

5

Aplicação de Equivalentes na Avaliação da Estabilidade de Tensão para Todos os Tipos de Barras

5.1.

Cálculo de Índices de Estabilidade de Tensão usando os Modelos Impedância e Potência Constante

O objetivo desta Seção é comparar os resultados dos índices de estabilidade de tensão obtidos para um sistema quando em uma determinada barra são usados os modelos impedância e potência constante. Utiliza-se um sistema-teste de 3 barras. Analisaram-se os resultados da barra de carga 3 quando na barra 2 um capacitor é modelado como potência e como impedância constante com o mesmo ponto de operação

5.1.1.

Sistema-Teste de 3 Barras: Admitância Constante

Na Figura 5.1 é mostrado o sistema usado e nas Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 apresentam-se os respectivos dados de barras, linhas e resultado do fluxo de potência. A base de potência é de 100 MVA com uma frequência de 60 Hz. A admitância da barra 2 é calculada, tomando 1.0 pu. como tensão de operação. Na Tabela 5.3 os valores de tensão estão fora da faixa usual de operação e servem para fins ilustrativos somente.

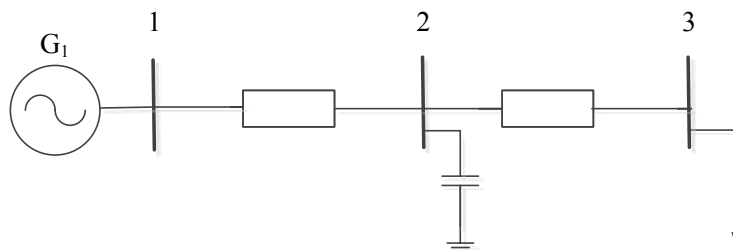


Figura 5.1 – Sistema-Teste de 3 Barras

Tabela 5.1 - Dados de Barra do Sistema-Teste de 3 Barras: Modelo Admitância

Constante								
Barra		Tensão		Geração		Carga		Admitância
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	Y (pu)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600
3	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	80.000	40.000	0.000

Tabela 5.2 - Dados de Linha do Sistema-Teste de 3 Barras: Modelo Admitância

Constante			
De	Para	R(pu)	X(pu)
1	2	0.030	0.150
2	3	0.050	0.200

Tabela 5.3 - Resultado do Fluxo de Potência do Sistema-Teste de 3 Barras:

Modelo Admitância Constante							
Barra	Tensão		Geração		Carga		
	V (pu)	Θ (°)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)	
1	1.000	0.000	89.436	27.268	0.000	0.000	
2	0.941	-7.696	0.000	0.000	0.000	0.000	
3	0.766	-18.895	0.000	0.000	80.000	40.000	

5.1.2.

Sistema-Teste de 3 Barras: Potência Constante

O sistema usado é o mesmo que do caso de admitância constante apresentado na Figura 5.1, com a diferença que o capacitor é modelado como potência constante. Nas Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam-se os respectivos dados de barras, linhas e resultado do fluxo de potência. A potência base é de 100 MVA com uma frequência de 60 Hz. Na Tabela 5.6 os valores de tensão estão fora da faixa usual de operação e servem para fins ilustrativos somente.

Tabela 5.4 - Dados de Barra do Sistema-Teste de 3 Barras: Modelo Potência Constante

Barra		Tensão		Geração		Carga	
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PQ	1.000	0.000	0.000	53.100	0.000	0.000
3	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	80.000	40.000

Tabela 5.5 - Dados de Linha do Sistema-Teste de 3 Barras: Modelo Potência Constante

De	Para	R(pu)	X(pu)
1	2	0.030	0.150
2	3	0.050	0.200

Tabela 5.6 - Resultado do Fluxo de Potência do Sistema-Teste de 3 Barras: Modelo Potência Constante

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	V (pu)	Θ (°)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)
1	1.000	0.000	89.436	27.268	0.000	0.000
2	0.941	-7.696	0.000	53.100	0.000	0.000
3	0.766	-18.895	0.000	0.000	80.000	40.000

5.1.3. Comparação de Resultados

Utilizando a teoria apresentada no Capítulo 2, são obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Índices de Avaliação de Estabilidade de Tensão do Sistema-Teste de 3 Barras

	Barra	S_i (MVA)	S_m (MVA)	β (°)	M_S (%)
Modelo Admitância	3	89.442	156.689	144.847	42.992
Modelo Potência	3	89.442	165.687	140.470	46.992

Pode-se observar na Tabela 5.7 que os índices obtidos quando o capacitor da barra de carga 2 é modelado como admitância constante são diferentes dos obtidos quando ele é modelado como potência constante.

Como foi visto no Capítulo 2, para o cálculo de índices é usada a matriz $[D']$, a qual é obtida através de operações com sub-matrizes da matriz Jacobiana, e para o caso, os modelos diferem no elemento (2,2) desta matriz, dado por (5.1).

$$H_{kk} = \frac{\partial P_k}{\partial \theta_k} = -V_k^2 B_{kk} - V_k \left[\sum_{m \in k} V_m \{G_{km} \sin \theta_{km} - B_{km} \cos \theta_{km}\} \right] \quad (5.1)$$

O termo $B_{2,2}$ do modelo admitância constante usado em (5.1) é diferente do modelo admitância constante, conseqüentemente, as duas matrizes Jacobianas serão diferentes e, por conseguinte, não serão obtidos índices de estabilidade de tensão iguais, mesmo tendo igual sistema e ponto de operação.

5.2. Redução da Rede

A lei de nós de Kirchhoff pode ser escrita em forma matricial. O sistema é ordenado de forma que as barras de geração fiquem juntas e na parte superior da matriz, seguidas das barras de carga e, finalmente, das barras de passagem na parte inferior da matriz:

$$\begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{I}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \\ Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E} \\ \dot{E}_p \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

onde,

$\dot{I}$ é o vetor de correntes injetadas nas barras de geração e nas barras de carga;

$\dot{I}_p$ é o vetor de correntes injetadas nas barras de passagem ($=0$);

$\dot{E}$ é o vetor das tensões nodais nas barras de geração e nas barras de carga;

$\dot{E}_p$ é o vetor das tensões nodais nas barras de passagem;

As sub-matrizes Y_1 , Y_2 , Y_3 e Y_4 são partições da matriz de admitância de barra.

De (5.2), obtém-se:

$$\dot{I} = Y_1 \dot{E} + Y_2 \dot{E}_p \quad (5.3)$$

$$\dot{I}_p = Y_3 \dot{E} + Y_4 \dot{E}_p \quad (5.4)$$

Aplicando $\dot{I}_p = 0$ em (5.4), obtemos que:

$$0 = Y_3 \dot{E} + Y_4 \dot{E}_p \rightarrow \dot{E}_p = -Y_4^{-1} Y_3 \dot{E} \quad (5.5)$$

Substituindo-se o valor de $\dot{E}_p$ em (5.3):

$$\dot{I} = Y_1 \dot{E} - Y_2 Y_4^{-1} Y_3 \dot{E} \quad (5.6)$$

Agrupando-se termos, tem-se:

$$\dot{I} = \underbrace{(Y_1 - Y_2 Y_4^{-1} Y_3)}_{Y_{eq}} \dot{E} \quad (5.7)$$

Dessa forma:

$$\dot{I} = Y_{eq} \dot{E} \quad (5.8)$$

onde,

Y_{eq} é a matriz de admitância de barra do circuito equivalente, contendo somente as barras de geração e carga.

Como a rede reduzida é composta de linhas de transmissão equivalentes fictícias, conseqüentemente, os fluxos de potência na rede também são fictícios, diferindo dos fluxos da rede intacta. Somente mantém o mesmo valor na rede intacta e na rede reduzida, as tensões nodais em módulo e ângulo, além das gerações e cargas.

No caso em que seja requerido eliminar alguma barra de geração ou carga, é necessário converter essa barra em uma barra de passagem. Isto é realizado transformando-se a extração ou injeção de corrente numa admitância, que é calculada mediante (5.9) e (5.10), respectivamente. E este termo é adicionado à diagonal principal da matriz de admitância de barra.

$$Y_{kk} = \frac{I_k}{V_k} = \frac{(P_k + jQ_k)^*}{|V_k|^2} \quad (5.9)$$

$$Y_{ii} = -\frac{I_i}{V_i} = -\frac{(P_i + jQ_i)^*}{|V_i|^2} \quad (5.10)$$

onde,

V_k e I_k são a tensão e corrente medida na barra de carga k ; consequentemente P_k e Q_k são as potências ativa e reativa medidas na barra de carga k ; o sobrescrito * denota operação conjugada.

V_j e I_j são a tensão e corrente medida na barra de geração j ; consequentemente P_j e Q_j são as potências ativa e reativa medidas na barra de geração j .

5.3.

A Redução de Rede na Avaliação da Estabilidade de Tensão

O objetivo é aplicar a redução de um sistema de n barras ao sistema equivalente de 2 barras, o qual é composto por uma barra de geração e cada uma das outras barras do sistema (uma vez por cada barra a ser analisada). Posteriormente são calculados os índices para avaliação da segurança de tensão.

As etapas para o desenvolvimento são:

- i) Converter em barras de passagem todas as barras do sistema, com exceção da barra de geração e a barra em estudo, o qual é realizado transformando-se em admitâncias as injeções e/ou extrações de potência, usando-se (5.8) e (5.9);
- ii) Modificar a diagonal principal da matriz de admitância nodal incluindo as admitâncias calculadas em i);
- iii) Eliminar todas as barras de passagem mediante a técnica da redução da rede apresentada na Seção 5.2 e, consequentemente, obter o circuito equivalente entre a barra de geração e a barra em estudo.
- iv) Avaliar as condições de estabilidade de tensão para um circuito de 2 barras utilizando a teoria apresentada no Capítulo 2.

5.3.1. Aplicação 1

O objetivo é avaliar a possibilidade de usar a técnica de redução de rede no sistema da Figura 5.2, para o cálculo de índices de estabilidade de tensão na barra 3 para dois cenários: carga leve e pesada.

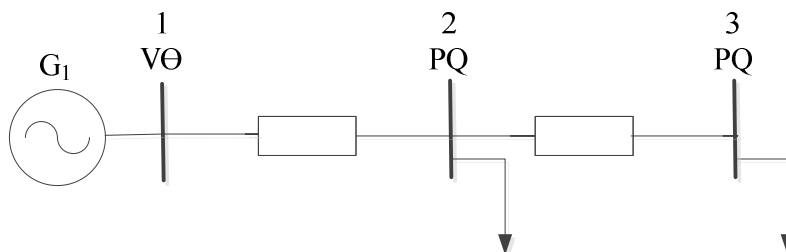


Figura 5.2 – Sistema-Teste de 3 Barras

- **Carga Leve**

Os dados de barra, linha e resultados do fluxo de potência são mostrados nas Tabelas 5.8, 5.9 e 5.10. A base da potência é de 100 MVA com uma frequência de 60 Hz. Na Tabela 5.10 os valores de tensão estão fora da faixa usual de operação e servem para fins ilustrativos somente.

Tabela 5.8 - Dados de Barra do Sistema-Teste de 3 Barras - Carga Leve

Barra		Tensão		Geração		Carga	
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	20.000	10.000
3	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	10.000	5.000

Tabela 5.9 - Dados de Linha do Sistema-Teste de 3 Barras - Carga Leve

De	Para	R(pu)	X(pu)
1	2	0.006	0.120
2	3	0.0125	0.250

Tabela 5.10 - Resultado do Fluxo de Potência do Sistema-Teste de 3 Barras - Carga Leve

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	V (pu)	Θ (°)	P(MW)	Q(MVar)	P(MW)	Q(MVar)
1	1.000	0.000	30.088	16.760	0.000	0.000
2	0.979	-2.055	0.000	0.000	20.000	10.000
3	0.964	-3.535	0.000	0.000	10.000	5.000

Aplicando-se, as etapas i), ii) e iii) da Seção 5.3, é obtido o circuito equivalente, cujo procedimento é ilustrado sequencialmente na Figura 5.3. Os dados de barras e linha são apresentados nas Tabelas 5.11 e 5.12, onde 0 denota o nó terra

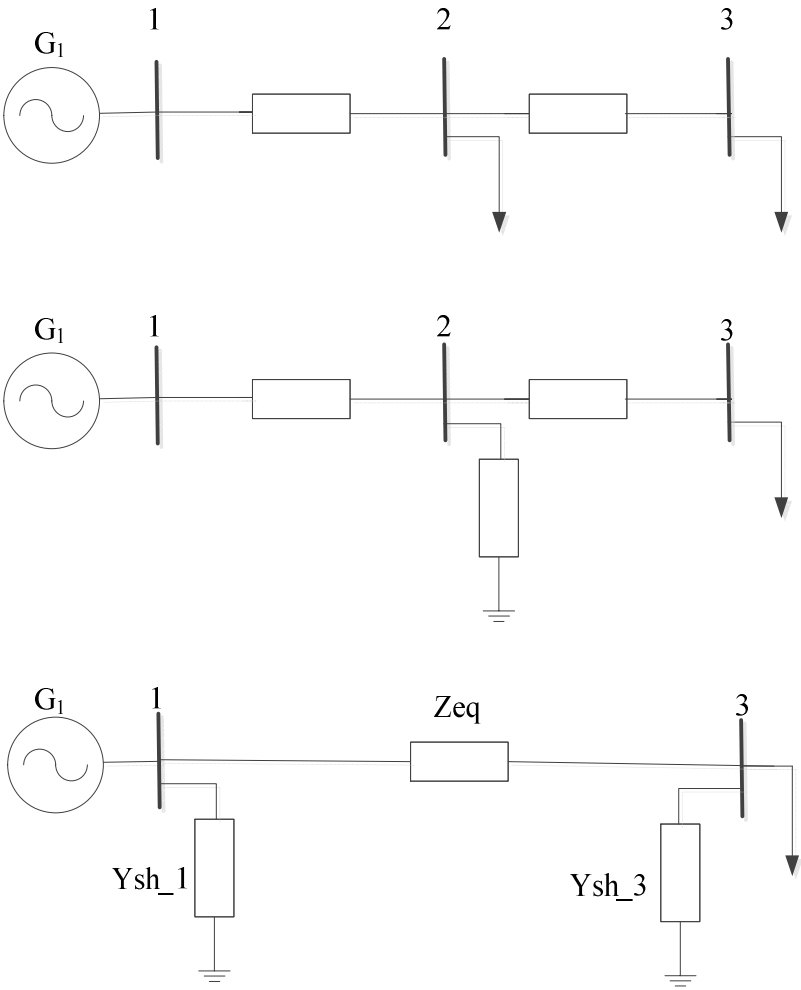


Figura 5.3 – Procedimento para Determinação do Sistema Equivalente entre Gerador da Barra 1 e Carga da Barra 3

Tabela 5.11 - Dados de Barra do Sistema Equivalente – Carga Leve

Barra		Tensão		Potência	
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVar)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000
3	PQ	0.964	-3.535	10.000	5.000

Tabela 5.12 - Dados de Linha do Sistema Equivalente – Carga Leve

De	Para	R(pu)	X(pu)
1	0	5.675	2.956
1	3	0.0702	0.3756
3	0	11.834	6.157

Usando os dados das Tabelas 5.11 e 5.12 e aplicando-se a etapa iv) do procedimento descrito na Seção 5.3, são obtidos os índices para avaliar as condições de estabilidade de tensão.

A Tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos tanto para o sistema completo quanto o sistema equivalente.

Tabela 5.13 - Índices de Avaliação de Estabilidade de Tensão do Sistema-Teste de 3 Barras

	Barra	$S_t(\text{MVA})$	$S_m(\text{MVA})$	$\beta(^{\circ})$	$M_s(\%)$
Completo	3	11.180	250.757	95.441	95.541
Equivalente	3	11.180	252.028	94.429	95.564

- **Carga Pesada**

Os dados de barra, linha e resultados do fluxo de potência são mostrados nas Tabelas 5.14, 5.15 e 5.16. A base da potência é de 100 MVA com uma frequência de 60 Hz. Na Tabela 5.15 os valores de tensão estão fora da faixa usual de operação e servem para fins ilustrativos somente.

Tabela 5.14 - Dados de Barra do Sistema-Teste de 3 Barras Carga Pesada

Barra		Tensão		Geração		Carga	
No.	Tipo	V (pu)	$\Theta (^{\circ})$	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	92.050	35.000
3	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	66.000	35.000

Tabela 5.15 - Resultado do Fluxo de Potência do Sistema-Teste de 3 Barras Pesada

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	V (pu)	Θ (°)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)
1	1.000	0.000	164.35	196.010	0.000	0.000
2	0.777	-13.802	0.000	0.000	92.050	35.000
3	0.542	-36.211	0.000	0.000	66.000	35.000

Analogamente ao caso de carga leve, aplicando-se, as etapas i), ii) e iii) da seção 5.3, é obtido o circuito equivalente, cujos dados de barras e linha são apresentados nas Tabelas 5.16 e 5.17.

Tabela 5.16 - Dados de Barra do Sistema Equivalente – Carga Pesada

Barra		Tensão		Potência	
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVAR)
1	V Θ	1.000	0.000	0.000	0.000
3	PQ	0.542	-36.211	66.000	35.000

Tabela 5.17 - Dados de Linha do Sistema Equivalente – Carga Pesada

De	Para	R(pu)	X(pu)
1	0	0.8549	0.443
1	3	-0.0253	0.369
3	0	1.781	0.923

Com os dados das Tabelas 5.16 e 5.17 e aplicando-se a etapa iv) do procedimento descrito na Seção 5.3, são obtidos os índices para avaliar as condições de estabilidade de tensão mostrados na Tabela 5.18 junto com os índices obtidos quando é considerado o sistema completo.

Tabela 5.18 - Índices de Avaliação de Estabilidade de Tensão do Sistema-Teste de 3 Barras

	Barra	S_i (MVA)	S_m (MVA)	β (°)	M_S (%)
Completo	3	74.706	75.386	179.423	0.902
Equivalente	3	74.706	81.795	173.427	8.666

No caso da carga leve, como é observado na Tabela 5.13, os índices de estabilidade de tensão do sistema equivalente ficam similares ao sistema completo. Já no caso de carga pesada, os índices mostrados na Tabela 5.18 são bem diferentes.

Como já foi visto na Seção 5.1, a transformação em admitância da potência injetada na barra 2 faz com que seja adicionado esse termo à matriz de admitância nodal e, portanto, a matriz $[D']$ obtida do sistema equivalente é diferente da matriz do sistema completo, levando em índices de estabilidade de tensão diferentes.

No caso da carga leve, a transformação em admitância da potência da barra 2 causa mudanças na matriz de admitância nodal e, conseqüentemente, a matriz $[D']$ obtida do sistema equivalente é diferente à do sistema completo, mas como $S_m \gg S_i$ não é permitido observar a influência dessas mudanças e são obtidos resultados de índices do sistema equivalente bem próximos aos do sistema completo. No caso da carga pesada, com $S_m \approx S_i$ é observada a influência da eliminação de barras com injeção de potência, resultando em índices de estabilidade de tensão do sistema equivalente afastados dos do sistema completo. Finalmente, conclui-se que a técnica de redução de rede não pode ser aplicada para o cálculo de índices de estabilidade de tensão, se as barras eliminadas tinham injeções que foram transformadas em admitâncias.

5.3.2. Aplicação 2

O objetivo é avaliar a possibilidade do uso do equivalente quando o sistema contém mais de um gerador. Para isso, é aplicado o procedimento da Seção 5.3, para a redução do sistema de n barras a 2 barras (uma vez por cada barra a ser analisada).

É usado o sistema da Figura 5.4 como exemplo, onde são calculados os índices para todas as barras do sistema. Os dados de barra, linha e os resultados do fluxo de potência são mostrados nas Tabelas 5.19, 5.20 e 5.21.

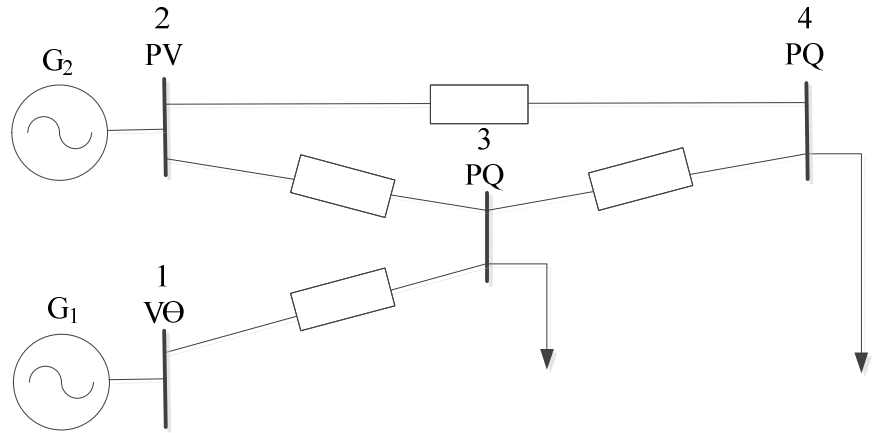


Figura 5.4 – Sistema–Teste de 4 Barras

Tabela 5.19 - Dados de Barra do Sistema–Teste de 4 Barras

Barra		Tensão		Geração		Carga	
No.	Tipo	V (pu)	Θ (°)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	VΘ	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	PV	1.000	0.000	20.000	0.000	0.000	0.000
3	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	15.000	5.000
4	PQ	1.000	0.000	0.000	0.000	30.000	10.000

Tabela 5.20 - Dados de Linha do Sistema–Teste de 4 Barras

De	Para	R(pu)	X(pu)
1	3	0.100	0.500
2	3	0.100	0.500
2	4	0.100	0.500
3	4	0.100	0.500

Tabela 5.21 - Resultado do Fluxo de Potência do Sistema–Teste de 4 Barras

Barra	Tensão		Geração		Carga	
	V (pu)	Θ (°)	P(MW)	Q(MVAR)	P(MW)	Q(MVAR)
1	1.000	0.000	26.380	4.319	0.000	0.000
2	1.000	-7.188	20.000	17.582	0.000	0.000
3	0.961	-7.633	0.000	0.000	15.000	5.000
4	0.935	-11.788	0.000	0.000	30.000	10.000

**5.3.2.1.
Equivalente 1**

O circuito equivalente é calculado entre a barra *slack* 1 e cada uma das outras barras do sistema, obtendo-se o circuito equivalente mostrado na Figura 5.4.

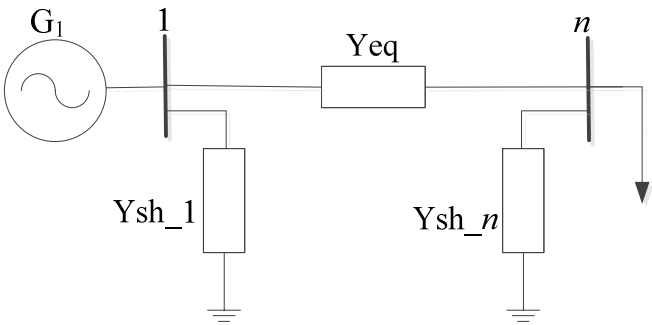


Figura 5.5 – Equivalente entre Gerador da Barra 1 e a Barra *n* do Sistema

Aplicando-se, as etapas i), ii) e iii) do procedimento enunciado na Seção 5.3 uma vez por cada barra estudada, é obtido o circuito equivalente de 2 barras correspondente, cujos dados são apresentados na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 - Dados de Barra do Sistema Equivalente 1

Barra_n	Tensão		Ysh_1		Yeq		Ysh_n	
	V (pu)	Θ (°)	G(pu)	B(pu)	G(pu)	B(pu)	G(pu)	B(pu)
2	1.000	-7.188	0.123	2.286	0.145	-1.117	0.339	2.382
3	0.961	-7.633	0.000	3.846	0.385	-1.923	0.116	3.800
4	0.935	-11.788	0.021	2.325	0.227	-1.169	-0.077	2.229

Utilizando os dados da Tabela 5.22 e aplicando-se a etapa iv) do procedimento, são obtidos os índices para avaliar as condições de estabilidade de tensão mostrados na Tabela 5.23, assim como os obtidos com o sistema completo.

Tabela 5.23 - Índices de Avaliação de Estabilidade de Tensão – Equivalente 1 e Sistema Completo

	Barra	$S_i(\text{MVA})$	$S_m(\text{MVA})$	$\beta(^{\circ})$	$M_s(\%)$
Completo	2	26.630	117.02	95.7036	77.24
	3	15.811	282.62	95.837	94.405
	4	31.620	171.59	96.295	81.570
Equivalente 1	2	26.629	135.469	110.97	80.343
	3	15.811	179.219	98.937	91.178
	4	31.620	93.526	125.991	66.188

Tomando os resultados do sistema completo como resultados reais, pode-se observar que os resultados obtidos com o equivalente 1 não são iguais em nenhuma das barras em estudo, mas em algumas delas semelhantes.

No sistema completo, quando são calculados os índices para as barras de carga, são supostas variações infinitesimais de potência ativa, as quais são supridas pelo gerador da barra 1 e variações infinitesimais de potência reativa supridas pelos geradores 1 e 2.

No equivalente 1 é fixada a potência ativa e reativa da barra de geração 2, mediante a transformação em admitância e, considerando, que esta barra é do tipo PV, está sendo desconsiderado que esta barra poderia suprir as variações de potência reativa da barra em estudo.

Pode-se concluir que o sistema equivalente 1 não pode ser usado para o cálculo de índices de estabilidade de tensão.

5.3.2.2. Equivalente 2

O circuito equivalente 2, é composto pela barra de geração 2 e cada uma das outras barras do sistema, como é apresentado na Figura 5.5.

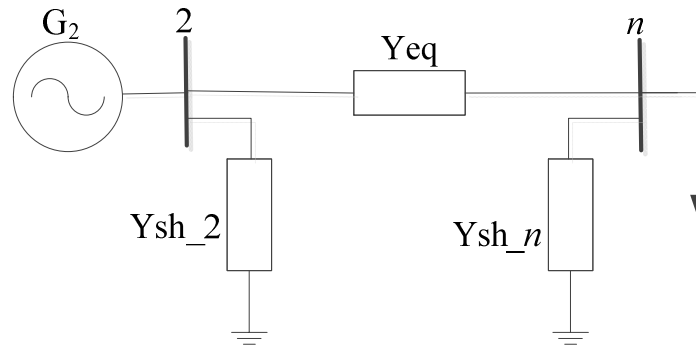


Figura 5.6 – Equivalente entre Gerador da Barra 2 e a Barra n do Sistema

Na Tabela 5.24, são apresentados os dados do circuito equivalente de 2 barras, o qual é calculado aplicando-se as etapas i), ii) e iii) do procedimento da Seção 5.3.

Tabela 5.24 - Dados do Sistema Equivalente 2

Barra_n	Tensão		Ysh_2		Yeq		Ysh_n	
	V (pu)	Θ (°)	G(pu)	B(pu)	G(pu)	B(pu)	G(pu)	B(pu)
1	1.000	0.000	0.339	2.382	0.145	-1.117	0.123	2.286
3	0.961	-7.633	0.159	5.769	0.497	-2.851	-0.119	5.761
4	0.935	-11.788	-0.057	5.769	0.605	-2.872	-0.057	5.769

Analogamente como foi feito com o equivalente 1, usando os dados da Tabela 5.24 e aplicando-se a etapa iv), são obtidos os índices para avaliação das condições de estabilidade de tensão, apresentados na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 - Índices de Avaliação de Estabilidade de Tensão – Equivalente 2

Barra	Tensão	Si(MVA)	Sm(MVA)	β (°)	M_s (%)
1	1.000	26.731	119.940	115.085	77.713
3	0.961	15.756	270.743	95.996	94.180
4	0.935	31.193	257.537	102.815	87.888

Estes resultados não podem ser comparados com os do sistema completo, pois neste caso, é suposto que o gerador da barra 2 pode suprir variações de potência ativa e reativa, enquanto que no sistema completo, o gerador da barra 1 é

o que supre as variações de potência ativa e reativa das outras barras do sistema, além do gerador 2 suprir as variações de potência reativa.

Adicionalmente, mediante a transformação em admitância, é fixada a potência ativa e reativa da barra de *slack* 1, desconsiderado que ela pode suprir variações de potência das outras barras do sistema.

5.4. Conclusões

Neste capítulo, inicialmente foram apresentados os resultados da análise de segurança de tensão de um sistema teste de 3 barras, com o objetivo de observar a diferença quando em alguma das barras são considerados os modelos de admitância constante e potência constante.

Através da análise realizada em uma das barras, foi encontrado que, quando o modelo é potência constante e este é transformado a admitância constante, são adicionados novos elementos à matriz de admitância nodal e, conseqüentemente, modificada a matriz $[D']$ usada para o cálculo de índices de estabilidade de tensão, obtendo resultados diferentes ao caso quando ele é potência constante.

Em seguida, foi apresentada a formulação matemática para eliminação de barras do sistema. Foram usados sistemas de teste de 3 e 4 barras para avaliar a possibilidade da técnica de redução da rede na avaliação das condições de estabilidade de tensão.

Através de diferentes testes realizados, pode-se afirmar que:

- Quando são eliminadas barras do tipo PQ do sistema, é feita a transformação em admitância de sua potência injetada, isto faz com que sejam adicionados novos elementos à matriz de admitância nodal, a qual é usada para o cálculo da matriz $[D']$, obtendo-se com

isto, índices do sistema reduzido diferentes aos obtidos com o sistema completo.

- Quando são eliminadas barras do tipo PV do sistema, é feita a transformação em admitância de sua potência injetada e, com isto, é desconsiderado que esta barra poderia suprir variações de potência reativa das barras em estudo. São obtidos índices ainda mais diferentes do que quando a barra eliminada é do tipo PQ.
- Não pode ser eliminada a barra *slack* do sistema, pois é desconsiderado que ela pode suprir variações de potência ativa e reativa em qualquer outra barra em estudo.

Finalmente, pode-se concluir que o procedimento de redução de rede não pode ser usado para o cálculo de índices de avaliação das condições de estabilidade de tensão, pois são obtidos resultados diferentes aos conseguidos quando é considerado o sistema inteiro. A redução de rede só é válida se as barras eliminadas não têm injeção de potência.