

**Comitê de Estudo A1 – Máquinas Elétricas Rotativas****UTILIZAÇÃO DE SIMULADORES DOS SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO
COMO FERRAMENTA DE APOIO NA CAPACITAÇÃO DE OPERADORES E
MANTENEDORES DAS USINAS HIDROELÉTRICAS E TERMOELÉTRICAS**

CRISTIANO BÜHLER*
REIVAX S/A
Brasil

***Resumo** – Sistemas de simulação têm sido utilizados em diferentes áreas do conhecimento, para os mais diversos fins, como treinamento de astronautas e militares, estudos de sistemas elétricos complexos, além de entretenimento, como jogos eletrônicos. Nos projetos de engenharia, tais ferramentas permitem redução significativa dos custos do projeto/produto, evitando experimentações com modelos físicos (modelos reduzidos), além de otimizar a quantidade de material necessária para construir o produto (turbina ou gerador, por exemplo). Os modernos sistemas de controle e automação instalados em centrais hidroelétricas e termoeletricas apresentam elevada complexidade, apresentando diversas telas para monitoramento e parametrização. Os operadores e mantenedores costumam acessar algumas telas com maior frequência que outras, levando por vezes à insegurança em tomadas de decisão por não praticarem os procedimentos com certa frequência. Diante disso, a utilização de simuladores com as mesmas telas dos sistemas de controle e automação instalados na usina se mostra uma opção interessante, permitindo aos trabalhadores praticarem os procedimentos de operação e manutenção, usando a técnica didática “aprender fazendo”, sem o risco de causarem acidentes com prejuízos materiais e/ou humanos.*

Palavras chave: Simulação – Capacitação – Controle – Supervisão – Hidroelétrica – Termoeletrica

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de simulação têm sido utilizados em diversas áreas do conhecimento, inclusive na área da Engenharia Elétrica. Para estudos elétricos, na área de sistemas de potência, existem ferramentas comerciais como ANAREDE/ANATEM, PSS/E, DIGSILENT POWER FACTORY, EUROSTAG e MATLAB, entre outras.

Desde o surgimento dos sistemas de automação de processos, houve evolução rápida e profunda dos equipamentos utilizados e da forma de implementação. É comum que sistemas modernos possuam interface gráfica *touchscreen*, apresentando praticamente todas as variáveis envolvidas no processo. Tais interfaces costumam ser muito intuitivas, facilitando a operação e manutenção do processo todo, inclusive por pessoal com pouca experiência na área.

A grande quantidade de dados apresentada na interface gráfica pode deixar o operador confuso quando for necessária uma tomada de decisão. Diante dessa necessidade, pode-se utilizar a interface que o operador e/ou mantenedor costuma acessar no dia a dia e incluir um simulador de toda a unidade geradora, com as dinâmicas envolvidas, lógicas e inter-travamentos adequados àquela unidade. Tal simulador permite a prática de todos os procedimentos, apresentando os estados e sinais de maneira quase idêntica ao sistema real, evitando assim possíveis esquecimentos ou mesmo erros.

2 CONCEITOS TEÓRICOS

São apresentados nesse tópico alguns conceitos teóricos úteis para o desenvolvimento do trabalho.

2.1 Simulação de Sistemas utilizando Modelos Matemáticos

Diferentes autores publicaram definições para Simulação de Sistemas. As duas mais utilizadas são as seguintes[1]:

- “Simulação implica na modelagem de um processo ou sistema, de tal forma que o modelo imite as respostas do sistema real numa sucessão de eventos que ocorrem ao longo do tempo”;
- “Simulação é o processo de projetar um modelo de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”.

A simulação de um dado sistema tem diversos objetivos:

- Prever o comportamento futuro dos sistemas usando modelos;
- Construir teorias e hipóteses considerando observações efetuadas através de modelos;
- Permitir ao analista realizar estudos sobre os correspondentes sistemas para responder questões do tipo: “O que aconteceria se...?”;
- Facilitar a compreensão e aceitação dos resultados (economia de tempo e de recursos financeiros, etc);

A principal razão de ser utilizado um modelo em um dado experimento é: o sistema modelado ainda não existe. Portanto:

- A simulação poderá ser usada para planejar o novo sistema; experimentar com o sistema real é dispendioso;
- O modelo poderá indicar, com custo muito menor, quais os benefícios de se investir em um novo equipamento, por exemplo; a experimentação com o sistema real é inadequada;
- O planejamento do atendimento em situações de emergência. Exemplo: um desastre em um aeroporto.

O conceito de Modelo é descrito a seguir.

- Modelo: O processo de imitação e criação de uma história artificial dos sistemas reais (modelagem, simulação e experimentação), pressupõe uma série de simplificações. Tais simplificações, que usualmente tomam a forma de relações matemáticas ou lógicas, são chamadas de Modelos.

Existem diferentes modelos, utilizados para diferentes objetivos: previsão, investigação, comparação, estudos específicos. Além disso, são citadas na literatura diversas vantagens de empregar a simulação, utilizando modelos, estando algumas delas descritas abaixo.

- Reusabilidade dos modelos;
- O tempo pode ser controlado;
- Pode ser comprimido ou expandido;
- Permite reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para melhor estudá-los;
- Permite compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação à performance e como elas interagem entre si e com os outros elementos do sistema.

São também citadas na literatura as desvantagens de empregar a simulação baseada em modelos, estando as principais listadas a seguir.

- A construção de modelos requer treinamento especial;
- O aprendizado se dá ao longo do tempo, com a aquisição de experiência;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação;
- A modelagem e a experimentação associadas a modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente tempo.

Alguns erros são muito comuns na abordagem via simulação, sendo alguns deles citados abaixo.

- Pouco conhecimento ou treinamento com a ferramenta utilizada;
- Objetivos com pouca clareza ou definição;
- Construção de modelos muito detalhados;
- Conclusões sem base estatística.

2.2 Realidade Virtual

O termo “Realidade Virtual” tem sido aplicado quando são criados ambientes virtuais que aproximam com grande fidelidade um ambiente real. Quando um sistema de simulação considera, além do fenômeno/equipamento estudado, também todo o ambiente, pode ser dito que está utilizando realidade virtual.

Sistemas de simulação baseados em realidade virtual têm sido aplicados em diferentes áreas do conhecimento. A seguir, são citadas algumas.

- Aviação: no treinamento de novos pilotos ou reciclagem de pilotos experientes;
- Militar: no treinamento de soldados para missões em meio à selva e à água;
- Espacial: simulando as condições de sobrevivência a bordo de uma nave espacial (comportamento humano diante da ausência da gravidade, alimentação a partir de cápsulas com alta concentração de nutrientes, etc);
- Automóveis: na formação de condutores, garantindo habilidade mínima do novo condutor para iniciar as aulas práticas reais;
- Entretenimento: simulando uma corrida de carros em alta velocidade, um ambiente de lutas, uma imensa montanha-russa, etc.

3 SIMULADORES DOS SISTEMAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A simulação da máquina síncrona e da máquina primária é realizada utilizando modelos confiáveis. Um modelo típico da máquina de pólos salientes é dividido em eixo direto e eixo quadratura, conforme apresentado na Figura 1 e Figura 2. Um diagrama de blocos que representa a turbina hidráulica é apresentado na Figura 3.

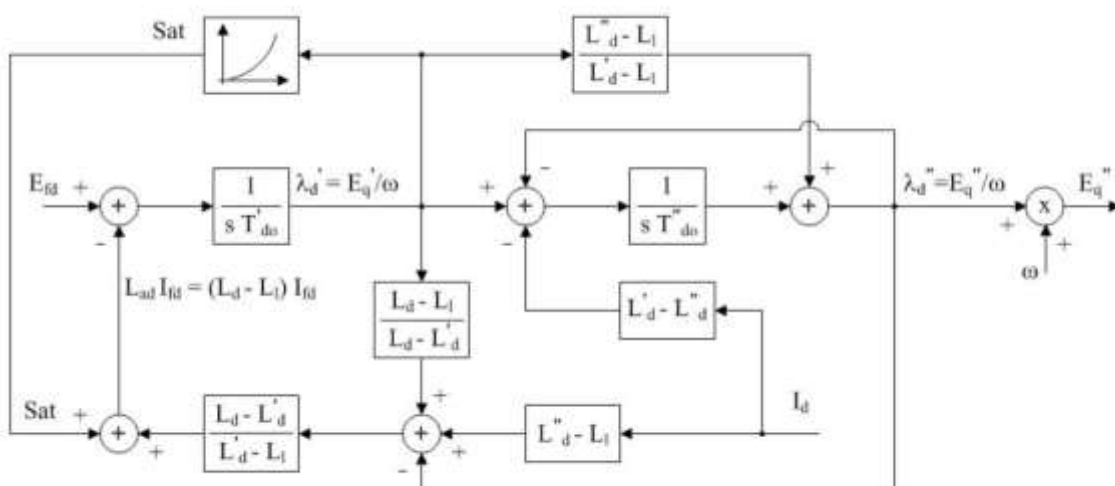


Figura 1 - Modelo da Máquina Síncrona de Pólos Salientes – Eixo Direto

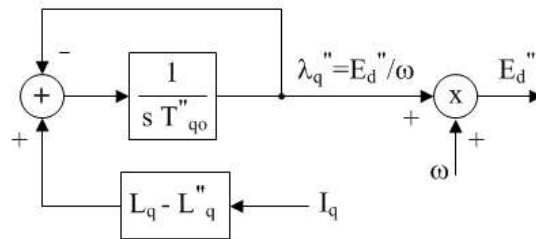


Figura 2 - Modelo da Máquina Síncrona de Pólos Salientes – Eixo Quadratura

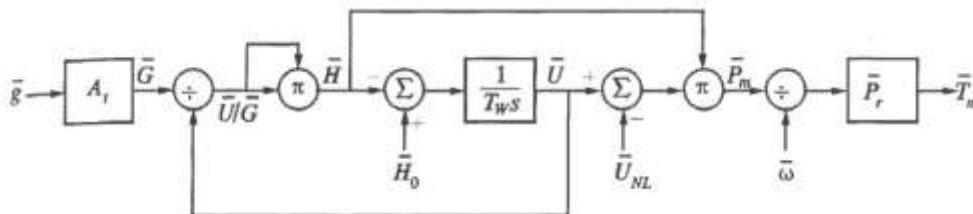


Figura 3 - Modelo Não-Linear Ideal da Turbina Hidráulica

3.1 Equipes de Operação

Todos os principais elementos de uma unidade geradora devem ser monitorados, de maneira constante, enviando sinais para a tela principal de Operação. Caso alguma condição ou medição anômala seja detectada, uma mensagem deverá surgir, gerando um alarme ou mesmo o desligamento (*trip*) da unidade. Tais anomalias podem ocorrer em razão de falha em algum dos elementos físicos, como um dos transdutores, no hardware de controle (CLP) ou no módulo de IOs.

A interpretação da mensagem que surge na tela é uma tarefa do Operador, o qual precisará decidir se, por exemplo, reduz a carga/excitação da máquina e simplesmente reseta o alarme, ou se é necessário acionar a equipe de manutenção.

Um exemplo de tela de Operação, mostrando as informações relacionadas à Turbina, é mostrado na Figura 4. Outro exemplo de tela de Operação, agora relacionada ao Regulador de Velocidade, está apresentado na Figura 5. Ambas as telas fazem parte de um projeto de controle e automação implantado em uma central com Turbina Francis Horizontal [2].



Figura 4 – Tela de Operação da Turbina



Figura 5 – Tela de Operação do RV

3.2 Equipes de Manutenção e Engenharia

Com foco no corpo técnico de Engenharia e Manutenção, o ajuste das malhas de controle pode ser realizado a partir da resposta ao degrau, estratégia muito difundida na prática, dada sua simplicidade de utilização, bem como sua eficácia na avaliação do amortecimento da resposta.

Isso pode ser aplicado na malha de controle do regulador de velocidade e no regulador de tensão. Exemplos dessas malhas de controle estão apresentadas na Figura 6 e na Figura 7.

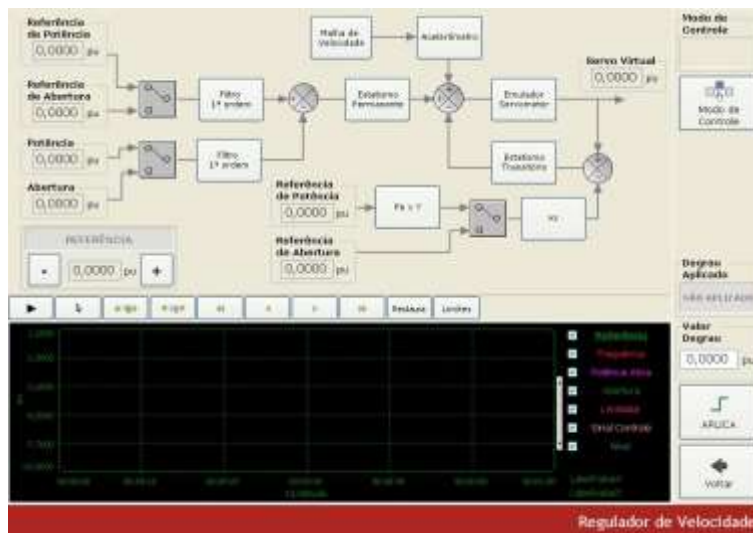


Figura 6 – Malha de Controle do RV

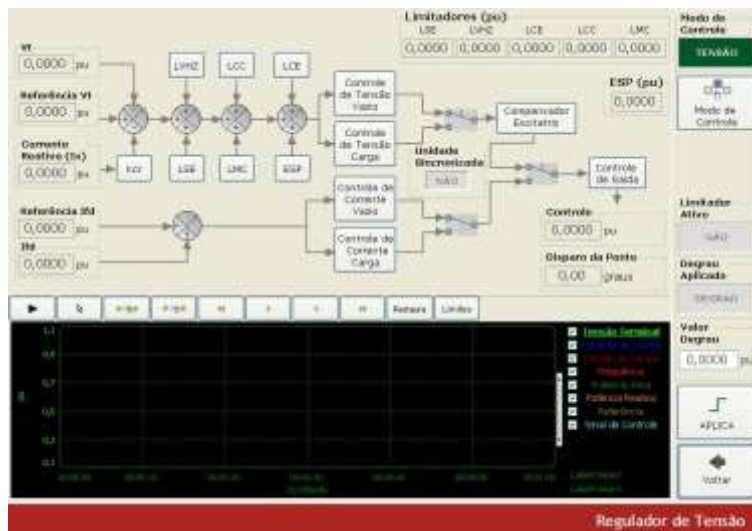


Figura 7 – Malha de Controle do RT

Para tal ensaio, é importante visualizar os principais sinais envolvidos, com sistema de aquisição de dados que utilize passo de aquisição bastante reduzido (da ordem de 5ms ou menor). A Figura 8 ilustra uma tela de oscilografia plotando uma resposta a um degrau aplicado na referência de tensão terminal da unidade (ensaio no regulador de tensão).



Figura 8 – Tela de Oscilografia

3.3 Configuração dos Dados da Simulação

Conforme os conceitos teóricos apresentados anteriormente, para representar um sistema físico, diferentes modelos poderão ser utilizados, com um grau de simplificação que depende do estudo realizado. Como o foco aqui é a representação do sistema completo, não é necessária a utilização de modelos matemáticos extremamente detalhados, visando inclusive à redução do custo computacional. Portanto, serão utilizados modelos simplificados do regulador de tensão, limitadores, estabilizador de sistemas de potência, regulador de velocidade e conduto forçado. É considerado sistema máquina-barras infinita sendo a máquina síncrona representada pelo modelo completo, segundo [3], já apresentadas anteriormente.

Para simular uma resposta de uma dada unidade geradora, é possível ajustar o modelo selecionando e inserindo, no mínimo, os seguintes dados:

- Tipo de rotor do gerador (pólos salientes ou rotor liso);

- Tipo de turbina hidráulica (Francis, Kaplan, Bulbo, Pelton) e número de atuadores;
- Indicação da presença de válvula distribuidora;
- Dados da unidade hidráulica (pressão nominal, bomba líder, alarmes e trips);
- Tempos de abertura e fechamento de cada pistão (distribuidor, roda Kaplan, agulha, defletor);
- Tempos de abertura e fechamento da válvula distribuidora (caso exista);
- Dados da tubulação hidráulica (T_w) e constante de inércia do conjunto turbina-gerador (2H);
- Reatâncias e constantes de tempo do gerador síncrono;
- Dados da excitatriz rotativa e/ou estática (tensão e corrente nominais, tensão de teto, etc).

Exemplo de tela para entrada de dados da máquina síncrona no sistema de simulação é mostrado na Figura 9. Exemplo de tela com os parâmetros do conduto forçado, turbina e válvulas de comando é apresentado na Figura 10 [4].

Simulação	Máquina	Turbina	RT	Nível
	X_d 0,9000 pu	X'_d 0,1200 pu	A_g 0,0001 pu	
	X''_d 0,3500 pu	T'_{do} 4,000 s	B_g 6,020 pu	
	X'''_d 0,2400 pu	T''_{do} 0,0900 s	$2H$ 6,000 s	
	X_q 0,6200 pu	T'_{go} 0,1900 s	D 1,000	
	Tipo excitatriz: Estática	T_e 0,600 s		
	Curva de capacidade: Horizontal			

Figura 9 – Entrada de dados da planta – Máquina

Simulação	Máquina	Turbina	RT	Nível
	$2H$ 6,000 s	Distribuidor		
	D 1,000	Tempo p/ abrir 10,00 s		
	T_w 1,000 s	Tempo p/ fechar 10,00 s		
	g_{nl} 0,1000 pu			
	g_{fl} 0,9000 pu			
	Tipo turbina: Francis			
	Válvula distribuidora: Desabilitado			

Figura 10 – Entrada de dados da planta – Conduto forçado, Turbina, Válvulas

Mais detalhes quanto à utilização dos simuladores estão em [5] e [6].

3.4 Execução da Simulação

Após a entrada dos dados de uma determinada unidade geradora, é possível simular a unidade, gerando resultados muito próximos à realidade. Caso algum dos dados não esteja disponível, poderão ser utilizados dados típicos, o que para fins didáticos é bastante razoável.

Estando o modelo “calibrado”, com os dados reais ou mesmo típicos, o pessoal de Operação e Manutenção poderá simular o sistema completo, praticando nos horários mais apropriados a cada profissional.

Muitos elementos anteriormente citados são monitorados por meio de indicações digitais, isso é, aberto/fechado, aplicado/desaplicado, ligado/desligado, sendo portanto somente indicados na tela por diferentes cores quando da mudança de estado (vermelho indica ligado e verde desligado).

Da mesma maneira que os procedimentos técnicos, os procedimentos de segurança deverão estar contidos nos simuladores, reforçando a necessidade desses cuidados pelos trabalhadores, evitando possíveis acidentes, como o ocorrido na central nuclear Chernobyl, na Ucrânia, em 26 de abril de 1986.

Sistemas de automação aplicados em centrais de geração de energia elétrica costumam possuir, no mínimo, dois modos de operação: automático e manual ou passo a passo. No modo automático, o sistema segue uma sequência programada, indicando ou parando o processo caso alguma condição não seja satisfeita. No caso manual, o operador deverá proceder conforme sequência de operação, podendo inclusive bloquear ou anular algumas das condições programadas. Em suma, no modo automático, todas as condições de segurança são levadas em conta, conforme programação do software de controle. Porém, no modo manual são previstas condições de operação degradada, ficando a cargo do operador modificar a sequência de funcionamento.

Os sistemas de controle e automação utilizados em termoelétricas possuem algumas partes bastante distintas às daquelas das hidroelétricas (em alguns aspectos) e muitas similares. Na parte relativa à máquina síncrona e aos controladores de tensão e velocidade, o raciocínio é muito parecido; no entanto, em relação à parte da máquina primária (turbina a vapor, máquina combustão, etc), as discrepâncias são grandes em relação às turbinas hidráulicas. Portanto, o raciocínio apresentado nesse Informe Técnico contempla centrais hidro e termoelétricas.

Os sistemas de simulação podem ser implementados utilizando somente ferramentas de software, baseadas em PC, ou utilizando painéis, para acoplamento de equipamentos de diferentes fabricantes.

4 CONCLUSÕES

A utilização de simuladores baseados nas telas gráficas dos sistemas de automação e controle instalados em centrais de geração hidroelétricas e termelétricas é uma realidade. Operadores e mantenedores terão maior segurança para tomadas de decisão depois de praticarem exaustivamente os procedimentos, utilizando simuladores. Isso porque o simulador elimina o risco de erros que podem causar acidentes com danos materiais e/ou humanos.

A redução dos custos com treinamento do pessoal deve ser considerada quando de uma análise de implantação de simulador, já que não serão necessários deslocamentos, hospedagem e diárias em outras cidades, no Brasil ou fora do país. Além disso, o simulador ficará na empresa sem data para expirar, e funcionando 24h por dia, permitindo que o corpo técnico pratique sempre que possível, e no período mais apropriado para cada colaborador, de acordo com sua jornada de trabalho.

5 REFERÊNCIAS

- [1] FREITAS, Paulo José de. *Simulação Discreta de Sistemas*. Notas de Aula de INE5101 – UFSC/CTC/INE. Florianópolis, 2010.
- [2] REIVAX – Manuais do projeto F09030. Florianópolis, 2011.
- [3] KUNDUR, P. *Power System Stability and Control*. New York, USA: McGraw-Hill Professional, 1994.
- [4] REIVAX – Simulador do RTVX POWER. Florianópolis, 2016.
- [5] REIVAX – Apostilas do Curso Sistemas de Regulação para Geração de Energia – Módulo I. Florianópolis, 2016.
- [6] REIVAX – Apostilas do Curso Sistemas de Regulação para Geração de Energia – Módulo II. Florianópolis, 2016.