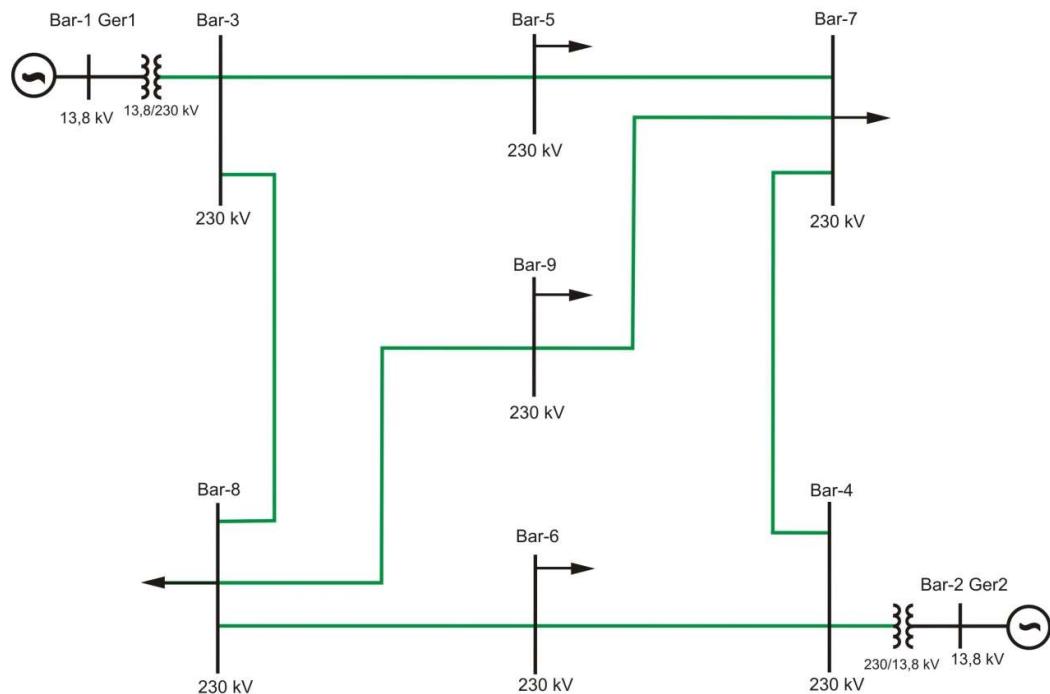


## **SISTEMA-TESTE BRASILEIRO DE 9 BARRAS (STB-9)**

A Figura abaixo apresenta a rede elétrica do sistema-teste com 9 barras. Trata-se de um sistema muito simples, composto por uma área elétrica, com topologia em anel ou malha. Os geradores estão posicionados nos extremos do sistema, num total de dois geradores, totalizando 450 MW distribuídos em duas usinas, sendo uma de 250 MW e outra de 200 MW. As cargas estão colocadas no interior do sistema, distribuídas em cinco barras, totalizando uma demanda máxima de 325 MW e 153 Mvar. A rede elétrica em circuitos simples de 230kV, num total de oito linhas de transmissão, com redundância, pois em todas as barras chegam pelo menos dois circuitos. Não tem transformador de interligação de níveis de tensão diferentes, apenas transformador elevador de usina com tape fixo. Não possui nenhum elemento em derivação para controle de tensão, que é feito somente pelos geradores através da variação da tensão de excitação das máquinas. Os dados deste sistema encontram-se no Adendo I. Em seguida, alguns resultados numéricos são mostrados.



**Diagrama unifilar do sistema-teste brasileiro de 9 barras (STB-9)**

## A-1. DADOS DO SISTEMA-TESTE DE 9 BARRAS (STB-9)

Neste adendo são apresentados dados, parâmetros elétricos e modelos dinâmicos do sistema-teste de 9 barras proposto. No final, uma tabela com as observações relativas aos dados é apresentada.

### A-1.1. Dados de Barra

Nº	Nome	Tipo	Tensão	Faixa		Área
				Max	Min	
1	Bar-1 Ger1	Vθ	13,8	1,050	0,950	1
2	Bar-2 Ger2	PV	13,8	1,050	0,950	1
3	Bar-3	PQ	230	1,050	0,950	1
4	Bar-4	PQ	230	1,050	0,950	1
5	Bar-5 Car1	PQ	230	1,050	0,950	1
6	Bar-6 Car2	PQ	230	1,050	0,950	1
7	Bar-7 Car3	PQ	230	1,050	0,950	1
8	Bar-8 Car4	PQ	230	1,050	0,950	1
9	Bar-9 Car5	PQ	230	1,050	0,950	1

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação da barra.
Nome	Nome de identificação da barra.
Tipo	Corresponde ao tipo de barra a ser representado nos dados de fluxo de potência, onde: Tipo Vθ =Barra de referência ou swing Tipo PV = Barra de tensão regulada ou de geração Tipo PQ = Barra de carga
Tensão	Tensão nominal de operação da barra, em kV.
Faixa	Faixa de tensão correspondente aos níveis máximos e mínimos de tensão que a barra pode operar em regime permanente, em pu.
Área	Número de identificação da área elétrica ou subsistema ao qual a barra pertence.

### A-1.2. Dados de Linha

Seqüência Positiva e Negativa									Seqüência Zero	
De	Para	Nº	Tensão	R <sub>+</sub>	X <sub>+</sub>	B	Cn	Ce	R <sub>0</sub>	X <sub>0</sub>
3	5	1	230	1,7	9,2	15,8	200	220	5,1	27,6
3	8	1	230	1,0	8,5	17,6	200	220	3,0	25,5
4	6	1	230	0,85	7,2	14,9	200	220	2,55	21,6
4	7	1	230	0,9	7,9	16,2	200	220	2,7	23,7
5	7	1	230	3,2	16,1	30,6	200	220	9,6	48,3
6	8	1	230	1,1	8,4	25,6	200	220	3,3	25,2
7	9	1	230	1,19	10,08	20,9	200	220	3,57	30,24
8	9	1	230	3,9	17,0	35,8	200	220	11,7	51,0

COLUNA	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Número de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação do circuito.
Tensão	Tensão nominal de operação do circuito, em kV.
R <sub>+</sub>	Resistência equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
X <sub>+</sub>	Reatância equivalente de seqüência positiva do circuito, em %.
B	Susceptânci shunt total do circuito, em Mvar.
Cn	Capacidade de carregamento do circuito em condições normais de operação, em MVA.
Ce	Capacidade de carregamento do circuito em condições de emergência, em MVA.
R <sub>0</sub>	Resistência equivalente de seqüência zero do circuito, em %.
X <sub>0</sub>	Reatância equivalente de seqüência zero do circuito, em %.

### A-1.3. Dados de Transformadores

Seqüência Positiva e Negativa											Seqüência Zero X <sub>0</sub>	
De	Para	Nº	RT	Ligaçāo	Pot	X <sub>+</sub>	Tap	Faixa				
								Min	Max	Pos		
1	3	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	300	5,34	1,0	1,0	1,0	1	5,12	
2	4	1	13,8/230	Delta/Estrela aterrado	260	7,68	1,0	1,0	1,0	1	7,33	

Coluna	Descrição
De	Número de identificação da barra de origem.
Para	Numero de identificação da barra de destino.
Nº	Número de identificação da unidade transformadora.
RT	Relação de transformação da unidade transformadora, em kV.
Ligaçāo	Forma de ligação dos enrolamentos da unidade transformadora no sistema.
Pot	Potência nominal da unidade transformadora, em MVA.
X <sub>+</sub>	Reatância equivalente de seqüência positiva da unidade transformadora, em %.
Tap	Valor definido do tape da unidade transformadora para operação em tape fixo, em pu.
Faixa Min	Valor mínimo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Faixa Max	Valor máximo que o tape da unidade transformadora pode assumir para transformadores com variação automática de tape, em pu.
Pos	Número de posições entre tape mínimo e tape máximo para transformadores de tape variável.
X <sub>0</sub>	Reatância equivalente de seqüência zero da unidade transformadora, em %.

### A-1.4. Dados de Carga

Barra	Nome	Tensão	Carga	
			MW	Mvar
5	Bar-5 Car1	230	55	27
6	Bar-6 Car2	230	37	18
7	Bar-7 Car3	230	68	45
8	Bar-8 Car4	230	90	35
9	Bar-9 Car5	230	75	28
<b>Total</b>			<b>325</b>	<b>153</b>

### A-1.5. Dados de Máquinas

Geração de Potência Ativa (MW)				
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Geração Máxima por Máquina	Geração Máxima Total
1	Bar-1 Ger-1	1	250	250
2	Bar-2 Ger-2	1	200	200
<b>Total</b>		<b>2</b>		<b>450</b>

Geração e Absorção de Reativos das Máquinas (Mvar)						
Barra	Nome	Nº de Máquinas	Absorção		Geração	
			Por Máquina	Total	Por Máquina	Total
1	Bar-1 Ger-1	1	122	122	122	122
2	Bar-2 Ger-2	1	96	96	96	96
<b>Total</b>		<b>2</b>		<b>218</b>		<b>218</b>

### A-1.6. Modelos e Parâmetros dos Geradores

*Nota:* O modelo de gerador utilizado foi o MD02 do programa ANATEM para pólos salientes que utiliza um enrolamento de campo e dois enrolamentos amortecedores, sendo um no eixo direto e outro no eixo em quadratura.

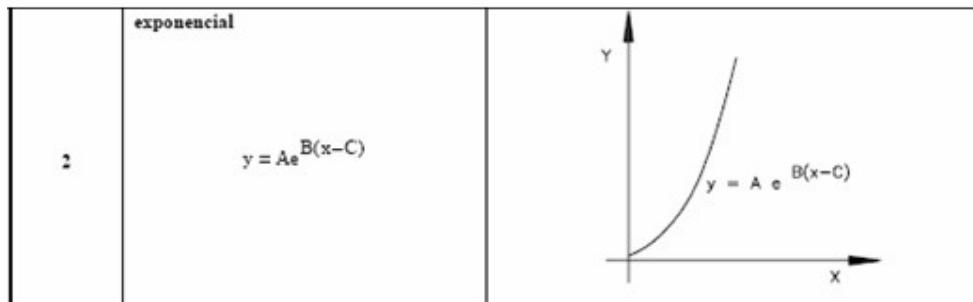
Bar	Nome	Nº	Xd	Xq	X'd	X''d	Xl	T'd	T''d	T''q	H	P	FP	T
1	Ger1	1	106,0	63,0	33,0	25,0	21,0	5,40	0,080	0,120	5,050	278	0,9	H
2	Ger2	1	85,94	58,12	29,91	21,14	15,35	5,50	0,085	0,2214	4,988	222	0,9	H

Coluna	Descrição
Bar	Número de identificação da barra onde está ligada a unidade geradora.
Nome	Número da unidade geradora.
Nº	Número de unidades geradoras da usina.
Xd	Reatância síncrona de eixo direto por máquina, em %.
Xq	Reatância síncrona de eixo em quadratura por máquina, em %.
X'd	Reatância transitória de eixo direto por máquina, em %.
X''d	Reatância subtransitória de eixo direto por máquina, em %.
Xl	Reatância de dispersão da armadura por máquina, em %.
T'd	Constante de tempo transitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''d	Constante de tempo subtransitória de eixo direto em circuito aberto, em segundos.
T''q	Constante de tempo subtransitória de eixo em quadratura em circuito aberto, em segundos.
H	Constante de inércia, em segundos. Representa a relação entre a energia cinética armazenada no grupo turbina-gerador, à velocidade síncrona, e a potência aparente nominal da máquina.
P	Potência aparente nominal da unidade geradora, em MVA, usada como base para os parâmetros.
FP	Fator de potência da unidade geradora.
T	Tipo de fonte de energia da usina: H= Hidráulica e T=Térmica

Curva de Saturação					
Núm	Máq	Tipo	Y1	Y2	X1
1	Gerador-1	2	0,016	8,068	0,8
2	Gerador-2	2	0,034	7,106	0,8

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação da curva de saturação.
Máq	Nome da unidade geradora.
Tipo	Indica o tipo de equação usada para curva de saturação. Tipo 2 corresponde a uma exponencial (ver figura abaixo).
Y1	Valor do parâmetro A, em pu.

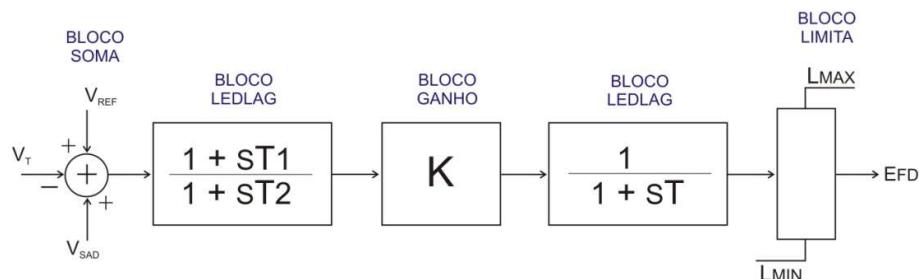
Curva de Saturação		Coluna	Descrição
		Y2	Valor do parâmetro B, em pu.
		X1	Valor do parâmetro C, em pu.



### Equação e curva de saturação

#### A-1.7. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Excitação - Regulador de Tensão

*Nota:* O modelo de regulador de tensão utilizado nos geradores foi baseado no modelo MD02 do programa ANATEM, e corresponde a um sistema de excitação estática com dois blocos “avanço-atraso”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:

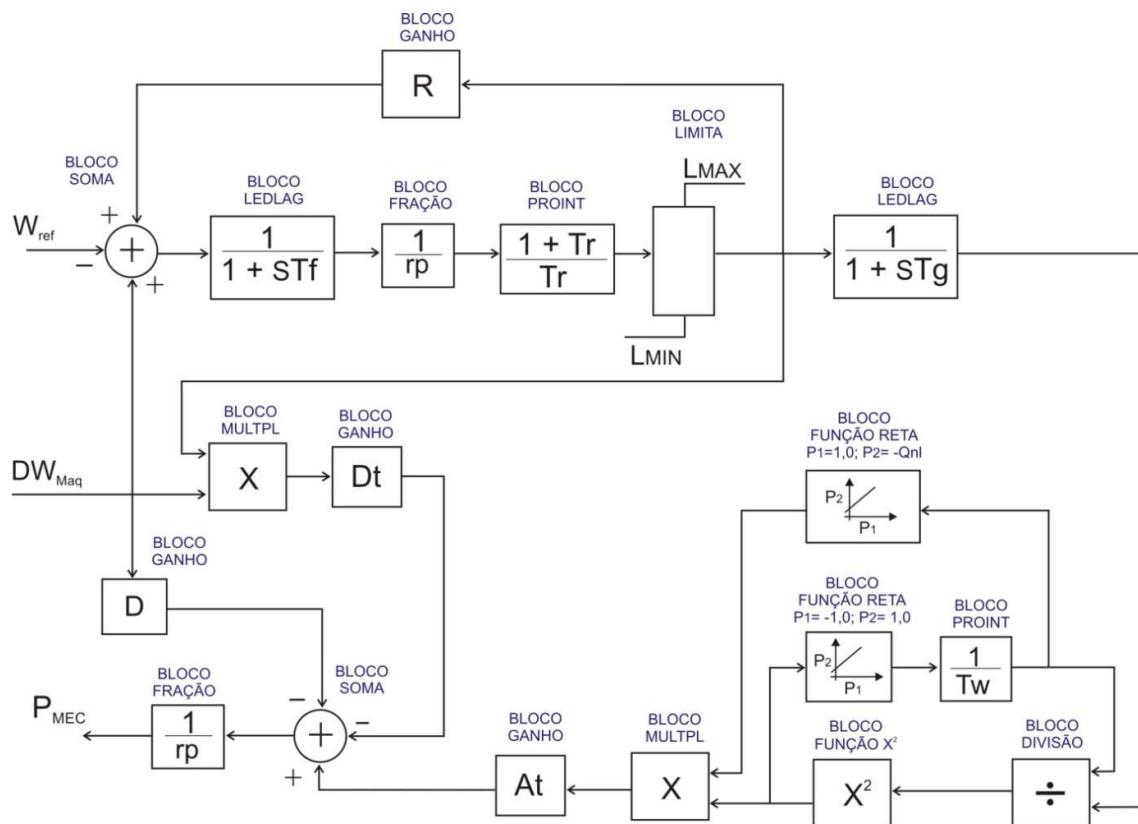


Parâmetros do Regulador de Tensão							
Núm	Máq	K	T	T1	T2	Lmax	Lmin
11	Ger-1	200	0,003	1,0	5,0	5	-4
12	Ger-2	200	0,003	1,0	5,0	5	-4

Coluna	Descrição
Núm	Número de identificação do modelo de regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
T	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
Lmax	Límite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Límite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Vt	Sinal de entrada do regulador de tensão, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.
Vref	Sinal de referência, em pu.
Efd	Tensão de campo da máquina, em pu.

### A-1.8. Modelo e Dados do Sistema de Controle de Velocidade e Turbina - Regulador de Velocidade

*Nota:* Foi utilizado o modelo de regulador de velocidade da UHE Furnas que consta no banco de dados dinâmicos do SIN e corresponde ao modelo 10 (PTI Padrão) conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



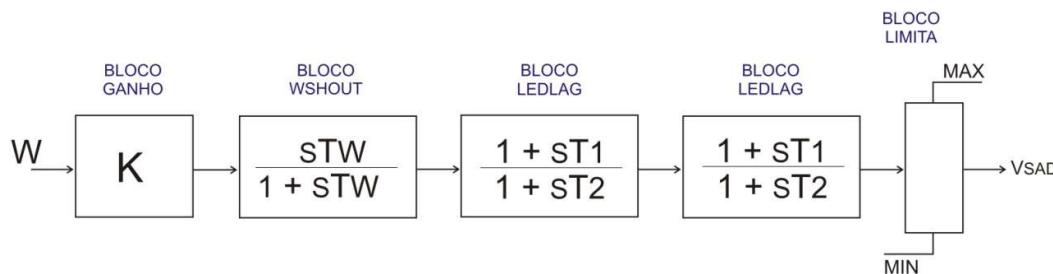
Parâmetros do Regulador de Velocidade															
Nº	Máq	At	D	Dt	Lmax	Lmin	PBmaq	Pbtur	Qnl	R	rp	Tf	Tg	Tr	Tw
21	Ger-1	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	278	278	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5
22	Ger-2	1,2	1,0	0,5	0,984	0,0	222	222	0,15	0,05	0,38	0,05	0,5	7,0	1,5

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação do modelo de regulador de velocidade usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
At	Ganho da turbina, em pu/pu.
D	Fator de amortecimento da carga, em pu.
Dt	Fator de amortecimento da turbina, em pu.
Lmax	Limite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
Lmin	Limite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
PBmaq	Potência base do gerador, em MVA.
Pbtur	Potência base da turbina em MW.
Qnl	Vazão sem carga, em pu.
R	Estatismo permanente, em pu.

Coluna	Descrição
rp	Estatismo transitório, adimensional.
Tf	Constante de tempo de filtragem, em segundos.
Tg	Constante de tempo do servomotor, em segundos.
Tr	Constante de tempo do regulador, em segundos.
Tw	Constante de tempo da água, em segundos.
Wref	Sinal de referência, em pu.
DWMaq	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
PMEC	Potência mecânica da máquina, em pu na base da máquina.

### A-1.9. Modelo e Dados do Sistema Estabilizador (PSS) Aplicado ao Regulador de Tensão

*Nota:* O modelo de estabilizador utilizado foi o modelo denominado de “PSS Universal”, conforme o diagrama de blocos mostrado na figura a seguir:



Parâmetros do Estabilizador							
Nº	Máq	K	TW	T1	T2	max	min
31	Ger-1	12,0	3,0	0,10	0,01	0,2	-0,2
32	Ger-2	12,0	3,0	0,10	0,01	0,2	-0,2

Coluna	Descrição
Nº	Número de identificação do modelo de estabilizador aplicado em regulador de tensão usado no arquivo de dados.
Máq	Nome da unidade geradora.
K	Ganho do sistema de excitação, em pu/pu.
TW	Constante de tempo efetiva na ação de regulação de tensão, em segundos.
T1	Constante de tempo de avanço do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
T2	Constante de tempo de atraso do compensador de fase do regulador de tensão, em segundos.
max	Límite superior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
min	Límite inferior da tensão de saída do regulador de tensão, em pu.
W	Desvio da velocidade angular da máquina, em pu.
Vsad	Sinal estabilizador aplicado no regulador de tensão, em pu.

<b>Observações</b>	
(i)	Os valores em por cento (%) corresponde ao valor em pu multiplicado por 100.
(ii)	Os parâmetros estão referenciados a potência base do sistema, igual a 100 MVA, e a tensão nominal.
(iii)	Todas as linhas de transmissão suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 60 minutos. Este valor corresponde ao limite de curta duração que é determinado pela capacidade física do equipamento e de seus respectivos acessórios na condução de corrente.
(iv)	Todas as linhas de transmissão são do tipo aérea.
(v)	Os transformadores elevadores das usinas estão ligados em Delta no lado de baixa (usina) e Estrela Aterrada no lado de alta tensão (linha).
(vi)	Todos os transformadores são de tape fixo, possuem dois enrolamentos e suportam uma sobrecarga de até 10% por um tempo máximo de 30 minutos.
(vii)	As reatâncias dos transformadores correspondem a XPS para representação em fluxo de potência.
(viii)	As variações de tensão nas barras provocadas por chaveamento de reatores ou capacitores não deverão exceder a 10% dos níveis estabelecidos.

\* \* \*

---