ao monitoramento que auxiliam o despachante de Itaipu a tomar decisões assertivas na operação de tempo real, uma vez que o objetivo principal dessas implantações é facilitar a percepção dos colaboradores do DC-IPU com as informações e dados recebidos e/ou visualizados, por sua vez viabilizando uma melhor consciência da situação que o tempo real e a infraestrutura instalada promovem ao colaborador.

## 2. TELAS DE MONITORAMENTO DE ALTA PERFORMANCE

É fundamental a necessidade de efetuar um monitoramento constante das ações e recursos que devem ser disponibilizados às equipes de tempo real, seja através de planejamento, treinamentos, aquisição de novos equipamentos, ou fazendo o controle de qualidade da atuação das equipes de tempo real através das análises de pós operação. Após o monitoramento e planejamento das ações a serem executadas pode-se avaliar e estabelecer:

- os ajustes de treinamentos personalizados e individualizados se for o caso;
- aquisição de novas funcionalidades, equipamentos, softwares e aplicativos mais adequados; e
- criação de novos gráficos e telas de monitoramento.

Com relação aos gráficos e telas de monitoramento, foi identificada a necessidade de alteração de telas e gráficos com o foco em melhorar a assertividade e a tomada de decisão na operação em tempo real. Para realizar essas modificações, foi adotado o conceito de IHM de alto desempenho, na qual as telas do sistema de supervisão e os gráficos não devem possuir cores vibrantes, cores que se confundem com o código de cores dos alarmes, animações e ilustrações que não agregam informações [2], como pode ser visto na Figura 2.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

Dessa forma, as telas e gráficos utilizadas no DC IPU estão sendo migradas para esse novo conceito que possui cores com baixo contrastes, sem animações ou ilustrações, layouts mais simples, mas que fornecem informações mais relevantes aos despachantes.



Figura 2: Exemplo de uma tela de alto desempenho (à esquerda) e uma tela com as mesmas informações, mas de má qualidade (à direita) aplicadas ao videowall do DC-IPU.

Outra importante alteração no modo de operação é a utilização de gráficos de regiões, o qual é ilustrado na Figura 3, onde o ponto de operação atual é representado pelo círculo verde e o ponto de operação futuro pelo círculo cinza. Esse tipo de gráfico permite que o operador identifique rapidamente se o equipamento está operando dentro dos limites especificados em instruções de operação, sem a necessidade de verificar valores de corrente, tensão, temperatura e outros. Além disso, foi adicionado uma estimativa do ponto de operação futuro, de modo que os operadores tenham conhecimento de uma possível violação dos limites operativos no futuro e possam se antecipar na tomada de decisão, evitando que o equipamento viole os limites operativos.

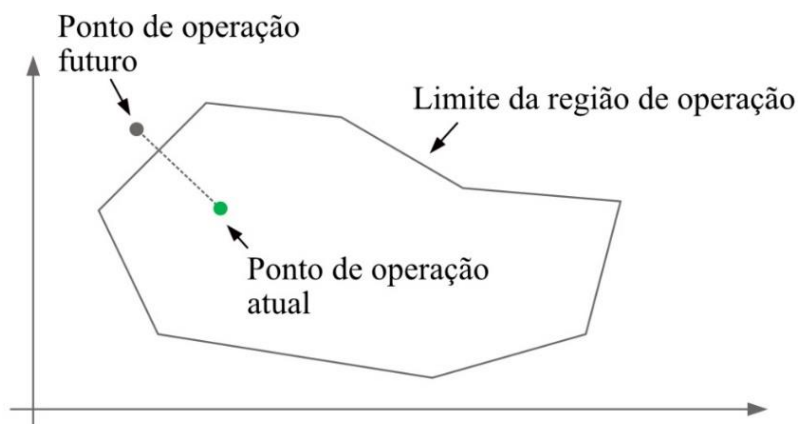


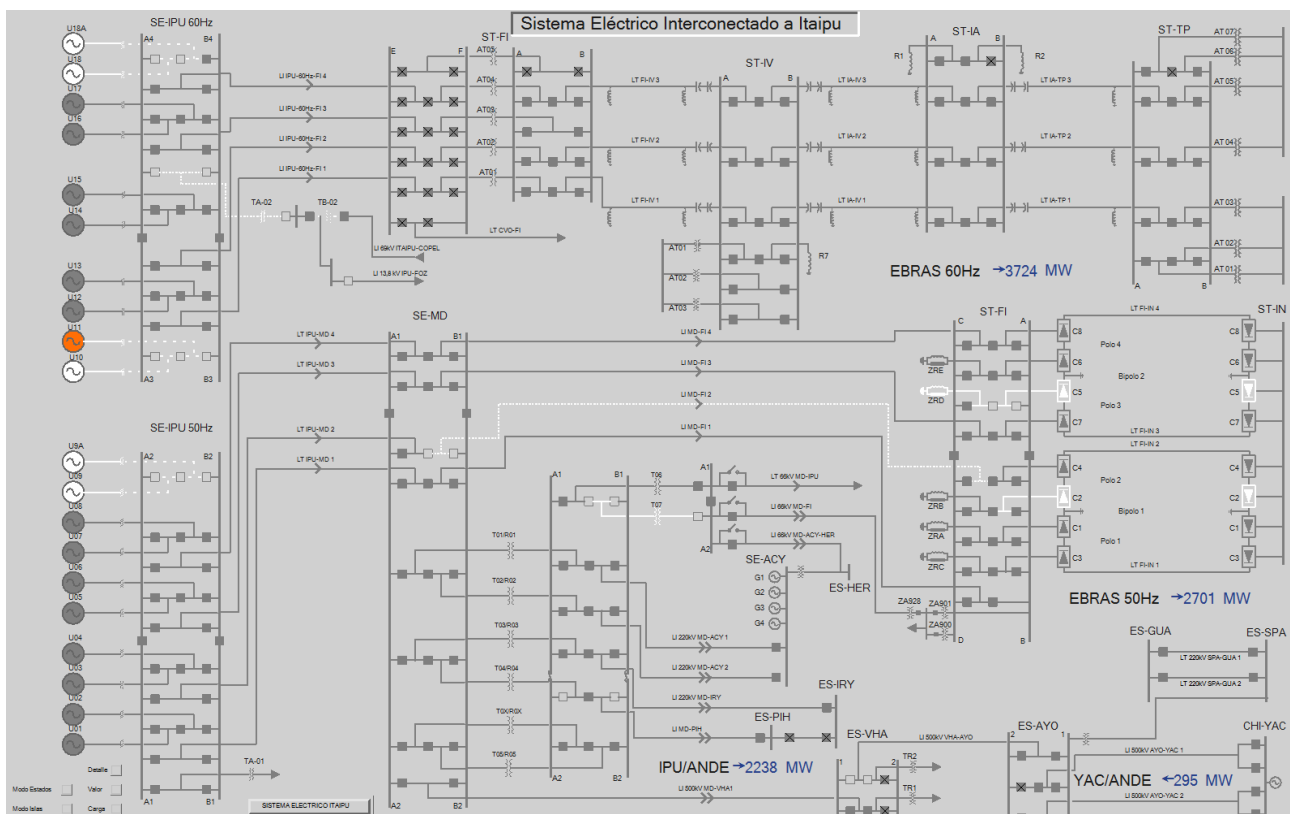
Figura 3: Exemplo de gráficos de região de operação.

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022**

**3. CONSCIÊNCIA SITUACIONAL E OS RESULTADOS**

A partir dos conceitos apresentados na seção 2, foram elaborados gráficos de monitoramento para o Videowall da sala do DC-IPU que estão sendo utilizados na supervisão do sistema eletroenergético interligado Itaipu/SIN-BR/SIN-PY e o sistema hidrológico de responsabilidade de Itaipu, observando as instruções vigentes e com foco na consciência situacional. As figuras 4 a 9 ilustram algumas das telas e dos gráficos elaborados utilizando o conceito de alto desempenho que são utilizados tanto nas consoles do sistema de Supervisão e Controle, bem como no Videowall.

Na Figura 4, é apresentado uma tela de alta performance desenvolvida para o monitoramento do sistema elétrico de Itaipu na operação com os sistemas interligados Brasileiro e Paraguaio. O objetivo da criação dessa tela é de agrupar em uma única tela todos os equipamentos que fazem parte da área de atuação do DC-IPU, ou ainda, de equipamentos que possam ocasionar restrições, limitações e condições operativas devido ao impedimento de algum equipamento do sistema interligado Itaipu 50Hz/SIN-PY/SIN-BR e/ou Itaipu 60Hz/SIN-BR.



**Figura 4: Tela de monitoramento do sistema elétrico de Itaipu na operação com os sistemas interligados Brasileiro e Paraguaio.**

A tela foi formulada com dois padrões, sendo um critério elaborado somente para as máquinas de Itaipu e o segundo para os demais equipamentos. No exemplo da Figura 4, temos a indicação em vermelho da unidade geradora U11, indicando uma anormalidade, nesse caso indicando que o

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

equipamento se encontra em manutenção. Em branco podemos verificar outras UG desligadas por conveniência operativa. Ainda no mesmo exemplo, temos equipamentos do sistema interligado desligados, que podem ser tanto por manutenção como por conveniência operativa.

Com o foco em melhorar a assertividade e a tomada de decisão na operação em tempo real, os resultados são a criação de gráficos de monitoramento para o Videowall da sala do DC-IPU, para que estes sejam utilizados na supervisão do sistema eletroenergético interligado Itaipu/SIN-BR/SIN-PY e o sistema hidrológico de responsabilidade de Itaipu, ocorrendo uma melhoria de percepção dos colaboradores que atuam diretamente na operação em tempo real.

Aliado a nova proposta, algumas das telas do sistema de Supervisão e Controle tem sido alterada seguindo o conceito de telas de alta performance, a fim de tornar o que é operação normal diferente das grandezas que devem ser observadas quando de alguma anormalidade ou em operação de contingência, como mostrado na Figura 5 onde os dados em vermelho e em amarelo que exigem uma ação do despachante, sempre observando as instruções vigentes, porém com foco na consciência situacional, por sua vez minimizando as ameaças que um automatismo das ações possa trazer ao despachante.

Na Figura 5, é apresentado o gráfico de monitoramento do carregamento das linhas e transformadores. O carregamento dos equipamentos é representado por uma barra horizontal na cor verde que varia de 0 a 100% e ao lado são apresentados a corrente elétrica nos equipamentos e os limites de corrente em situação normal ou emergência. Quando um equipamento está em sobrecarga a barra que indica o carregamento fica vermelha, indicando uma anormalidade e que alguma ação deve ser realizada pelo operador. O texto em amarelo alerta o operador sobre o estado do equipamento, no caso apresentado o texto indica que os Taps dos reguladores estão perto do limite e não poderão ser movimentados. Esse mesmo código de cores é utilizado para os demais gráficos, verde para situação normal e vermelho para anormalidades e amarelo para alertar o despachante.

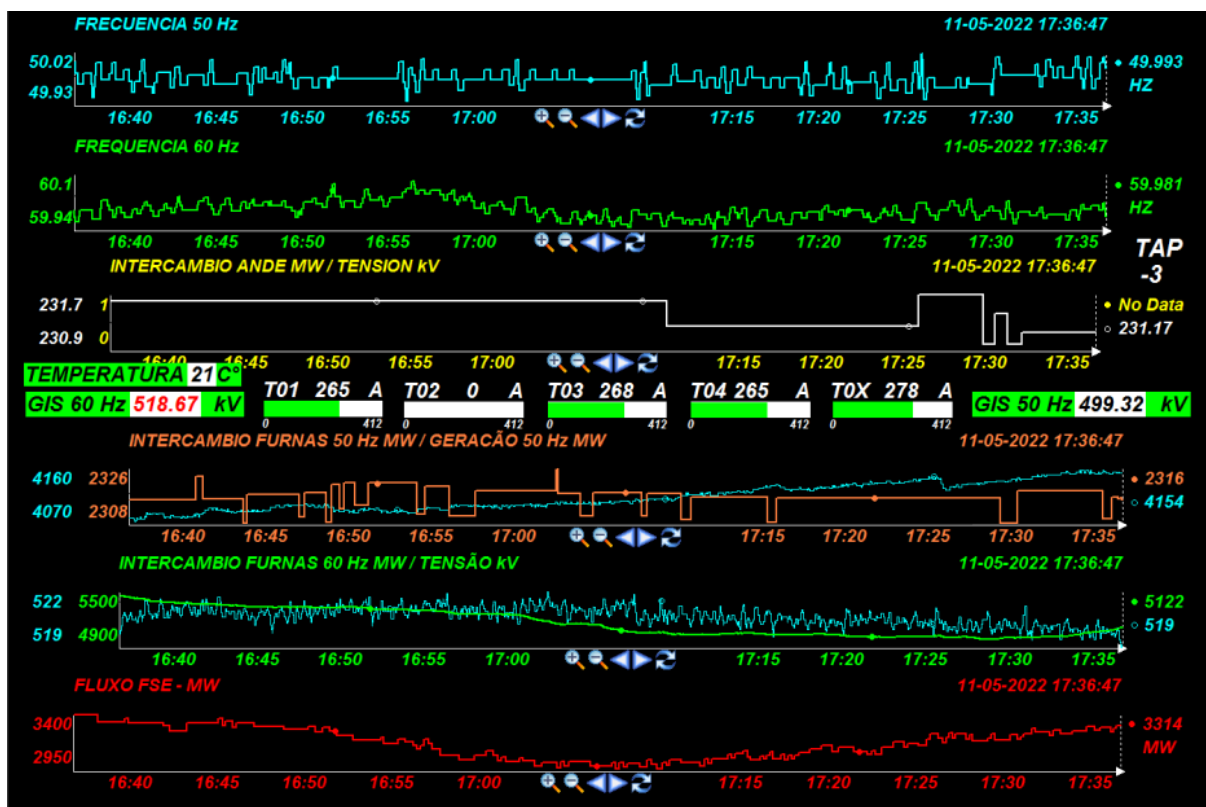


Figura 5: Gráfico de monitoramento do carregamento das linhas e transformadores de Itaipu.

Na Figura 6 podem ser observadas como as modificações têm aplicabilidade direta para apoio e suporte a tomada de decisão das equipes de tempo real na sala de controle do DC-IPU. Nessa tela de monitoramento os gráficos foram elaborados com o conceito antigo com muitas cores e informações. Ainda se percebe que o monitoramento das linhas não existia, ou seja, dependia do despachante

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

verificar nas telas do sistema de Supervisão e Controle e verificar nas instruções as restrições e/ou limitações.



**Figura 6: Gráfico de monitoramento do Videowall com os dados sistêmicos e do carregamento dos transformadores de Itaipu**

Outra aplicação das telas de alto desempenho para apoio e suporte a tomada de decisão das equipes de tempo real na sala de controle do DC-IPU é ilustrada na Figura 7, que apresenta os gráficos com as tendências dos dados hidrológicos monitorados e as projeções dos valores futuros. Esses dados são importantes para as decisões do despacho energético, bem como do controle de vazão montante e jusante à Itaipu, os quais são de responsabilidade do DC-IPU.

Nesse gráfico pode-se destacar as sinalizações em vermelho que necessitam de uma ação ou acompanhamento pelas equipes de tempo real. No exemplo da Figura 7, as variações em R11 (variação diária) projetam uma violação e demandam uma ação do despachante. Ainda na mesma tela, os quadros “Turbinado”, “Afluencias Aguas abajo/Jusante”, “Nivel Aguas abajo/Jusante” e “Nivel R11” exibem pontos e monitoramento em vermelho, pois esses estão diferentes dos valores programados e/ou previstos. Para finalizar, temos o quadro destacado em verde “SIN INUNDACIONES” que monitora o nível da régua na Ponte da Amizade, que pode ser alterado para amarelo (estado de alerta) ou vermelho (apontando inundações nesse ponto de monitoramento).

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

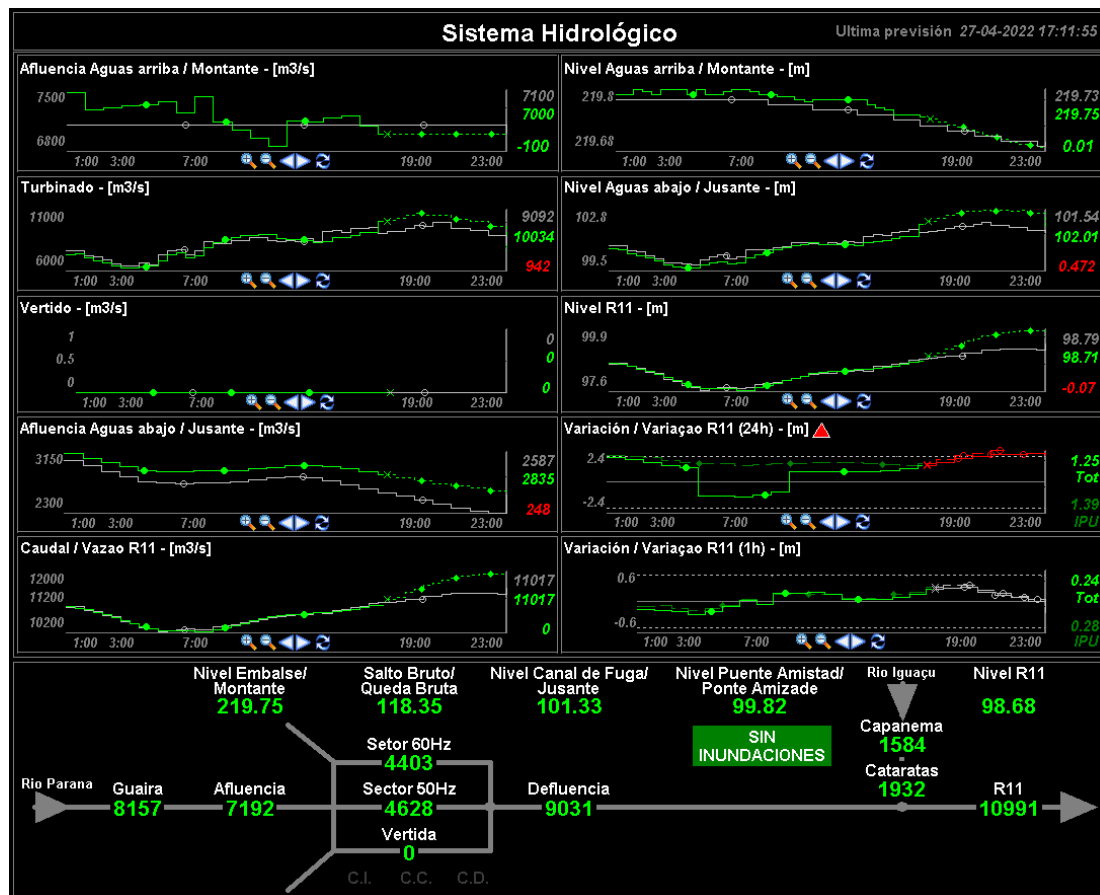


Figura 7: Gráfico do monitoramento hidrológico na sala de controle do DC-IPU.

Na Figura 8 temos o gráfico utilizado anteriormente, onde os dados apresentados das grandezas hidrológicas monitoradas, mostrava ao despachante somente uma visualização momentânea do que estava ocorrendo, sem a capacidade de visualização de tendência para os pontos monitorados, ou que já foram realizados.



XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

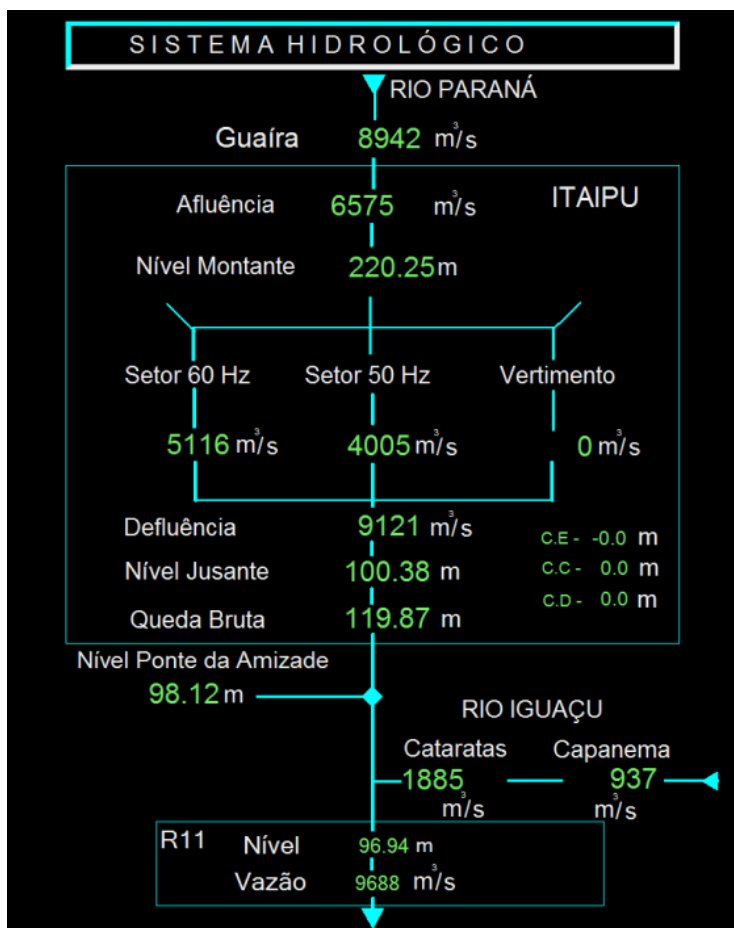


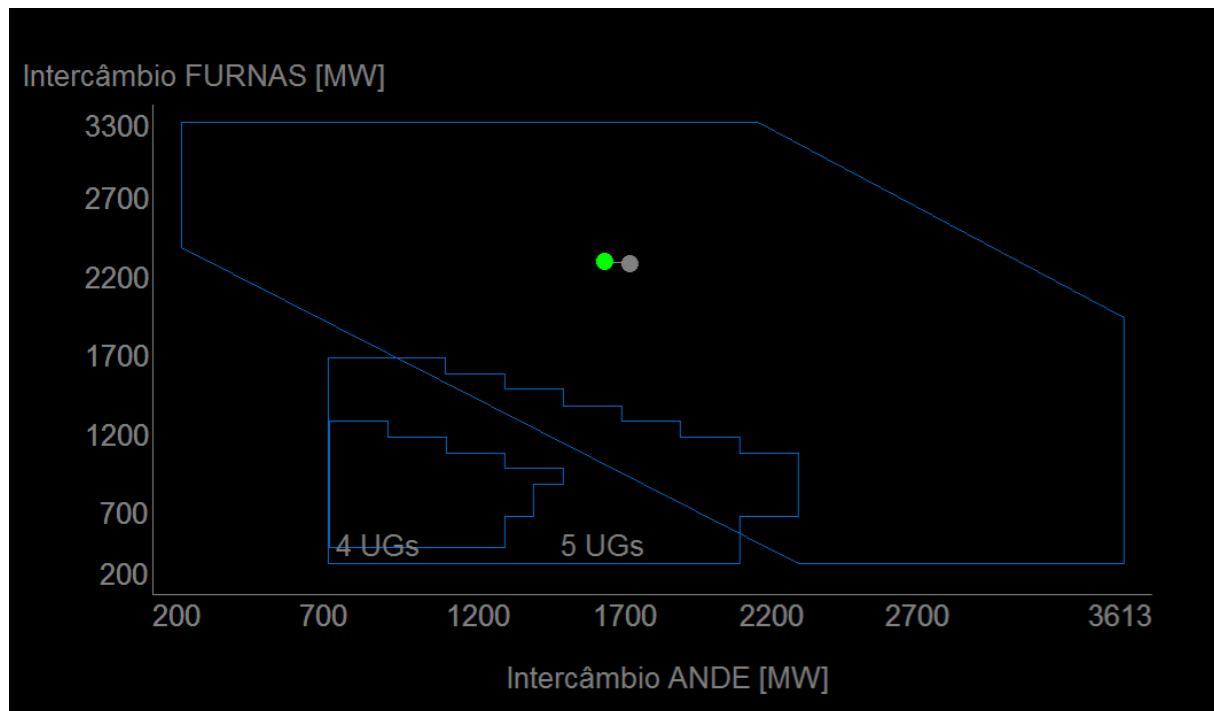
Figura 8: Gráfico do monitoramento hidrológico na sala de controle do DC-IPU

Na Figura 9, é apresentado o gráfico com a região de operação de Itaipu 50Hz. A linha azul externa apresenta o limite de transmissão de Itaipu 50Hz com o Elo CC e o SIN-PY que é calculado em tempo real em função da configuração atual do sistema elétrico. As outras duas regiões representam a operação com 4 e 5 unidades geradoras sincronizadas em Itaipu 50Hz definido em procedimentos a partir de estudos elétricos.

Ainda nos gráficos delimitados pelas linhas na cor azul, temos duas retas que cortam diagonalmente, fazendo um limite inferior e outro superior. O limite inferior é definido pela queda bruta limitando a geração das UG em uma potência mínima. O limite superior é limitado pelo somatório da capacidade de transmissão de potência ativa da LI 500kV MD-VHA e dos autotransformadores instalados na SEMD.

O círculo em verde representa o ponto de operação atual e o círculo cinza representa o ponto de operação na próxima hora, o qual é estimado utilizando os valores do programa diário de operação.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022



**Figura 9: Gráfico de monitoramento dos limites operativos de Itaipu 50Hz.**

O gráfico de regiões de operação, assim como os gráficos das figuras acima, possibilita que as equipes de tempo real antecipem uma condição anormal ou identifiquem rapidamente qual grandeza causou a condição anormal. Apesar da existência das normas, instruções e de alarmes do Supervisão e Controle para identificação de anormalidades, verifica-se que os gráficos, quando bem desenvolvidos e corretamente aplicados, permitem que o despachante identifique de forma mais rápida a anormalidade ocorrida ou prestes a ocorrer e em qual equipamento foi ou será o evento, minimizando o tempo de atuação, o qual teria que efetuar uma busca em uma lista de alarme no sistema de Supervisão e Controle e/ou ainda procurar a redação específica em normas e/ou instruções vigentes.

#### 4. CONCLUSÃO

A utilização de gráficos de alto desempenho resulta em uma melhoria de percepção dos colaboradores que atuam diretamente na operação em tempo real. Aliado a nova proposta, algumas das telas do sistema de Supervisão e Controle tem sido alterada seguindo o conceito de telas de alta performance, a fim de adotar um código de cores único, simplificando as visualizações e diferenciando de forma clara a condição normal da condição de anormalidade.

As telas de alto desempenho também dispensam a necessidade de o despachante possuir uma grande quantidade de gráficos abertos, monitorando diferentes grandezas. O gráfico com as regiões de operação, por exemplo, utiliza o estado de linhas, transformadores e unidades geradoras, a corrente e tensão medida nos equipamentos e a temperatura ambiente. Todas essas informações estão incorporadas nos limites do gráfico, sem a necessidade de que o despachante acompanhe cada

**XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE**  
**23 y 24 de Junio 2022**

---

grandeza de forma isolada e compare esses valores com as tabelas das normas e/ou instruções de operação vigentes, ou seja, para a primeira análise e percepção da situação, o despachante se situa de algum evento e/ou anormalidade com uma maior facilidade.

Consequentemente, essa nova filosofia de operação reduz o tempo para tomada de decisão e proporciona uma tomada de decisão mais assertiva, pois as telas fornecem grande quantidade de informação, a qual é apresentada de forma simples e objetiva aos operadores. Como as telas apresentam uma informação de maior qualidade, não é necessário que os operadores monitorem cada grandeza de forma individual.

XIV SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRE  
23 y 24 de Junio 2022

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Relatório Anual Itaipu 2020. Itaipu Binacional, Brasil, 2020.
- [2] B. Hollifield, D. Oliver, I. Nimmo, and E. Habibi, *The High Performance HMI Handbook*. Kalamazoo, MI: Plant Automation Services Inc, 2008, pág. 38.
- [3] Coordenação dos esquemas de alívio de carga e separação dos sistemas associados ao sistema interligado Itaipu/ANDE/Yacyretá para controle de frequência - Nota Técnica NT/OPSE.DT/07/2021, Itaipu Binacional, Brasil, 2021, páginas 1-62.
- [4] Ajustes das lógicas do esquema de controle de contingências da ANDE (ECCANDE) - Nota Técnica NT/OPSE.DT/08/2021. Itaipu Binacional, Brasil, 2021, páginas 1-53.
- [5] Plan Maestro de Generación - período: 2021/2040. Administración Nacional de Electricidad (ANDE), Paraguay, 2021.
- [6] Alerta de Emergência Hídrica 27/05/2021, Sistema Nacional de Metereologia, Brasil, 2021, páginas 1-5.
- [7] Operação com cinco unidades geradoras em Itaipu 50Hz - Nota Técnica NT/OPSE.DT/01/2020, Itaipu Binacional, Brasil, 2020, páginas 1-15.
- [8] Plano da Operação Energética 2021/2025 - PEN 2021. Operador Nacional do Sistema (ONS), Brasil, 2021.