

7

Exemplo Numérico

7.1

Introdução

A análise da estabilidade de tensão, ou como parece mais apropriado, da segurança de tensão, pode ser dividida em duas partes: a avaliação e, se necessário, o reforço. A avaliação pode encontrar dois tipos de resultados distintos: i) em barras de tensão controlada, o efeito de ações de controle podem ter resultado oposto ao esperado e ii) em barras de carga, o fluxo de potência a ela chegando se encontra perto do máximo. O interesse desta tese são as barras de tensão controlada.

A idéia então é, uma vez detectada uma barra de geração crítica, verificar os diferentes caminhos de transmissão existentes, identificar o caminho mais carregado, e redirecionar o fluxo de potência destes para outros caminhos menos carregados.

A avaliação das condições de carregamento do caminho de transmissão mais carregado leva em conta a influência da barra de tensão controlada pelo transformador com comutação de *taps* em carga (LTC) ou compensador síncrono (CS) no meio do caminho. O esforço para transmitir potência ativa e reativa a uma barra de carga através de um caminho de transmissão é diferente se começa numa barra de tensão controlada por LTC ou CS no meio do caminho do que um gerador síncrono no final do mesmo.

7.2

Sistema-teste de 34 Barras

Na Figura 7.1 é mostrado o diagrama unifilar modificado que é usado neste exemplo numérico e corresponde a uma redução do mostrado no Apêndice C. Neste não aparecem as barras 6, 9 e 12, porque os caminhos 4, 5, 7 e 4, 6, 7 foram transformados em um único, assim como 7, 8, 10 com 7, 9, 10 e 10, 11, 13 com 10, 12, 13. Da mesma forma, os ramos em paralelo e os dois

Na Figura 7.2 é mostrado o ponto de operação S34_A06 que será analisado para esse sistema. Este ponto de operação foi obtido por aumentos sucessivos de carga na barra 29 ($P=3425$ MW e $Q=561,40$ Mvar) e acompanhado pelo aumento de geração na barra 34. Assim, parece natural que os índices de estabilidade de tensão sejam calculados considerando-se a barra 34 como *swing*.

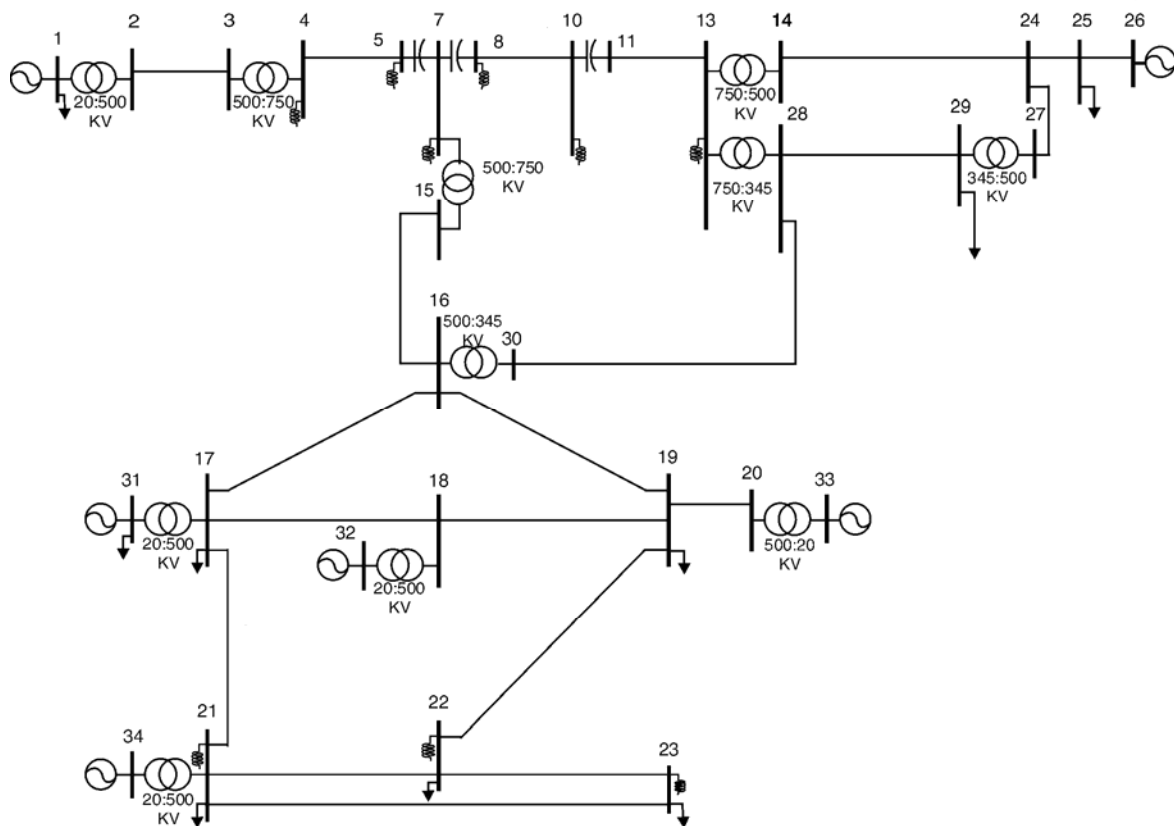


Figura 7.1 - Sistema-Teste de 34 Barras Modificado

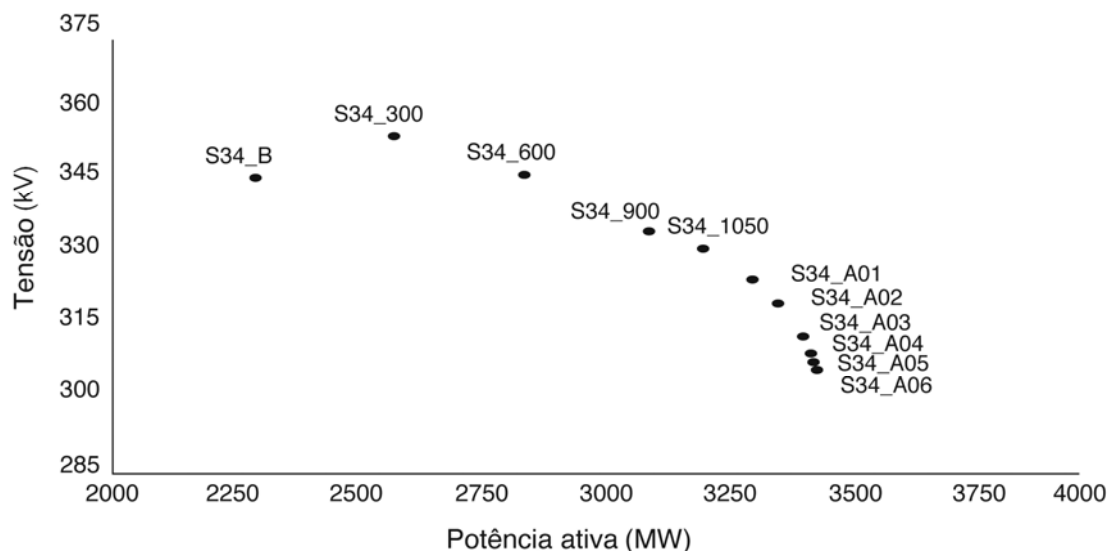


Figura 7.2 - Característica Tensão Versus Potência Ativa na Barra 29

Os índices $\beta=178,5^\circ$ e $M=2,7\%$ da barra 29 mostrados na Tabela 7.1, obtidos com o programa EstabTen, verificam a proximidade do ponto de máximo carregamento que chega na barra 29 e correspondem com a “ponta do nariz” da curva PV da Figura 7.2. Os geradores das barras 1, 26, 31, 32, 33 e 34 têm índices negativos e é resultado do alto carregamento que chega à barra 29 e da deterioração do perfil de tensão no sistema.

Não são mostrados os índices de tensão da barra de geração 26 porque esta é fictícia, isto é, representa o equivalente da rede externa, e assim, o cálculo dos índices não teria sentido.

Tabela 7.1 - Índices de Estabilidade de Tensão no Caso-Base para o Ponto de Operação S34_A06
Considerando a Barra 34 *Swing*

Barra	Número- Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,030	GL	1	34,815	-104,9	-8,1	-401,4
2	BUS--002-500	1,012	P	0	0,000	31,6	166,1	---
3	BUS--003-500	1,010	P	0	0,000	30,7	166,0	---
4	BUS--004-750	0,951	R	0	0,000	22,4	165,8	100,0
5	BUS--005-750	0,916	R	0	0,000	15,4	177,9	100,0
6	BUS--006-750	0,915	R	0	0,000	15,4	177,9	100,0
7	BUS--007-750	0,932	R	0	0,000	12,6	172,3	100,0
8	BUS--008-750	0,986	R	0	0,000	36,4	172,6	100,0
9	BUS--009-750	0,987	R	0	0,000	36,4	172,6	100,0
10	BUS--010-750	0,906	R	0	0,000	9,3	176,4	100,0
11	BUS--011-750	0,921	P	0	0,000	18,8	175,0	---
12	BUS--012-750	0,922	P	0	0,000	18,7	175,0	---
13	BUS--013-750	0,882	R	0	0,000	9,0	178,3	100,0
14	BUS--014-500	0,966	P	0	0,000	10,7	178,5	---
15	BUS--015-500	0,876	P	0	0,000	14,4	169,7	---
16	BUS--016-500	0,879	P	0	0,000	14,7	169,4	---
17	BUS--017-500	0,999	L	0	0,044	56,2	142,5	99,9
18	BUS--018-500	1,037	P	0	0,000	66,1	142,2	---
19	BUS--019-500	1,050	L	0	14,998	58,5	147,3	74,4
20	BUS--020-500	1,052	P	0	0,000	57,5	146,3	---
21	BUS--021-500	1,074	LR	0	0,028	101,6	122,0	100,0
22	BUS--022-500	1,075	LR	0	0,024	59,5	125,3	100,0
23	BUS--023-500	1,066	LR	0	6,890	35,5	121,7	80,6
24	BUS--024-500	1,037	P	0	0,000	19,6	178,9	---
25	BUS--025-500	1,093	L	0	66,017	81,4	178,9	18,8
27	BUS--027-500	0,991	P	0	0,000	12,7	178,5	---
28	BUS--028-345	0,869	P	0	0,000	8,2	178,4	---
29	BUS--029-345	0,878	L	0	34,707	35,7	178,5	2,7
30	BUS--030-345	0,929	P	0	0,000	10,5	168,1	---
31	BUS--031--20	1,007	GL	1	13,259	-21,4	-39,1	-261,5
32	BUS--032--20	1,058	G	1	12,69	25,8	122,9	50,7
33	BUS--033--20	1,059	G	1	12,918	11,2	-155,2	-13,1
34*	BUS--034--20	1,049	G	2	14,973	-87,4	-89,1	-683,8

* Índices S_m, β e M avaliados considerando a barra 26 como *swing*

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

7.3

Identificação da Barra de Geração Crítica

Como o interesse é o reforço das condições de segurança de tensão nas barras de tensão controlada 1, 31, 32, 33 e 34, escolhe-se a barra 26 como nova barra *swing* em todas as iterações do procedimento de reforço porque isso propicia um cenário mais pessimista (índices mais negativos) do que com a barra 34 como *swing*. Coincidentemente a barra 26 é fictícia. Se a barra 34 continuasse sendo a *swing*, pode-se verificar que com uma 1ª iteração seria suficiente para colocar

todos os índices β e M das barras positivos. Isto porque a alteração do perfil de tensão na 1ª iteração produz uma grande diminuição da injeção de potência na barra *swing* 34, que foi a responsável por atender às variações de carga da barra 29. A idéia é estressar mais o sistema no caso-base através da escolha de uma nova barra *swing* e fazer que o método de reforço seja mais exigido, em uma região de operação mais limitada.

Na Tabela 7.2 é mostrada a avaliação das condições nodais de carregamento do ponto de operação correspondente ao caso-base considerando-se agora a barra 26 como *swing*. Observa-se todas as barras operando com índices β e M negativos, exceto 24, 25, 27 e 29 que se encontram eletricamente bem próximos a esta nova barra *swing*.

Uma comparação entre os valores das Tabelas 7.1 e 7.2 mostra a importância da escolha da barra *swing*. Esse assunto foi tratado em [Prada, R.B., dos Santos, J.O.R., Greenhalgh, A.B., Seelig, B.H.T., Palomino, E.G.C., 2001 e de Castro, M.R.V., 2007] e precisa ser tratado adequadamente quando do estabelecimento da ferramenta computacional resultante deste trabalho.

Valores negativos em barras de tensão controlada indicam uma relação oposta à usual entre a potência reativa injetada e a tensão controlada. Operação na região inferior da curva SV poderia levar o sistema ao colapso de tensão, porque ações automáticas de controle de tensão podem ter efeito oposto ao esperado, como já dito.

Observa-se que entre as barras de geração, a barra 34 tem os piores índices com $\beta=-89,1^\circ$ e $M=-683,8\%$. Isso já era esperado, pois o caso foi criado a partir do incremento de carga na barra 29 e correspondente aumento de geração na barra 34.

Tabela 7.2 - Índices de Estabilidade de Tensão no Caso-Base para o Ponto de Operação S34_A06
Considerando a Barra 26 *Swing*

Barra	Número- Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,028	GL	-1	34,87	9,2	-24,1	-73,8
2	BUS--002-500	1,009	P	0	0	-35,5	-25,2	---
3	BUS--003-500	1,008	P	0	0	-35,6	-25,2	---
4	BUS--004-750	0,949	R	0	0	-37,3	-25,6	100,0
5	BUS--005-750	0,912	R	0	0	-565	-0,3	100,0
6	BUS--006-750	0,912	R	0	0	-597	-0,3	100,0
7	BUS--007-750	0,929	R	0	0	-49	-30,5	100,0
8	BUS--008-750	0,984	R	0	0	-200	-0,8	100,0
9	BUS--009-750	0,985	R	0	0	-198	-0,8	100,0
10	BUS--010-750	0,903	R	0	0	-60,9	-59,3	100,0
11	BUS--011-750	0,918	P	0	0	-284	-0,5	---
12	BUS--012-750	0,918	P	0	0	-279	-0,5	---
13	BUS--013-750	0,879	R	0	0	-125	-91,5	100,0
14	BUS--014-500	0,964	P	0	0	-417	-93,4	---
15	BUS--015-500	0,873	P	0	0	-50	-30,1	---
16	BUS--016-500	0,876	P	0	0	-50,4	-30	---
17	BUS--017-500	0,998	L	0	0,044	-90,3	-45,4	-205327,3
18	BUS--018-500	1,037	P	0	0	-98,8	-54,8	---
19	BUS--019-500	1,049	L	0	15	-91,5	-50,1	-710,1
20	BUS--020-500	1,052	P	0	0	-93,6	-52,6	---
21	BUS--021-500	1,074	LR	0	0,028	-98,1	-84,9	-350457,1
22	BUS--022-500	1,075	LR	0	0,024	-77,9	-90,9	-324683,3
23	BUS--023-500	1,066	LR	0	6,89	-136	-164	-2066,5
24	BUS--024-500	1,036	P	0	0	732,4	80,4	---
25	BUS--025-500	1,093	L	0	66,02	2881	91,3	97,7
27	BUS--027-500	0,989	P	0	0	318,9	82,2	---
28	BUS--028-345	0,866	P	0	0	-211	-84,9	---
29	BUS--029-345	0,876	L	0	34,71	2387	1,9	98,5
30	BUS--030-345	0,925	P	0	0	-44,3	-79,7	---
31	BUS--031--20	1,007	GL	1	13,25	-58,3	-96,9	-539,8
32	BUS--032--20	1,058	G	1	12,71	-68,4	-93,2	-638,6
33	BUS--033--20	1,059	G	1	12,94	-70,6	-98,3	-645,7
34	BUS--034--20	1,049	G	1	14,97	-87,4	-89,1	-683,8

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

7.4

Identificação da Sub-Rede

Executando o fluxo de carga no caso-base (barra *swing* 26) do diagrama unifilar mostrado na Figura 7.1 é fácil verificar na Figura 7.3 que a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 34 chega até as barras de carga 17, 19, 21, 22, 23, 25, e 29. Obviamente, se fosse de interesse,

Figura 7.3 - Identificação da Sub-Rede do Sistema-Teste de 34 Barras

Identificação dos Caminhos de Transmissão e do Caminho mais Carregado

Os quatro caminhos mais carregados de transmissão conectam o gerador 34 à barra de carga 29. Era de esperar, porque, como já dito, o ponto de operação do caso-base foi obtido simulando-se aumentos de carga na barra 29 e o respectivo aumento de geração, assim como os acréscimos nas perdas de transmissão, foram atendidas pelo gerador da barra 34. Observa-se que o pior caminho de transmissão é composto pelos ramos que ligam as barras 34, 21, 17, 16, 30, 28, 29 porque tem a margem mais negativa com $M=-434,57\%$.

Tabela 7.3 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 34 para o Ponto de Operação S34_A06

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	17	16	30	28	29
									MÓDULO	ÂNGULO				
									0,1303	90,3335				
									0,1299	-28,8063				
									0,0296	172,4378				
									MÓDULO	ÂNGULO				
									1,0490	21,7507				
									0,8798	-64,0665				
									3,2044	-41,5522				
									ATIVA	REATIVA	APARENTE			
									14,4398	3,8882	14,9542			
									33,0112	-8,8206	34,1694			
									77,1904	20,7848	79,9398			
									S_i	S_m	M(%)			
									14,95	79,94	-434,57			
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	22	19	16	30	28
29									MÓDULO	ÂNGULO				
									0,1397	87,1302				
									0,1353	-22,9188				
									0,0288	172,6514				
									MÓDULO	ÂNGULO				
									1,0490	21,7507				
									0,8798	-64,0665				
									2,7587	-38,2620				
									ATIVA	REATIVA	APARENTE			
									14,4398	3,8882	14,9542			
									33,0112	-8,8206	34,1694			
									61,2936	16,5043	63,4767			
									S_i	S_m	M(%)			
									14,95	63,48	-324,48			
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	17	16	15	7	8
10	11	13	14	24	27	29			MÓDULO	ÂNGULO				
									0,0451	62,8976				
									0,0693	-153,0662				
									0,0199	-75,4031				
									MÓDULO	ÂNGULO				
									1,0490	21,7507				
									0,8798	-64,0665				
									1,0528	21,4939				
									ATIVA	REATIVA	APARENTE			
									14,4398	3,8882	14,9542			
									1,2290	14,4347	14,4869			
									14,4293	3,8853	14,9433			

ÍNDICES							S _i 14,95	S _m 14,96	M(%) -0,07				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						34	21	22	19	16	15	7
8	10	11	13	28	29								
							MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0619	50,6662					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,1438	176,9507					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0256	-161,8471					
							MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR							1,0490	21,7507					
TENSÃO NA CARGA							0,8798	-64,0665					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							1,0611	20,6216					
							ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO							14,4398	3,8882	14,9542				
CARGA							33,0112	-8,8206	34,1694				
GERAÇÃO CRÍTICA							14,4399	3,8882	14,9542				
ÍNDICES							S _i 14,95	S _m 14,95	M(%) 0,00				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						34	21	22	19	16	15	7
8	10	11	13	14	24	25							
							MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0758	51,0227					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,1671	156,5502					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0463	142,6527					
							MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR							1,0490	21,7507					
TENSÃO NA CARGA							1,0935	-65,7902					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							1,0755	19,4581					
							ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO							14,4398	3,8882	14,9542				
CARGA							22,7736	-36,9179	43,3771				
GERAÇÃO CRÍTICA							14,4631	3,8944	14,9782				
ÍNDICES							S _i 14,95	S _m 14,98	M(%) 0,16				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						34	21	17	16	15	7	8
10	11	13	14	24	25								
							MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0608	51,6938					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0978	169,7068					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0537	151,9982					
							MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR							1,0490	21,7507					
TENSÃO NA CARGA							1,0935	-65,7902					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							1,0094	24,7873					
							ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO							14,4398	3,8882	14,9542				
CARGA							22,7736	-36,9179	43,3771				
GERAÇÃO CRÍTICA							14,4959	3,9033	15,0123				

									S _i		S _m		M(%)	
									14,95		15,01		0,39	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	17	16	15	7	8
10	11	13	28	29										
									MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0498		50,8220			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,0847		-177,7482			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,0250		-153,4219			
									MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR									1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA									0,8798		-64,0665			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO									0,9984		25,9737			
									ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO									14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA									33,0112		-8,8206		34,1694	
GERAÇÃO CRÍTICA									14,5525		3,9185		15,0708	
									S _i		S _m		M(%)	
ÍNDICES									14,95		15,07		0,77	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	22	19	16	15	7
8	10	11	13	14	24	27	29							
									MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0569		60,1925			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,1169		-156,1078			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,0228		-78,6998			
									MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR									1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA									0,8798		-64,0665			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO									1,1333		16,0685			
									ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO									14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA									1,2290		14,4347		14,4869	
GERAÇÃO CRÍTICA									14,6431		3,9429		15,1646	
									S _i		S _m		M(%)	
ÍNDICES									14,95		15,16		1,39	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							34	21	22	23			
									MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0535		92,9102			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,1236		19,8139			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,2398		-41,6016			
									MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR									1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA									1,0667		4,8101			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO									0,9223		45,7923			
									ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO									14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA									2,6050		2,2001		3,4098	
GERAÇÃO CRÍTICA									18,4235		4,9608		19,0797	

				S_i	S_m	$M(\%)$
ÍNDICES				14,95	19,08	21,62
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	23		
				MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0494	91,3759	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,1302	21,6871	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,2596	-55,9005	
				MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR				1,0490	21,7507	
TENSÃO NA CARGA				1,0667	4,8101	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,9151	47,9351	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO				14,4398	3,8882	14,9542
CARGA				4,1778	2,4216	4,8289
GERAÇÃO CRÍTICA				19,4263	5,2309	20,1182
ÍNDICES				S_i	S_m	$M(\%)$
				14,95	20,12	25,67
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	22	19	
				MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0435	91,5285	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,1458	20,2479	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,2329	-42,1829	
				MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR				1,0490	21,7507	
TENSÃO NA CARGA				1,0500	4,7612	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,9009	49,2956	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO				14,4398	3,8882	14,9542
CARGA				3,9100	2,2485	4,5104
GERAÇÃO CRÍTICA				20,3669	5,4841	21,0923
ÍNDICES				S_i	S_m	$M(\%)$
				14,95	21,09	29,10
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	17		
				MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0323	91,2220	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,1458	10,2349	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,2004	-44,6259	
				MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR				1,0490	21,7507	
TENSÃO NA CARGA				0,9991	9,1583	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,8888	55,1092	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO				14,4398	3,8882	14,9542
CARGA				3,5044	4,4110	5,6336
GERAÇÃO CRÍTICA				24,9551	6,7196	25,8439
				S_i	S_m	$M(\%)$

	ÍNDICES	14,95	25,84	42,14
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	22
		MÓDULO	ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0244	89,6766	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1962	44,1466	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2544	-32,7211	
		MÓDULO	ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR	1,0490	21,7507	
	TENSÃO NA CARGA	1,0756	8,7554	
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8603	59,1220	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
	GERAÇÃO	14,4398	3,8882	14,9542
	CARGA	6,5757	0,0382	6,5758
	GERAÇÃO CRÍTICA	31,9954	8,6153	33,1351
		S_i	S_m	M(%)
	ÍNDICES	14,95	33,14	54,87
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	
		MÓDULO	ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0120	89,1680	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2107	89,1680	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2227	-90,8320	
		MÓDULO	ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR	1,0490	21,7507	
	TENSÃO NA CARGA	1,0746	12,9358	
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8437	65,8870	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
	GERAÇÃO	14,4398	3,8882	14,9542
	CARGA	14,4063	1,5791	14,4926
	GERAÇÃO CRÍTICA	60,4857	16,2868	62,6400
		S_i	S_m	M(%)
	ÍNDICES	14,95	62,64	76,13

7.6

Determinação do Ramo Crítico do Caminho mais Carregado

O objetivo agora é determinar analiticamente o ramo crítico do caminho de transmissão mais carregado: 34, 21, 17, 16, 30, 28, 29, definido na seção anterior. A idéia é analisar os sub-caminhos que começam no gerador 34 incluindo um novo ramo de cada vez. Portanto, o 1º sub-caminho a ser analisado sai da barra de geração 34 para a barra 21. Uma inspeção dos resultados na Tabela 7.4 mostra que a margem na barra 34 encontra-se bem afastada do ponto de geração crítica com margem positiva $M=+76,13\%$. A seguir, inclui-se um novo ramo e, conseqüentemente, o 2º sub-caminho a ser analisado vai da

barra 34 para a barra 21 e para a barra 17. Mais uma vez, os resultados da Tabela 7.4 mostram que a margem na barra de geração 34 encontra-se "folgada" e o ponto de operação encontra-se na parte superior da curva SV.

Seqüencialmente, vai-se incluindo novos ramos até que na 6ª e última adição inclui-se o ramo da barra 28 para a barra 29. Na Tabela 7.4, observando-se a margem para todos os sub-caminhos de transmissão, verifica-se que não houve problema em transferir potência a partir do gerador 34 para as barras 21, 17, 16, 30, já que as margens são positivas. Observa-se margem negativa somente quando da adição do 5º ramo, entre as barras 30 e 28, e quando da adição do 6º e último ramo, entre as barras 28 e 29. Comparando-se as margens, conclui-se que a margem mais negativa ocorre quando da adição do ramo entre as barras 28 e 29. Esse é então o ramo crítico que deveria ter seu fluxo de potência diminuído.

Tabela 7.4 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 34 para o Ponto de Operação S34_A06

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21			
			MÓDULO	ÂNGULO		
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0120	89,1680		
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2107	89,1680		
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,2227	-90,8320		
			MÓDULO	ÂNGULO		
	TENSÃO NO GERADOR		1,0490	21,7507		
	TENSÃO NA CARGA		1,0746	12,9358		
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8437	65,8870		
			ATIVA	REATIVA	APARENTE	
	GERAÇÃO		14,4398	3,8882	14,9542	
	CARGA		14,4063	1,5791	14,4926	
	GERAÇÃO CRÍTICA		60,4857	16,2868	62,6400	
			S_i	S_m	$M(\%)$	
	ÍNDICES		14,95	62,64	76,13	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	17		
			MÓDULO	ÂNGULO		
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0323	91,2220		
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1458	10,2349		
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,2004	-44,6259		
			MÓDULO	ÂNGULO		
	TENSÃO NO GERADOR		1,0490	21,7507		
	TENSÃO NA CARGA		0,9991	9,1583		
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8888	55,1092		

			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO			14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA			3,5044		4,4110		5,6336	
GERAÇÃO CRÍTICA			24,9551		6,7196		25,8439	
			S _i		S _m		M(%)	
ÍNDICES			14,95		25,84		42,14	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	17	16			
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0474		81,2297			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,3845		-31,9917			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,1083		-149,2785			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA			0,8802		-12,8184			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,9276		40,7058			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO			14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA			17,0240		1,6705		17,1058	
GERAÇÃO CRÍTICA			16,7864		4,5200		17,3843	
			S _i		S _m		M(%)	
ÍNDICES			14,95		17,38		13,98	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	17	16	30		
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0584		85,2788			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,2990		-16,5898			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,1712		-38,5239			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA			0,9302		-17,0673			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,9660		32,1939			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO			14,4398		3,8882		14,9542	
CARGA			6,3301		0,4958		6,3495	
GERAÇÃO CRÍTICA			15,0939		4,0643		15,6315	
			S _i		S _m		M(%)	
ÍNDICES			14,95		15,63		4,33	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	34	21	17	16	30	28	
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,1283		94,3833			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,1226		-26,8803			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,2357		-55,1336			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0490		21,7507			
TENSÃO NA CARGA			0,8705		-58,9846			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			3,0419		-40,1068			

				ATIVA		REATIVA		APARENTE		
GERAÇÃO				14,4398		3,8882		14,9542		
CARGA				5,5300		-1,5689		5,7482		
GERAÇÃO CRÍTICA				69,9362		18,8315		72,4271		
				S _i		S _m		M(%)		
ÍNDICES				14,95		72,43		-384,33		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:			34	21	17	16	30	28	29
				MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,1303		90,3335				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,1299		-28,8063				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0296		172,4378				
				MÓDULO		ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR				1,0490		21,7507				
TENSÃO NA CARGA				0,8798		-64,0665				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				3,2044		-41,5522				
				ATIVA		REATIVA		APARENTE		
GERAÇÃO				14,4398		3,8882		14,9542		
CARGA				33,0112		-8,8206		34,1694		
GERAÇÃO CRÍTICA				77,1904		20,7848		79,9398		
				S _i		S _m		M(%)		
ÍNDICES				14,95		79,94		-434,57		

7.7

Minimização do Fluxo de Potência no Ramo Crítico de Transmissão

Da Tabela 7.3 sabe-se que o caminho de transmissão mais carregado que sai do gerador crítico no caso-base é aquele que envolve as barras 34, 21, 17, 16, 30, 28, 29 por apresentar margem negativa e de maior módulo na barra 34 e, conseqüentemente, da Tabela 7.4 sabe-se que o ramo crítico é o que conecta as barras 28 e 29.

Na 1ª iteração do procedimento de reforço das condições de estabilidade de tensão permite-se somente a alteração do perfil de tensão. O redespacho de potência ativa é proibido através da fixação de geração de potência ativa, exceto da barra de geração 26 que é responsável por fechar o balanço e absorver a variação das perdas ativas. Nas outras iterações do procedimento de reforço, pode-se minimizar o fluxo através do redespacho de potência ativa e reativa. Toda vez que um novo gerador crítico é identificado, o processo de otimização deve recomeçar com a alteração do perfil de tensão, como já dito. Essa é a política aqui escolhida para início dos testes.

Quando trata-se do redespacho de potência ativa e reativa, a minimização do fluxo de potência no ramo crítico inclui a imposição de limites de geração fictícios ao redor do ponto de operação analisado (para evitar que o fluxo de potência no ramo seja “totalmente minimizado” chegando até inverter seu sentido). Considera-se $\pm 10\%$ a variação possível ao redor do valor de geração, exceto da barra de geração 26 que é fixada. É usado o ponto de operação de cada etapa de reforço para calcular os novos limites fictícios para a etapa seguinte. Obviamente, os limites físicos dos geradores devem ser respeitados.

Usando-se a política de selecionar um único ramo crítico pertencente somente ao pior caminho de transmissão que sai do gerador crítico, a idéia é diminuir este fluxo de potência ativa no ramo 28-29 até que a margem de potência na barra de geração 34, identificada como crítica na Tabela 7.2, seja o maior possível. O interesse está na barra 34, mas entende-se que, a cada etapa do procedimento para reforço da barra com menor margem, uma barra considerada inicialmente crítica pode deixar de sê-la. Logo, continua-se com a mesma idéia de reforço cada vez que um novo gerador crítico é identificado através da diminuição do fluxo do seu correspondente ramo crítico.

Com a finalidade de demonstrar o funcionamento do método de reforço são permitidas variações de tensão entre 0,95 e 1,10 pu.

A etapa de reforço pára quando o usuário considera as margens de potência aceitáveis nas barras de interesse ou quando não existe mais uma melhor solução em alguma iteração de reforço.

7.7.1

Função MXTR

A minimização do fluxo no ramo de transmissão escolhido é feita automaticamente por esta função. Quando for procurado o redespacho reativo, a geração da barra *swing* 26 é a única livre para variar. Por outro lado, quando for procurado o redespacho ativo, aceita-se $\pm 10\%$ de variação ao redor do valor de geração de todas as barras, exceto da barra de geração 26 que é fixada, como já dito.

7.7.1.1

Minimização do Fluxo em Termos de MW

Após a 1ª Iteração

Os fluxos que entram e saem no ramo 28-29 são mostrados na Figura 7.4. Embora a função-objetivo fosse minimizar o fluxo de potência ativa no ramo 28-29 através do redespacho reativo, houve um acréscimo de 3297,1 para 3376,7 MW no fluxo que chega à barra 29. Este resultado se deve à necessidade de eliminação das tensões violadas no caso-base.

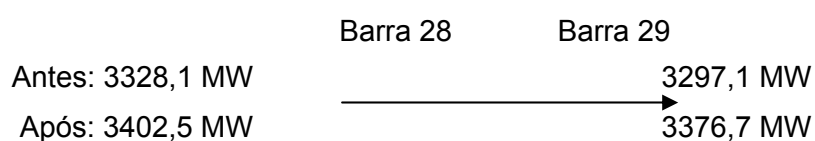


Figura 7.4 - Fluxo no Ramo 28-29 Antes e Após a 1ª Iteração com a Função MXTR

Na Tabela 7.5 são mostrados os índices β e M após a alteração do perfil de tensão. Todas as barras passaram a operar na região superior da curva SV, inclusive a barra 34, exceto a barra de geração 1 que tem $\beta=-6,7^\circ$ e $M=-16,0\%$. Portanto, o novo gerador crítico é o de número 1.

Tabela 7.5 - Índices de Estabilidade de Tensão Após a 1ª Iteração com a Função MXTR

Barra	Número- Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,099	GL	1	34,084	28,6	-6,7	-16,0
2	BUS--002-500	1,091	P	0	0	90,5	26,2	---
3	BUS--003-500	1,088	P	0	0	86,0	25,9	---
4	BUS--004-750	1,029	R	0	0	76,5	24,2	100,0
5	BUS--005-750	1,001	R	0	0	83,7	19,0	100,0
7	BUS--007-750	1,020	R	0	0	70,5	21,9	100,0
8	BUS--008-750	1,060	R	0	0	88,6	18,0	100,0
10	BUS--010-750	0,997	R	0	0	72,0	29,1	100,0
11	BUS--011-750	1,009	P	0	0	69,5	21,2	---
13	BUS--013-750	0,950	R	0	0	101,8	51,0	100,0
14	BUS--014-500	1,017	P	0	0	141,7	68,2	---
15	BUS--015-500	0,950	P	0	0	60,4	23,7	---
16	BUS--016-500	0,953	P	0	0	59,6	23,8	---
17	BUS--017-500	1,019	L	0	0,044	61,0	35,6	99,9
18	BUS--018-500	1,067	P	0	0	63,1	41,9	---
19	BUS--019-500	1,082	L	0	14,998	62,9	40,4	76,2
20	BUS--020-500	1,085	P	0	0	60,5	41,8	---
21	BUS--021-500	1,036	LR	0	0,028	44,2	57,9	99,9
22	BUS--022-500	1,060	LR	0	0,024	35,9	65,3	99,9
23	BUS--023-500	1,039	LR	0	6,89	22,6	85,9	69,5
24	BUS--024-500	1,060	P	0	0	463,3	87,5	---
25	BUS--025-500	1,098	L	0	66,017	2363,3	93,2	97,2
27	BUS--027-500	1,028	P	0	0	208,1	91,9	---
28	BUS--028-345	0,950	P	0	0	94,2	83,4	---
29	BUS--029-345	0,952	L	0	34,707	104,2	101,5	66,7
30	BUS--030-345	1,014	P	0	0	37,1	41,5	---
31	BUS--031--20	1,010	GL	1	13,537	27,4	42,6	50,6
32	BUS--032--20	1,095	G	1	13,019	32,8	52,6	60,3
33	BUS--033--20	1,098	G	1	13,249	32,0	49,6	58,6
34	BUS--034--20	0,958	G	1	14,462	22,7	44,7	36,2

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

Após a 1ª iteração, a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 1 chega até as barras de carga 25 e 29, como pode-se observar na Figura 7.5.

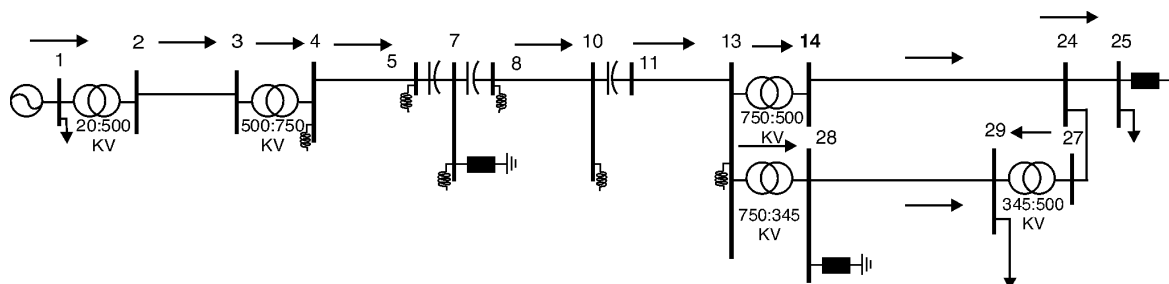


Figura 7.5 - Identificação da Sub-Rede Após a 1ª Iteração com a Função MXTR

Na Tabela 7.6 são analisados todos os caminhos que transmitem potência ativa às barras de carga a partir do novo geradora crítico 1. Nota-se que o caminho mais carregado é: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 28, 29 por apresentar o menor índice, ou seja, $M=0,29\%$.

Tabela 7.6 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 1 para o Ponto de Operação Após a 1ª Iteração com a Função MXTR

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 28 29							
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0222		86,2097			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0599		-116,4623			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0638		-68,8435			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-5,5115			
	TENSÃO NA CARGA		0,9520		-63,8004			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		1,0625		-3,2610			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9208		8,8392		34,0868	
	CARGA		33,7667		-5,3832		34,1931	
	GERAÇÃO CRÍTICA		33,0162		8,8648		34,1855	
			S_i		S_m		$M(\%)$	
	ÍNDICES		34,09		34,19		0,29	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14 24 25							
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0279		89,6971			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0876		-110,5515			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0845		14,3665			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-5,5115			
	TENSÃO NA CARGA		1,0978		-65,8933			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		1,1596		-8,7712			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9208		8,8392		34,0868	
	CARGA		23,7256		-25,5926		34,8982	
	GERAÇÃO CRÍTICA		33,1157		8,8915		34,2886	
			S_i		S_m		$M(\%)$	
	ÍNDICES		34,09		34,29		0,59	

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27	29								
								MÓDULO		ÂNGULO				
							IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0300		105,6565				
							IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0531		-63,0854				
							IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0263		-24,7598				
								MÓDULO		ÂNGULO				
							TENSÃO NO GERADOR	1,0990		-5,5115				
							TENSÃO NA CARGA	0,9520		-63,8004				
							TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,6682		-26,0528				
								ATIVA		REATIVA		APARENTE		
							GERAÇÃO	32,9208		8,8392		34,0868		
							CARGA	0,4910		10,9972		11,0081		
							GERAÇÃO CRÍTICA	41,1612		11,0517		42,6191		
								S_i		S_m		M(%)		
							ÍNDICES	34,09		42,62		20,02		

A partir do gerador crítico 1 inclui-se um ramo de cada vez para a determinação do ramo crítico. Os resultados da análise são apresentados na Tabela 7.7. Verifica-se que o ramo 28-29 continua sendo o crítico porque quando é inserido produz a menor margem na barra de geração 1, quando comparado com a inserção de outros ramos.

Tabela 7.7 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 1 Após a 1ª Iteração com a Função MXTR

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2					
								MÓDULO		ÂNGULO				
							IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0035		90,0000	-			
							IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2535		90,0000				
							IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2570		-90,0000				
								MÓDULO		ÂNGULO				
							TENSÃO NO GERADOR	1,0990		-5,5115				
							TENSÃO NA CARGA	1,0910		-11,1033				
							TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8840		41,4114				
								ATIVA		REATIVA		APARENTE		
							GERAÇÃO	32,9208		8,8392		34,0868		
							CARGA	32,9208		5,4722		33,3725		
							GERAÇÃO CRÍTICA	215,6514		57,9022		223,2895		
								S_i		S_m		M(%)		
							ÍNDICES	34,09		223,29		84,73		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2	3				
								MÓDULO		ÂNGULO				
							IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0040		89,8603				
							IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2910		89,8513				
							IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2617		-90,1318				

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	1,0882	-11,8949
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8832	40,6896

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	32,9122	5,5153	33,3711
GERAÇÃO CRÍTICA	189,0041	50,7474	195,6984

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	195,70	82,58

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:

1

2

3

4

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0055	89,9018
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1559	-90,0948
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,1620	89,8980

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	1,0292	-14,6716
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8774	37,8922

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	32,9134	3,8886	33,1423
GERAÇÃO CRÍTICA	131,0934	35,1984	135,7365

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	135,74	74,89

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:

1

2

3

4

5

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0149	88,4739
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2353	-90,4749
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,1250	-89,7421

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	1,0005	-31,6825
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8939	21,5598

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	32,5112	6,1903	33,0953
GERAÇÃO CRÍTICA	48,5652	13,0397	50,2853

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	50,29	32,21

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:

1

2

3

4

5

7

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0114	87,9625
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,3835	-89,7500
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,1533	-90,0989

		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0990	-5,5115	
TENSÃO NA CARGA		1,0198	-24,8192	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8849	28,6792	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO		32,9208	8,8392	34,0868
CARGA		32,5125	7,1863	33,2972
GERAÇÃO CRÍTICA		64,2810	17,2594	66,5577

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	66,56	48,79

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0078	94,0177
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0940	2,2507
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0309	-162,0560

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	1,0602	-13,4183
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8775	34,7203

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	54,9405	16,5167	57,3695
GERAÇÃO CRÍTICA	95,7677	25,7135	99,1596

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	99,16	65,62

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0149	83,7290
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1444	-143,3808
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0506	-148,4717

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	0,9965	-36,5280
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8943	21,4459

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	53,9949	2,4882	54,0522
GERAÇÃO CRÍTICA	48,3802	12,9900	50,0938

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	50,09	31,95

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0106	87,2319
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2959	-58,2717
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0413	-164,0002

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	1,0088	-22,2864
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8948	31,0127

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	53,9970	9,4588	54,8192
GERAÇÃO CRÍTICA	70,7192	18,9880	73,2239

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	73,22	53,45

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0180	80,7152
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0729	-139,1930
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0457	-132,1238

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	0,9500	-51,3720
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,9264	11,3050

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	52,8486	-1,7003	52,8759
GERAÇÃO CRÍTICA	38,1143	10,2336	39,4642

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	39,46	13,63

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13 28

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0208	85,5260
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0635	-120,5878
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0485	-53,2722

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115
TENSÃO NA CARGA	0,9502	-59,4486
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,0050	1,0867

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	28,1832	-2,0295	28,2562
GERAÇÃO CRÍTICA	33,7074	9,0504	34,9013

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	34,90	2,33

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13 28 29

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0222	86,2097	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0599	-116,4623	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0638	-68,8435	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-5,5115	
TENSÃO NA CARGA	0,9520	-63,8004	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,0625	-3,2610	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9208	8,8392	34,0868
CARGA	33,7667	-5,3832	34,1931
GERAÇÃO CRÍTICA	33,0162	8,8648	34,1855
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	34,09	34,19	0,29

Assim, após a 1ª iteração, o novo gerador crítico é o 1 e o ramo crítico é o 28-29.

Após a 2ª Iteração

Tentou-se seguir a política de reforço que diz que o processo de otimização deve re-começar através da alteração do perfil de tensão toda vez que um novo gerador crítico é identificado, mas aqui não foi possível encontrar uma melhor solução do que a anterior (1ª iteração) unicamente com o redespacho reativo.

Portanto, o redespacho de potência reativa e ativa é feito minimizando-se o fluxo em termos de MW no ramo crítico 28-29 para melhorar os índices da nova barra de geração crítica que é a 1. Os fluxos que entram e saem no ramo 28-29 são mostrados na Figura 7.6.

	Barra 28	Barra 29
Antes: 3402,5 MW	_____	3376,7 MW
Após: 3392,7 MW		3366,9 MW

Figura 7.6 - Fluxo no Ramo 28-29 Antes e Após a 2ª Iteração com a Função MXTR

Na Tabela 7.8 é mostrado que o gerador da barra 1 ainda apresenta índices negativos, embora melhores: $\beta = -5,2^\circ$ e $M = -10,5\%$.

Tabela 7.8 - Índices de Estabilidade de Tensão Após a 2ª Iteração com a Função MXTR

Barra	Número-Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,091	GL	1	32,348	35,74	-5,2	-10,5
2	BUS--002-500	1,098	P	0	0	100,6	30,9	---
3	BUS--003-500	1,098	P	0	0	96,0	30,7	---
4	BUS--004-750	1,046	R	0	0	86,3	29,1	100,0
5	BUS--005-750	1,068	R	0	0	99,8	24,7	100,0
7	BUS--007-750	1,068	R	0	0	82,7	27,5	100,0
8	BUS--008-750	1,100	R	0	0	101,6	23,2	100,0
10	BUS--010-750	1,048	R	0	0	84,4	34,9	100,0
11	BUS--011-750	1,056	P	0	0	81,5	26,7	---
13	BUS--013-750	0,994	R	0	0	115,8	55,3	100,0
14	BUS--014-500	1,048	P	0	0	155,5	70,2	---
15	BUS--015-500	0,951	P	0	0	71,6	29,6	---
16	BUS--016-500	0,955	P	0	0	70,5	29,9	---
17	BUS--017-500	1,057	L	0	0,044	71,9	43,8	99,9
18	BUS--018-500	1,081	P	0	0	72,3	50,7	---
19	BUS--019-500	1,090	L	0	14,998	71,2	49,8	78,9
20	BUS--020-500	1,092	P	0	0	68,6	51,1	---
21	BUS--021-500	1,073	LR	0	0,028	51,3	64,1	99,9
22	BUS--022-500	1,089	LR	0	0,024	41,2	70,8	99,9
23	BUS--023-500	1,074	LR	0	6,89	25,5	88,5	72,9
24	BUS--024-500	1,069	P	0	0	484,2	87,2	---
25	BUS--025-500	1,100	L	0	66,017	2388,2	93,0	97,2
27	BUS--027-500	1,034	P	0	0	218,9	91,1	---
28	BUS--028-345	0,950	P	0	0	104,5	83,3	---
29	BUS--029-345	0,953	L	0	34,707	112,8	100,1	69,2
30	BUS--030-345	1,019	P	0	0	42,1	49,7	---
31	BUS--031--20	1,093	GL	1	12,229	33,3	52,0	63,3
32	BUS--032--20	1,083	G	1	11,369	34,7	58,9	67,2
33	BUS--033--20	1,079	G	1	11,547	33,5	56,6	65,6
34	BUS--034--20	0,997	G	1	13,393	24,8	51,9	46,0

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

Após a 2ª iteração, a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 1 chega até as barras de carga 25 e 29, como pode ser verificado na Figura 7.7.

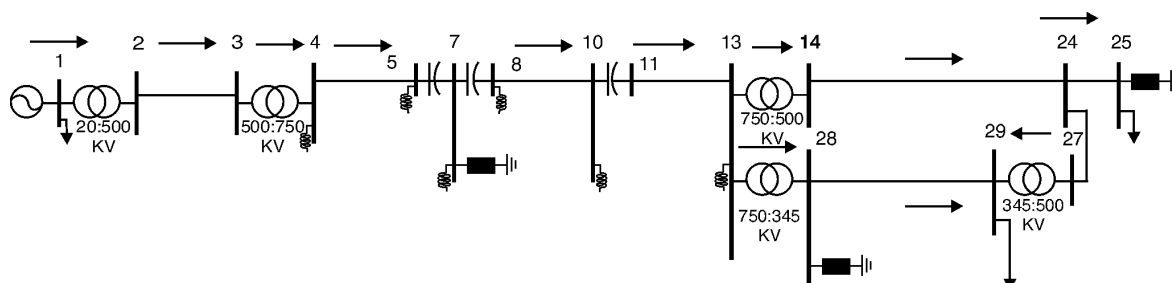


Figura 7.7 - Identificação da Sub-Rede Após a 2ª Iteração com a Função MXTR

Na Tabela 7.9 são mostrados os resultados da análise de todos os caminhos que transmitem potência ativa às barras de carga a partir do gerador crítico 1.

Nota-se que o caminho mais carregado é: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 24, 27, 29 por apresentar o menor índice, ou seja, $M = -75,47\%$.

Tabela 7.9 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 1 para o Ponto de Operação Após a 2ª Iteração com a Função MXTR

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27	29							
							MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0292		106,4184				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0428		-60,8849				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0265		-24,6132				
							MÓDULO		ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR							1,0910		-7,4114				
TENSÃO NA CARGA							0,9534		-63,9014				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							2,1258		-35,7580				
							ATIVA		REATIVA		APARENTE		
GERAÇÃO							32,0520		4,3309		32,3411		
CARGA							0,5883		11,6724		11,6872		
GERAÇÃO CRÍTICA							56,3428		6,7665		56,7477		
							S_i		S_m		$M(\%)$		
ÍNDICES							32,34		56,75		-75,47		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	28	29									
							MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0211		87,3000				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0501		-105,5355				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0675		-60,4579				
							MÓDULO		ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR							1,0910		-7,4114				
TENSÃO NA CARGA							0,9534		-63,9014				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							1,1349		-9,6174				
							ATIVA		REATIVA		APARENTE		
GERAÇÃO							32,0520		4,3309		32,3411		
CARGA							33,6694		-6,0584		34,2102		
GERAÇÃO CRÍTICA							36,1672		4,3435		36,4271		
							S_i		S_m		$M(\%)$		
ÍNDICES							32,34		36,43		11,22		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	25								
							MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0267		90,9024				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0680		-96,3931				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0807		1,2840				
							MÓDULO		ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR							1,0910		-7,4114				

TENSÃO NA CARGA	1,0996	-65,8997	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,2824	-15,5995	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	23,7145	-21,5549	32,0467
GERAÇÃO CRÍTICA	37,5481	4,5094	37,8179
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	37,82	14,48

Na Tabela 7.10 é verificado que o novo ramo crítico é o 27-29 porque quando é incluído no caminho de transmissão mais carregado produz a menor margem na barra de geração 1, quando comparado com a inserção de outros ramos.

Tabela 7.10 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 1 Após a 2ª Iteração com a Função MXTR

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2		
		MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0035	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2535	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,2570	-90,0000	
		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA		1,0985	-13,5419	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8162	34,8822	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO		32,0520	4,3309	32,3411
CARGA		36,0620	0,4517	36,0648
GERAÇÃO CRÍTICA		188,9874	22,6965	190,3454
		S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES		32,34	190,35	83,01
*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	
		MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0040	89,8603	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2910	89,8513	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,2617	-90,1318	
		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA		1,0979	-14,3982	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8170	34,0957	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO		32,0520	4,3309	32,3411
CARGA		36,0499	0,4330	36,0525
GERAÇÃO CRÍTICA		166,2631	19,9674	167,4578
		S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES		32,34	167,46	80,68

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4			
				MÓDULO	ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0055	89,9018			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,1559	-90,0948			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,1620	89,8980			
				MÓDULO	ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR			1,0910	-7,4114			
	TENSÃO NA CARGA			1,0464	-17,3635			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,8179	31,1096			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
	GERAÇÃO			32,0520	4,3309	32,3411		
	CARGA			36,0536	-1,4318	36,0820		
	GERAÇÃO CRÍTICA			117,1100	14,0644	117,9515		
				S _i	S _m	M(%)		
	ÍNDICES			32,34	117,95	72,58		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5		
				MÓDULO	ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0149	88,4739			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,2353	-90,4750			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,1250	-89,7421			
				MÓDULO	ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR			1,0910	-7,4114			
	TENSÃO NA CARGA			1,0683	-34,6537			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,8731	14,4979			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
	GERAÇÃO			32,0520	4,3309	32,3411		
	CARGA			35,6060	1,1235	35,6237		
	GERAÇÃO CRÍTICA			47,6302	5,7202	47,9725		
				S _i	S _m	M(%)		
	ÍNDICES			32,34	47,97	32,58		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	
				MÓDULO	ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0114	87,9625			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,3836	-89,7500			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,1533	-90,0989			
				MÓDULO	ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR			1,0910	-7,4114			
	TENSÃO NA CARGA			1,0676	-27,9294			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,8467	21,4783			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
	GERAÇÃO			32,0520	4,3309	32,3411		
	CARGA			35,6110	1,8856	35,6609		
	GERAÇÃO CRÍTICA			60,5032	7,2662	60,9379		
				S _i	S _m	M(%)		
	ÍNDICES			32,34	60,94	46,93		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0079	92,4821	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1183	12,1323	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0365	-149,9857	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	1,0999	-17,4004	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8280	27,9169	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	55,1568	14,2099	56,9578
GERAÇÃO CRÍTICA	87,1426	10,4654	87,7688

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	87,77	63,15

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0147	84,4810	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1463	-130,8165	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0517	-135,2234	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	1,0477	-38,6161	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8748	14,3825	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	54,2883	2,9772	54,3699
GERAÇÃO CRÍTICA	47,4114	5,6939	47,7520

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	47,75	32,27

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0107	87,0929	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,3424	-57,4557	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0469	-150,3011	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	1,0561	-25,6303	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8500	23,7163	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	54,2888	8,1054	54,8905
GERAÇÃO CRÍTICA	65,5696	7,8746	66,0407

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	66,04	51,02

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0176	81,9852	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0714	-127,5247	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0436	-122,1656	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	0,9940	-52,1398	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,9353	4,6900	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	53,2325	0,8953	53,2400
GERAÇÃO CRÍTICA	39,1777	4,7051	39,4592
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	39,46	18,04

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13 14

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0210	86,2525	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0749	-115,3771	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0511	-43,2178	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	1,0480	-57,0337	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,0157	-2,7692	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	24,6966	-5,0181	25,2013
GERAÇÃO CRÍTICA	36,5196	4,3858	36,7820
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	32,34	36,78	12,07

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 1 2 3 4 5 7 8
10 11 13 14 24

	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0248	89,9517	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,0671	-99,6954	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,0592	-41,0221	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0910	-7,4114	
TENSÃO NA CARGA	1,0687	-63,7162	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,1988	-12,4734	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,0520	4,3309	32,3411
CARGA	24,4590	-7,2907	25,5225
GERAÇÃO CRÍTICA	36,6171	4,3975	36,8802
	S_i	S_m	M(%)

ÍNDICES						32, 34	36, 88	12, 31					
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27								
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE						MÓDULO	ÂNGULO						
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR						0,0259	94,9984						
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA						0,0579	-84,6868						
						0,0235	-35,7571						
						MÓDULO	ÂNGULO						
TENSÃO NO GERADOR						1,0910	-7,4114						
TENSÃO NA CARGA						1,0343	-63,6570						
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO						1,3489	-17,8597						
						ATIVA	REATIVA	APARENTE					
GERAÇÃO						32,0520	4,3309	32,3411					
CARGA						0,5882	12,7544	12,7679					
GERAÇÃO CRÍTICA						38,5000	4,6237	38,7766					
						S _i	S _m	M(%)					
ÍNDICES						32, 34	38, 78	16, 60					
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27	29							
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE						MÓDULO	ÂNGULO						
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR						0,0292	106,4184						
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA						0,0428	-60,8849						
						0,0265	-24,6132						
						MÓDULO	ÂNGULO						
TENSÃO NO GERADOR						1,0910	-7,4114						
TENSÃO NA CARGA						0,9534	-63,9014						
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO						2,1258	-35,7580						
						ATIVA	REATIVA	APARENTE					
GERAÇÃO						32,0520	4,3309	32,3411					
CARGA						0,5883	11,6724	11,6872					
GERAÇÃO CRÍTICA						56,3428	6,7665	56,7477					
						S _i	S _m	M(%)					
ÍNDICES						32, 34	56, 75	-75, 47					

Assim, após a 2ª iteração, o gerador crítico continua sendo o 1 e o novo ramo crítico passou a ser o 27-29.

Após a 3ª iteração

Foi feito, pela segunda vez consecutiva o redespacho de potência reativa e ativa minimizando-se desta vez o fluxo, em termos de MW, no ramo crítico 27-29 para melhorar os índices da barra de geração 1. Os fluxos que entram e saem no ramo 28-29 são mostrados na Figura 7.8.

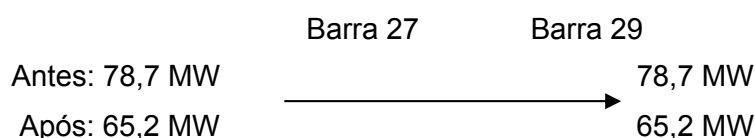


Figura 7.8 - Fluxo no Ramo 27-29 Antes e Após a 3ª Iteração com a Função MXTR

É mostrado na Tabela 7.11 que todos os índices das barras são positivos, inclusive, a barra de geração 1 com índices: $\beta=+1,9^\circ$ e $M=+4,7\%$. Em princípio, o processo pode ser interrompido neste ponto, com a obtenção de índices positivos em todas as barras. O processo pode continuar se for julgado que esses índices são "pequenos", embora positivos.

Tabela 7.11 - Índices de Estabilidade de Tensão Após a 3ª Iteração com a Função MXTR

Barra	Número-Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S_i (pu)	S_m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,100	GL	1	30,524	32,0	1,90	4,7
2	BUS--002-500	1,100	P	0	0	101,7	33,1	---
3	BUS--003-500	1,098	P	0	0	96,9	32,8	---
4	BUS--004-750	1,042	R	0	0	86,7	30,7	100,0
5	BUS--005-750	1,020	R	0	0	97,4	23,1	100,0
7	BUS--007-750	1,040	R	0	0	81,3	27,4	100,0
8	BUS--008-750	1,079	R	0	0	102,3	22,8	100,0
10	BUS--010-750	1,013	R	0	0	82,6	35,0	100,0
11	BUS--011-750	1,030	P	0	0	80,4	26,7	---
13	BUS--013-750	0,955	R	0	0	115,1	56,0	100,0
14	BUS--014-500	1,026	P	0	0	155,1	71,1	---
15	BUS--015-500	0,986	P	0	0	69,6	29,5	---
16	BUS--016-500	0,989	P	0	0	68,7	29,6	---
17	BUS--017-500	1,068	L	0	0,044	70,7	40,9	99,9
18	BUS--018-500	1,093	P	0	0	71,3	47,8	---
19	BUS--019-500	1,099	L	0	14,998	70,0	46,7	78,6
20	BUS--020-500	1,100	P	0	0	67,5	48,1	---
21	BUS--021-500	1,085	LR	0	0,028	50,8	61,7	99,9
22	BUS--022-500	1,100	LR	0	0,024	40,8	68,7	99,9
23	BUS--023-500	1,086	LR	0	6,89	25,4	86,9	72,9
24	BUS--024-500	1,072	P	0	0	486,4	87,6	---
25	BUS--025-500	1,100	L	0	66,017	2390,7	93,0	97,2
27	BUS--027-500	1,055	P	0	0	221,6	91,6	---
28	BUS--028-345	1,026	P	0	0	106,0	85,9	---
29	BUS--029-345	1,018	L	0	34,707	115,6	100,2	70,0
30	BUS--030-345	1,057	P	0	0	42,7	47,8	---
31	BUS--031--20	1,100	GL	1	13,436	33,0	48,7	59,3
32	BUS--032--20	1,099	G	1	12,576	34,9	56,3	64,0
33	BUS--033--20	1,077	G	1	12,446	32,7	53,2	62,0
34	BUS--034--20	1,010	G	1	14,707	25,3	49,0	42,0

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

A título de ilustração, mostra-se na Figura 7.9 que após a 3ª iteração, a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 1 chega até as barras de carga 25 e 29. Esse passo e os seguintes não são necessários se o ponto de operação com índices positivos for considerado adequado.

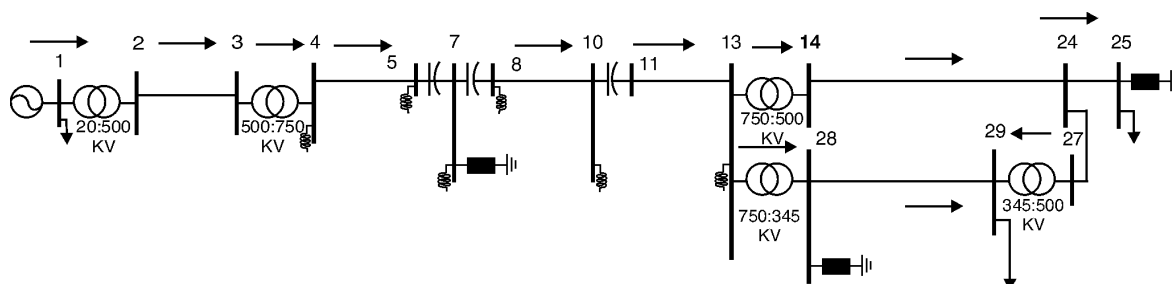


Figura 7.9 - Identificação da Sub-Rede Após a 3ª Iteração com a Função MXTR

Na Tabela 7.12 são analisados todos os caminhos que transmitem potência ativa às barras de carga a partir do gerador crítico 1. Nota-se que o caminho mais carregado é: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 24, 25 por apresentar o menor índice, ou seja, $M=+0,04\%$.

Tabela 7.12 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 1 para o Ponto de Operação Após a 3ª Iteração com a Função MXTR

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	25								
							MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0283		89,0762				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0930		-115,0161				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA							0,0961		3,7886				
							MÓDULO		ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR							1,1000		-10,5897				
TENSÃO NA CARGA							1,1003		-65,9367				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO							1,0869		-9,8721				
							ATIVA		REATIVA		APARENTE		
GERAÇÃO							29,9208		6,0488		30,5261		
CARGA							22,2631		-19,8349		29,8173		
GERAÇÃO CRÍTICA							29,9327		6,0512		30,5383		
							S_i		S_m		$M(\%)$		
ÍNDICES							30,53		30,54		0,04		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:						1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	28	29									
							MÓDULO		ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE							0,0239		85,6052				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR							0,0725		-124,3516				

IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA						0,0575	-81,0299					
						MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR						1,1000	-10,5897					
TENSÃO NA CARGA						1,0184	-64,1681					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO						1,0077	-4,7633					
						ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO						29,9208	6,0488	30,5261				
CARGA						33,6011	-0,5860	33,6062				
GERAÇÃO CRÍTICA						30,5243	6,1708	31,1418				
						S _i	S _m	M(%)				
ÍNDICES						30,53	31,14	1,98				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:					1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27	29						
						MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE						0,0323	102,8232					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR						0,0679	-68,8526					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA						0,0332	-21,0856					
						MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR						1,1000	-10,5897					
TENSÃO NA CARGA						1,0184	-64,1681					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO						1,4238	-23,5616					
						ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO						29,9208	6,0488	30,5261				
CARGA						0,6544	6,2000	6,2344				
GERAÇÃO CRÍTICA						32,9240	6,6559	33,5900				
						S _i	S _m	M(%)				
ÍNDICES						30,53	33,59	9,12				

Nos resultados da Tabela 7.13 verifica-se que o novo ramo crítico é o 24-25 porque quando é incluído no caminho de transmissão mais carregado 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11,13, 14, 24, 25 produz a menor margem na barra de geração 1, quando comparado com a inserção dos outros ramos.

Tabela 7.13 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 1 Após a 3ª Iteração com a Função MXTR

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2				
		MÓDULO	ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0035	90,0000				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2535	90,0000				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,2570	-90,0000				
		MÓDULO	ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR		1,1000	-10,5897				
TENSÃO NA CARGA		1,1001	-15,6239				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8567	35,0906				
		ATIVA	REATIVA	APARENTE			

		GERAÇÃO		29,9208	6,0488	30,5261
		CARGA		29,9208	3,3534	30,1082
		GERAÇÃO CRÍTICA		205,5523	41,5546	209,7106
				S _i	S _m	M(%)
		ÍNDICES		30,53	209,71	85,44
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3		
				MÓDULO	ÂNGULO	
				IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0040 89,8603	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2910 89,8513	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2617 -90,1318	
				MÓDULO	ÂNGULO	
				TENSÃO NO GERADOR	1,1000 -10,5897	
				TENSÃO NA CARGA	1,0983 -16,3315	
				TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8567 34,4527	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
				GERAÇÃO	29,9208	6,0488 30,5261
				CARGA	29,9114	3,4994 30,1154
				GERAÇÃO CRÍTICA	180,4507	36,4800 184,1012
				S _i	S _m	M(%)
				ÍNDICES	30,53	184,10 83,42
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	
				MÓDULO	ÂNGULO	
				IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0055 89,9018	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,1559 -90,0948	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,1620 89,8980	
				MÓDULO	ÂNGULO	
				TENSÃO NO GERADOR	1,1000 -10,5897	
				TENSÃO NA CARGA	1,0417 -18,8019	
				TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8534 31,9616	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
				GERAÇÃO	29,9208	6,0488 30,5261
				CARGA	29,9149	2,1989 29,9956
				GERAÇÃO CRÍTICA	125,8749	25,4469 128,4213
				S _i	S _m	M(%)
				ÍNDICES	30,53	128,42 76,23
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5
				MÓDULO	ÂNGULO	
				IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0149 88,4739	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2353 -90,4750	
				IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,1250 -89,7421	
				MÓDULO	ÂNGULO	
				TENSÃO NO GERADOR	1,1000 -10,5897	
				TENSÃO NA CARGA	1,0201 -33,7555	
				TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8749 17,6865	
				ATIVA	REATIVA	APARENTE
				GERAÇÃO	29,9208	6,0488 30,5261

		CARGA		29,5943		6,9368		30,3964	
		GERAÇÃO CRÍTICA		47,2169		9,5454		48,1721	
				S _i		S _m		M(%)	
		ÍNDICES		30,53		48,17		36,63	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7		
				MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0114		87,9625			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,3836		-89,7501			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,1533		-90,0989			
				MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,1000		-10,5897			
TENSÃO NA CARGA				1,0398		-27,7493			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,8659		23,9488			
				ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO				29,9208		6,0488		30,5261	
CARGA				29,5951		7,0251		30,4174	
GERAÇÃO CRÍTICA				62,4616		12,6273		63,7252	
				S _i		S _m		M(%)	
		ÍNDICES		30,53		63,73		52,10	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8	
				MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0078		93,9449			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,0951		3,8976			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0310		-160,3746			
				MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,1000		-10,5897			
TENSÃO NA CARGA				1,0789		-17,2109			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,8560		29,1862			
				ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO				29,9208		6,0488		30,5261	
CARGA				52,7459		15,7174		55,0379	
GERAÇÃO CRÍTICA				92,3733		18,6742		94,2420	
				S _i		S _m		M(%)	
		ÍNDICES		30,53		94,24		67,61	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8	
10				MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0149		83,7560			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,1426		-142,1118			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0500		-147,1080			
				MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,1000		-10,5897			
TENSÃO NA CARGA				1,0133		-38,5661			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,8753		17,5762			
				ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO				29,9208		6,0488		30,5261	

		CARGA		51,9046	4,4877	52,0983		
		GERAÇÃO CRÍTICA		47,0109	9,5038	47,9619		
				S_i	S_m	M(%)		
		ÍNDICES		30,53	47,96	36,35		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11							
				MÓDULO	ÂNGULO			
				0,0106	87,2379			
				0,2995	-57,6429			
				0,0412	-162,2827			
				MÓDULO	ÂNGULO			
				1,1000	-10,5897			
				1,0301	-25,4009			
				0,8750	26,0928			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
				29,9208	6,0488	30,5261		
				51,9064	9,7514	52,8144		
				68,6285	13,8740	70,0169		
				S_i	S_m	M(%)		
				30,53	70,02	56,40		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13							
				MÓDULO	ÂNGULO			
				0,0179	80,7520			
				0,0718	-138,1319			
				0,0449	-131,3205			
				MÓDULO	ÂNGULO			
				1,1000	-10,5897			
				0,9547	-52,4606			
				0,9016	8,3758			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
				29,9208	6,0488	30,5261		
				50,8718	1,8080	50,9039		
				36,5311	7,3852	37,2701		
				S_i	S_m	M(%)		
				30,53	37,27	18,09		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14							
				MÓDULO	ÂNGULO			
				0,0218	84,9099			
				0,0857	-131,5541			
				0,0727	-25,0700			
				MÓDULO	ÂNGULO			
				1,1000	-10,5897			
				1,0255	-57,3688			
				0,9444	1,2823			

					ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO					29,9208	6,0488	30,5261				
CARGA					23,2786	-9,9499	25,3158				
GERAÇÃO CRÍTICA					32,4199	6,5540	33,0758				
					S_i	S_m	M(%)				
ÍNDICES					30,53	33,08	7,71				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:				1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24							
					MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE					0,0265	88,2043					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR					0,0898	-118,0404					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA					0,0864	-24,4285					
					MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR					1,1000	-10,5897					
TENSÃO NA CARGA					1,0719	-63,8970					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO					1,0441	-7,2528					
					ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO					29,9208	6,0488	30,5261				
CARGA					23,0294	-12,3806	26,1463				
GERAÇÃO CRÍTICA					30,1176	6,0886	30,7268				
					S_i	S_m	M(%)				
ÍNDICES					30,53	30,73	0,65				
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:				1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24 25							
					MÓDULO	ÂNGULO					
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE					0,0283	89,0762					
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR					0,0930	-115,0161					
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA					0,0961	3,7886					
					MÓDULO	ÂNGULO					
TENSÃO NO GERADOR					1,1000	-10,5897					
TENSÃO NA CARGA					1,1003	-65,9367					
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO					1,0869	-9,8721					
					ATIVA	REATIVA	APARENTE				
GERAÇÃO					29,9208	6,0488	30,5261				
CARGA					22,2631	-19,8349	29,8173				
GERAÇÃO CRÍTICA					29,9327	6,0512	30,5383				
					S_i	S_m	M(%)				
ÍNDICES					30,53	30,54	0,04				

Conclui-se que após a 3ª iteração, o gerador crítico continua sendo o 1 e o novo ramo crítico passou a ser o 24-25. Como com três iterações, mostradas na Tabela 7.14, foi suficiente para colocar todas as barras operando na região superior da curva SV, não é necessário o cálculo de um novo ponto de operação diminuindo-se o fluxo de potência no ramo 24-25.

Tabela 7.14 - Caminho Transmissão Mais Carregado e Ramo Crítico Após de cada Iteração com a Função MXTR

Iteração	Caminho de Transmissão Mais Carregado	Ramo Crítico
Caso-Base	34-21-17-16-30-28-29	28-29
1	1-2-3-4-5-7-8-10-11-13-28-29	28-29
2	1-2-3-4-5-7-8-10-11-13-14-24-27-29	27-29
3	1-2-3-4-5-7-8-10-11-13-14-24-25	24-25

Na Tabela 7.15 são mostradas as gerações de potência ativa após o redespacho de potência reativa e/ou ativa nas barras de geração e as perdas ativas do sistema. Após a 1ª iteração, que corresponde unicamente ao redespacho de potência reativa, e que incluiu a correção das tensões violadas na rede, as perdas do sistema diminuíram de 615 MW a 512,4 MW e a geração na barra *swing* 26 diminuiu de 3884,8 MW a 3782,1 MW. Após a 2ª e 3ª iterações, que corresponde ao redespacho de potência reativa e ativa, a geração da barra *swing* foi fixada em 3782,1 MW e as perdas do sistema diminuíram até 465,7 MW. O caminho de transmissão mais carregado mudou após cada iteração e o gerador crítico continuou sendo o mesmo, o gerador 1.

Na Tabela 7.15 é notado que após a 1ª, 2ª e 3ª iteração, a injeção de potência pela barra de geração 1 diminui (de 3292,1 MW a 2999,9 MW) com a finalidade de aliviar o fluxo que sai desta barra e, portanto, os índices puderem passar progressivamente de negativos a positivos. O ponto de operação resultante das iterações com respeito ao ponto do caso-base tem um aumento substancial na margem da barra de geração 1 de -73,8 % para 4,7 %. O índice de influência da ação de reforço é $II=1,064$ o que corresponde a um aumento de 106,4 % na margem da barra de geração 1. Da mesma forma, o ângulo β passou de $-24,1^\circ$ para $1,90^\circ$.

O ponto de operação resultante após as três iterações mostra também um aumento substancial na margem da barra de geração 34 de -683,8 % para 42,0 %. O índice de influência da ação de reforço é $II=1,061$ o que corresponde a um aumento de 106,1 % na margem da barra de geração 34. Da mesma forma, o ângulo β passou de $-89,1^\circ$ para $51,9^\circ$. Bastou o redespacho reativo (1ª iteração) para que esta barra passasse a operar com índices positivos.

Esse número muito grande de II deve-se a margem inicial muito pequena e negativa, que mostrava o fato do gerador da barra 1 e 34 estar operando na região inferior da curva SV

Tabela 7.15 - Variação de Geração Ativa e Perdas no Sistema Após cada Iteração com a Função MXTR

Iteração	Geração (MW)						Perdas (MW)
	G1	G26	G31	G32	G33	G34	
Caso-Base	3292,1	3884,8	1320,0	1200,0	1200,0	1443,9	615,1
1	3292,1	3782,1	1320,0	1200,0	1200,0	1443,9	512,4
2	3205,5	3782,1	1325,1	1218,1	1219,0	1439,0	486,5
3	2992,9	3782,1	1346,9	1227,9	1229,9	1471,9	465,7

Conclui-se que a cada iteração o fluxo no ramo crítico era diminuído, ao mesmo tempo que os índices de estabilidade de tensão β e M ficavam mais robustos na barra de geração crítica. Finalmente, os índices indicam que todas as barras se encontram na região normal de operação (parte superior da curva SV), como desejado.

O programa FLUPOT não tem uma função-objetivo propriamente dita que diminua diretamente o fluxo de potência no ramo de transmissão em termos de MVA. No entanto, a função-objetivo DGMW mostrada a seguir apresenta-se como alternativa para este fim.

7.7.2

Função DGMW

A diminuição do fluxo de potência no ramo crítico pode ser feita em termos de MVA, impondo-se limites térmicos fictícios nas linhas de transmissão de interesse. Usou-se a restrição FMVA do FLUPOT que obriga que o fluxo de carga para o novo ponto de operação convergido respeite as capacidades nominais em MVA especificadas no arquivo de dados de entrada do FLUPOT. Esta restrição limita o fluxo em MVA que chega na barra "para" do ramo que liga as barras "de" e "para" e cujo fluxo deve ser diminuído.

A função-objetivo é minimizar o somatório dos quadrados dos desvios em relação aos valores de geração de potência ativa do caso-base. As tensões de referência não foram incluídas na função-objetivo.

7.7.2.1

Minimização do Fluxo em Termos de MVA

Após a 1ª Iteração

Como é necessário corrigir as tensões violadas, criou-se somente uma pequena sobrecarga fictícia em termos de MVA no ramo crítico 28-29. Foi feito o redespacho de potência reativa para tentar melhorar os índices da barra de geração crítica 34. Nota-se na Figura 7.10 que o fluxo que chega à barra 29 através do ramo 28-29 diminuiu de 3416,8 MVA a 3410,0 MVA, como desejado.

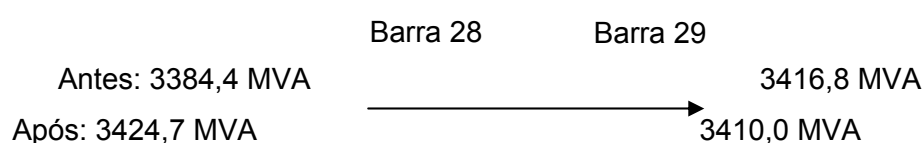


Figura 7.10 - Fluxo no Ramo 28-29 Antes e Após a 1ª Iteração com a Função DGMW

Na Tabela 7.19 são mostrados os índices β e M após a alteração do perfil de tensão. Todas as barras passaram a operar na região superior da curva SV, exceto a barra de geração 1 que tem índices $\beta=-5,1^\circ$ e $M=-12,1\%$.

Tabela 7.16 - Índices de Estabilidade de Tensão Após a 1ª Iteração com a Função DGMW

Barra	Número- Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,099	GL	1	33,704	29,6	-5,1	-12,1
2	BUS--002-500	1,096	P	0	0	94,3	28,2	---
3	BUS--003-500	1,094	P	0	0	89,8	27,9	---
4	BUS--004-750	1,037	R	0	0	80,1	26,1	100,0
5	BUS--005-750	1,020	R	0	0	88,7	20,4	100,0
7	BUS--007-750	1,036	R	0	0	74,5	23,6	100,0
8	BUS--008-750	1,080	R	0	0	93,3	19,7	100,0
10	BUS--010-750	1,007	R	0	0	75,8	30,8	100,0
11	BUS--011-750	1,026	P	0	0	73,5	23,0	---
13	BUS--013-750	0,951	R	0	0	106,4	52,4	100,0
14	BUS--014-500	1,020	P	0	0	146,3	68,9	---
15	BUS--015-500	0,951	P	0	0	64,2	25,4	---
16	BUS--016-500	0,955	P	0	0	63,3	25,6	---
17	BUS--017-500	1,055	L	0	0,044	65,9	37,9	99,9
18	BUS--018-500	1,084	P	0	0	66,9	44,8	---
19	BUS--019-500	1,093	L	0	14,998	66,0	43,3	77,3
20	BUS--020-500	1,095	P	0	0	63,6	44,7	---
21	BUS--021-500	1,058	LR	0	0,028	47,0	60,1	99,9
22	BUS--022-500	1,079	LR	0	0,024	38,0	67,1	99,9
23	BUS--023-500	1,061	LR	0	6,89	23,8	86,5	71,0
24	BUS--024-500	1,065	P	0	0	471,0	87,4	---
25	BUS--025-500	1,098	L	0	66,017	2369,3	93,1	97,2
27	BUS--027-500	1,041	P	0	0	213,1	91,7	---
28	BUS--028-345	0,990	P	0	0	98,8	84,2	---
29	BUS--029-345	0,987	L	0	34,707	108,7	100,6	68,1
30	BUS--030-345	1,019	P	0	0	39,0	44,0	---
31	BUS--031--20	1,095	GL	1	13,235	31,6	46,8	58,1
32	BUS--032--20	1,095	G	1	12,42	33,3	54,6	62,8
33	BUS--033--20	1,096	G	1	12,783	32,6	51,8	60,8
34	BUS--034--20	0,973	G	1	14,505	23,4	46,8	38,1

G: Barra de geração, R: Reator, L: Barra de carga e P: Barra de passagem

Após a 1ª iteração, a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 1 chega até as barras de carga 25 e 29, como verificado na Figura 7.11.

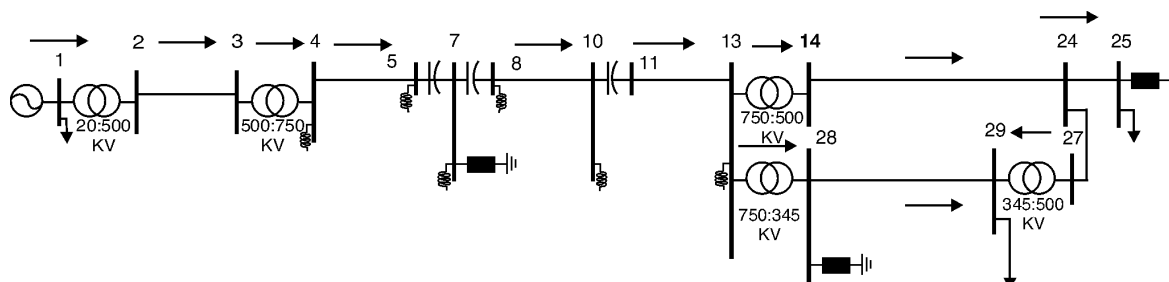


Figura 7.11 - Identificação da Sub-Rede Após a 1ª Iteração com a Função DGMW

São analisados todos os caminhos que transmitem potência ativa às barras de carga a partir do gerador crítico 1 e os resultados são apresentados na Tabela 7.17. Nota-se que o caminho mais carregado é: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 28, 29 por apresentar o menor índice, ou seja, $M=+0,21\%$.

Tabela 7.17 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 1 para o Ponto de Operação Após a 1ª Iteração com a Função DGMW

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14 24 25							
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0277		89,7829			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0819		-108,1705			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0888		5,5516			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
	TENSÃO NA CARGA		1,0981		-65,8960			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		1,1725		-10,2080			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
	CARGA		23,8603		-22,7834		32,9909	
	GERAÇÃO CRÍTICA		33,1867		7,2937		33,9787	
			S_i		S_m		$M(\%)$	
	ÍNDICES		33,71		33,98		0,80	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14 24 27 29							
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0308		105,1251			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0545		-64,2764			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0285		-22,1576			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
	TENSÃO NA CARGA		0,9866		-63,7203			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		1,6865		-26,6528			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
	CARGA		0,2590		8,4776		8,4816	
	GERAÇÃO CRÍTICA		41,2191		9,0591		42,2029	
			S_i		S_m		$M(\%)$	
	ÍNDICES		33,71		42,20		20,13	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 28 29							
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0228		86,3188			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0623		-116,5511			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0564		-73,9744			

	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-6,4821	
TENSÃO NA CARGA	0,9866	-63,7203	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,0670	-4,6159	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9210	7,2353	33,7067
CARGA	33,9992	-2,8637	34,1196
GERAÇÃO CRÍTICA	32,9913	7,2508	33,7787
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	33,71	33,78	0,21

Através dos resultados da Tabela 7.18 verifica-se que o ramo crítico continua sendo o 28-29 porque quando é incluído no caminho de transmissão mais carregado 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 28, 29 produz a menor margem na barra de geração 1, quando comparado com a inserção de outros ramos.

Tabela 7.18 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 1 Após a 1ª Iteração com a Função DGMW

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2		
	MÓDULO	ÂNGULO		
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0035	90,0000		
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2535	90,0000		
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2570	-90,0000		
	MÓDULO	ÂNGULO		
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-6,4821		
TENSÃO NA CARGA	1,0962	-12,0476		
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8626	39,1501		
	ATIVA	REATIVA	APARENTE	
GERAÇÃO	32,9210	7,2353	33,7067	
CARGA	32,9210	3,9430	33,1563	
GERAÇÃO CRÍTICA	207,6314	45,6330	212,5868	
	S_i	S_m	M(%)	
ÍNDICES	33,71	212,59	84,14	
*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	
	MÓDULO	ÂNGULO		
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0040	89,8603		
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2910	89,8513		
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2617	-90,1318		
	MÓDULO	ÂNGULO		
TENSÃO NO GERADOR	1,0990	-6,4821		
TENSÃO NA CARGA	1,0941	-12,8320		
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,8623	38,4355		
	ATIVA	REATIVA	APARENTE	
GERAÇÃO	32,9210	7,2353	33,7067	
CARGA	32,9127	4,0021	33,1551	
GERAÇÃO CRÍTICA	182,1887	40,0413	186,5370	

		S_i		S_m		$M(\%)$	
ÍNDICES		33,71		186,54		81,93	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4		
		MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0055		89,9018			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1559		-90,0948			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1620		89,8980			
		MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
TENSÃO NA CARGA		1,0371		-15,5728			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8586		35,6739			
		ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
CARGA		32,9139		2,4137		33,0023	
GERAÇÃO CRÍTICA		126,9442		27,8997		129,9739	
		S_i		S_m		$M(\%)$	
ÍNDICES		33,71		129,97		74,07	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	
		MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0149		88,4739			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2353		-90,4750			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1250		-89,7421			
		MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
TENSÃO NA CARGA		1,0203		-32,1448			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8845		19,7804			
		ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
CARGA		32,5242		5,4265		32,9738	
GERAÇÃO CRÍTICA		48,0879		10,5687		49,2356	
		S_i		S_m		$M(\%)$	
ÍNDICES		33,71		49,24		31,54	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7
		MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0114		87,9625			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,3836		-89,7501			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1533		-90,0989			
		MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
TENSÃO NA CARGA		1,0357		-25,5164			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8718		26,6649			
		ATIVA		REATIVA		APARENTE	
GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
CARGA		32,5256		6,1347		33,0991	
GERAÇÃO CRÍTICA		63,0954		13,8670		64,6012	

		ÍNDICES		S_i 33,71	S_m 64,60	$M(\%)$ 47,82		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0079		93,6986			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,0983		8,3013			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0314		-155,8939			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
	TENSÃO NA CARGA		1,0802		-14,5181			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8615		32,5628			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
	CARGA		54,8644		17,6326		57,6282	
	GERAÇÃO CRÍTICA		92,9475		20,4279		95,1659	
		ÍNDICES		S_i 33,71	S_m 95,17	$M(\%)$ 64,58		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0148		83,8579			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1385		-138,6393			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0486		-143,3902			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
	TENSÃO NA CARGA		1,0066		-36,8825			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8853		19,6245			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
	CARGA		53,9443		4,4060		54,1240	
	GERAÇÃO CRÍTICA		47,8267		10,5113		48,9682	
		ÍNDICES		S_i 33,71	S_m 48,97	$M(\%)$ 31,17		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11		MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0106		87,2447			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,3102		-56,0670			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0412		-157,6681			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0990		-6,4821			
	TENSÃO NA CARGA		1,0260		-23,0423			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8800		28,9295			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		32,9210		7,2353		33,7067	
	CARGA		53,9467		10,8955		55,0359	
	GERAÇÃO CRÍTICA		69,1585		15,1996		70,8091	

		ÍNDICES		S_i	S_m	$M(\%)$		
				33,71	70,81	52,40		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13							
				MÓDULO	ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0177	80,9033			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,0692	-135,1709			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0432	-129,0205			
				MÓDULO	ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,0990	-6,4821			
TENSÃO NA CARGA				0,9505	-51,5066			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				0,9230	9,6288			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
GERAÇÃO				32,9210	7,2353	33,7067		
CARGA				52,8161	0,4702	52,8181		
GERAÇÃO CRÍTICA				37,8406	8,3166	38,7437		
		ÍNDICES		S_i	S_m	$M(\%)$		
				33,71	38,74	13,00		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 28							
				MÓDULO	ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0216	85,7090			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,0671	-120,9398			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0452	-59,9189			
				MÓDULO	ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,0990	-6,4821			
TENSÃO NA CARGA				0,9898	-59,6918			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				1,0100	-0,6226			
				ATIVA	REATIVA	APARENTE		
GERAÇÃO				32,9210	7,2353	33,7067		
CARGA				28,2766	0,5457	28,2818		
GERAÇÃO CRÍTICA				33,5675	7,3774	34,3687		
		ÍNDICES		S_i	S_m	$M(\%)$		
				33,71	34,37	1,93		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 28 29							
				MÓDULO	ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE				0,0228	86,3188			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR				0,0623	-116,5511			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA				0,0564	-73,9744			
				MÓDULO	ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR				1,0990	-6,4821			
TENSÃO NA CARGA				0,9866	-63,7203			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO				1,0670	-4,6159			

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	32,9210	7,2353	33,7067
CARGA	33,9992	-2,8637	34,1196
GERAÇÃO CRÍTICA	32,9913	7,2508	33,7787
	S_i	S_m	$M(\%)$
ÍNDICES	33,71	33,78	0,21

Assim, após a 1ª iteração, o novo gerador crítico é o 1 e o ramo crítico continua sendo o 28-29.

Após a 2ª Iteração

Tentou-se seguir a política de reforço que diz que o processo de otimização deve re-começar através da alteração do perfil de tensão toda vez que um novo gerador crítico é identificado, mas aqui não foi possível encontrar uma melhor solução do que a anterior (1ª iteração) unicamente com o redespacho reativo.

Portanto, o redespacho de potência reativa e ativa é feito criando-se uma nova sobrecarga fictícia, em termos de MVA, no ramo crítico 28-29 para melhorar os índices da nova barra de geração crítica que é a 1. Nota-se na Figura 7.12 que o fluxo que chega à barra 29 através do ramo 28-29 diminuiu de 3410,0 MVA a 3393,2 MVA, como desejado.

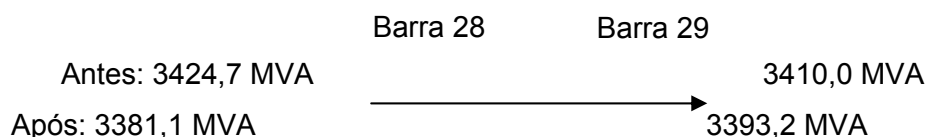


Figura 7.12 - Fluxo no Ramo 28-29 Antes e Após a 2ª Iteração com a Função DGMW

É mostrado na Tabela 7.19 que o gerador da barra 1 apresenta índices positivos com $\beta=1,2^\circ$ e $M=+2,9\%$, mas continua sendo a barra crítica de geração. Em princípio, o processo pode ser interrompido neste ponto, com a obtenção de índices positivos em todas as barras. O processo pode continuar se for julgado que esses índices são "pequenos", embora positivos.

Barra	Número- Nome	V (pu)	Equipo	Tipo	S _i (pu)	S _m (pu)	β (graus)	M (%)
1	BUS--001--20	1,088	GL	1	30,933	31,9	1,2	2,9
2	BUS--002-500	1,100	P	0	0	109,4	36,8	---
3	BUS--003-500	1,100	P	0	0	104,5	36,5	---
4	BUS--004-750	1,057	R	0	0	94,3	34,6	100,0
5	BUS--005-750	1,081	R	0	0	108,5	27,4	100,0
7	BUS--007-750	1,084	R	0	0	90,7	31,6	100,0
8	BUS--008-750	1,100	R	0	0	110,8	26,8	100,0
10	BUS--010-750	1,072	R	0	0	92,8	39,2	100,0
11	BUS--011-750	1,071	P	0	0	89,4	30,8	---
13	BUS--013-750	1,020	R	0	0	125,6	58,6	100,0
14	BUS--014-500	1,067	P	0	0	165,3	72,1	---
15	BUS--015-500	0,983	P	0	0	77,4	33,4	---
16	BUS--016-500	0,986	P	0	0	76,1	33,6	---
17	BUS--017-500	1,073	L	0	0,044	76,0	44,9	99,9
18	BUS--018-500	1,098	P	0	0	76,5	51,6	---
19	BUS--019-500	1,100	L	0	14,998	74,9	51,0	80,0
20	BUS--020-500	1,100	P	0	0	72,4	52,3	---
21	BUS--021-500	1,09	LR	0	0,028	54,1	64,1	99,9
22	BUS--022-500	1,105	LR	0	0,024	43,4	71,0	99,9
23	BUS--023-500	1,091	LR	0	6,89	26,7	88,3	74,2
24	BUS--024-500	1,077	P	0	0	500,7	87,3	---
25	BUS--025-500	1,100	L	0	66,017	2423,6	93,0	97,3
27	BUS--027-500	1,041	P	0	0	226,9	91,0	---
28	BUS--028-345	0,951	P	0	0	111,6	83,9	---
29	BUS--029-345	0,955	L	0	34,707	118,6	99,7	70,7
30	BUS--030-345	1,050	P	0	0	45,5	53,0	---
31	BUS--031--20	1,100	GL	1	13,196	34,9	51,8	62,2
32	BUS--032--20	1,100	G	1	12,337	36,9	59,0	66,6
33	BUS--033--20	1,083	G	1	12,194	34,6	56,3	64,8
34	BUS--034--20	1,014	G	1	14,461	26,2	50,8	44,8

A título de ilustração, mostra-se na Figura 7.13 que após a 2ª iteração, a sub-rede utilizada para transmitir potência ativa a partir da barra de geração crítica 1 chega até as barras de carga 25 e 29. Esse passo e os seguintes não são necessários se o ponto de operação com índices positivos foi considerado adequado.

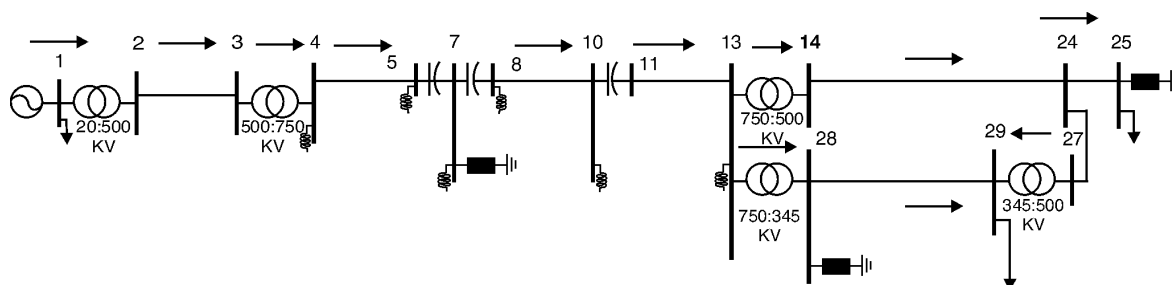


Figura 7.13 - Identificação da Sub-Rede Após a 2ª Iteração com a Função DGMW

Na Tabela 7.20 são mostrados os resultados da análise de todos os caminhos que transmitem potência ativa às barras de carga a partir do gerador crítico 1. Nota-se que o caminho mais carregado é: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 24, 27, 29 por apresentar o menor índice, ou seja, $M=-21,81\%$.

Tabela 7.20 - Determinação dos Caminhos de Transmissão e Margens de Potência a Partir do Gerador 1 para o Ponto de Operação Após a 2ª Iteração com a Função DGMW

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	27	29								
									MÓDULO	ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0296	103,3715				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,0485	-69,7176				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,0292	-27,7587				
									MÓDULO	ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR									1,0880	-13,1508				
TENSÃO NA CARGA									0,9553	-64,2752				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO									1,6665	-30,3872				
									ATIVA	REATIVA	APARENTE			
GERAÇÃO									30,9199	0,9089	30,9333			
CARGA									0,9876	12,3256	12,3651			
GERAÇÃO CRÍTICA									37,6650	1,1071	37,6813			
									S_i	S_m	$M(\%)$			
ÍNDICES									30,93	37,68	-21,81			
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	14	24	25									
									MÓDULO	ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0269	89,1687				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,0728	-107,4890				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,0956	3,8927				
									MÓDULO	ÂNGULO				
TENSÃO NO GERADOR									1,0880	-13,1508				
TENSÃO NA CARGA									1,1054	-65,9217				
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO									1,1296	-15,0003				
									ATIVA	REATIVA	APARENTE			
GERAÇÃO									30,9199	0,9089	30,9333			
CARGA									22,5450	-19,7377	29,9642			
GERAÇÃO CRÍTICA									30,9912	0,9110	31,0046			
									S_i	S_m	$M(\%)$			
ÍNDICES									30,93	31,00	0,23			
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:							1	2	3	4	5	7	8
10	11	13	28	29										
									MÓDULO	ÂNGULO				
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE									0,0211	85,6571				
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR									0,0511	-113,3370				
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA									0,0974	-64,7506				
									MÓDULO	ÂNGULO				

TENSÃO NO GERADOR	1,0880	-13,1508	
TENSÃO NA CARGA	0,9553	-64,2752	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	1,0270	-10,0331	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	30,9199	0,9089	30,9333
CARGA	33,2631	-6,7096	33,9330
GERAÇÃO CRÍTICA	31,1262	0,9149	31,1397
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	30,93	31,14	0,66

Na Tabela 7.21 é verificado que o novo ramo crítico é o 27-29 porque quando é incluído no caminho de transmissão mais carregado 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 24, 27, 29 produz a menor margem na barra de geração 1, quando comparado com a inserção de outros ramos.

Tabela 7.21 - Determinação dos Sub-Caminhos do Caminho de Transmissão Mais Carregado e Margens de Potência a partir do Gerador 1 Após a 2ª Iteração com a Função DGMW

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	
	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0035	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2535	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2570	-90,0000	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0880	-13,1508	
TENSÃO NA CARGA	1,1049	-18,3883	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,7821	27,4535	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	30,9199	0,9089	30,9333
CARGA	30,9199	-1,9203	30,9795
GERAÇÃO CRÍTICA	174,6709	5,1343	174,7463
	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	30,93	174,75	82,30
*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3
	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,0040	89,8603	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	0,2910	89,8513	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	0,2617	-90,1318	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0880	-13,1508	
TENSÃO NA CARGA	1,1054	-19,1144	
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO	0,7835	26,7973	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	30,9199	0,9089	30,9333
CARGA	30,9120	-1,7862	30,9635
GERAÇÃO CRÍTICA	153,9353	4,5248	154,0018

		S _i		S _m		M(%)
ÍNDICES		30,93		154,00		79,91
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	
			MÓDULO		ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0055		89,9018	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1559		-90,0948	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1620		89,8980	
			MÓDULO		ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508	
	TENSÃO NA CARGA		1,0565		-21,6152	
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,7865		24,2757	
			ATIVA		REATIVA	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089	
	CARGA		30,9121		-3,1426	
	GERAÇÃO CRÍTICA		109,0351		3,2050	
			30,93		109,08	
	ÍNDICES				71,64	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5
			MÓDULO		ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0149		88,4739	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,2354		-90,4753	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1250		-89,7420	
			MÓDULO		ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508	
	TENSÃO NA CARGA		1,0809		-36,0864	
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8403		10,4830	
			ATIVA		REATIVA	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089	
	CARGA		30,5866		2,7966	
	GERAÇÃO CRÍTICA		44,4257		1,3059	
			30,93		44,44	
	ÍNDICES				30,40	
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5
			MÓDULO		ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0114		87,9625	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,3837		-89,7509	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,1533		-90,0986	
			MÓDULO		ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508	
	TENSÃO NA CARGA		1,0837		-30,4673	
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8172		16,3582	
			ATIVA		REATIVA	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089	
	CARGA		30,5862		2,2955	
	GERAÇÃO CRÍTICA		56,7471		1,6680	

		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 56,77	$M(\%)$ 45,51		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0078		93,3718			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1034		4,8062			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0334		-158,4178			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508			
	TENSÃO NA CARGA		1,1055		-20,4222			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,7965		21,5775			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089		30,9333	
	CARGA		53,7181		10,9134		54,8155	
	GERAÇÃO CRÍTICA		81,5103		2,3959		81,5455	
		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 81,55	$M(\%)$ 62,07		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10			MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0148		84,0446			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,1474		-138,7087			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0519		-143,5878			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508			
	TENSÃO NA CARGA		1,0714		-40,5236			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8413		10,4064			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089		30,9333	
	CARGA		52,9244		1,8274		52,9559	
	GERAÇÃO CRÍTICA		44,2641		1,3011		44,2832	
		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 44,28	$M(\%)$ 30,15		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11		MÓDULO		ÂNGULO			
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0106		87,1653			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		0,3124		-58,3940			
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		0,0441		-159,5581			
			MÓDULO		ÂNGULO			
	TENSÃO NO GERADOR		1,0880		-13,1508			
	TENSÃO NA CARGA		1,0710		-28,3287			
	TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO		0,8205		18,3633			
			ATIVA		REATIVA		APARENTE	
	GERAÇÃO		30,9199		0,9089		30,9333	
	CARGA		52,9240		5,5574		53,2150	
	GERAÇÃO CRÍTICA		61,5255		1,8085		61,5521	

		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 61,55	$M(\%)$ 49,74		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13							
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0179		81,2509			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,0733		-134,6968			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,0454		-128,1506			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0880		-13,1508			
TENSÃO NA CARGA			1,0196		-53,0970			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,8867		2,1651			
			ATIVA		REATIVA	APARENTE		
GERAÇÃO			30,9199		0,9089	30,9333		
CARGA			51,9701		1,4728	51,9909		
GERAÇÃO CRÍTICA			35,8993		1,0552	35,9148		
		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 35,91	$M(\%)$ 13,87		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14							
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0212		85,0591			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,0778		-125,0305			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,0574		-48,8091			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0880		-13,1508			
TENSÃO NA CARGA			1,0674		-57,6257			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			0,9439		-4,2407			
			ATIVA		REATIVA	APARENTE		
GERAÇÃO			30,9199		0,9089	30,9333		
CARGA			23,8809		-2,9583	24,0634		
GERAÇÃO CRÍTICA			32,5849		0,9578	32,5990		
		ÍNDICES		S_i 30,93	S_m 32,60	$M(\%)$ 5,11		
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	1	2	3	4	5	7	8
10	11 13 14 24							
			MÓDULO		ÂNGULO			
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE			0,0251		88,3077			
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR			0,0711		-110,2135			
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA			0,0659		-47,0801			
			MÓDULO		ÂNGULO			
TENSÃO NO GERADOR			1,0880		-13,1508			
TENSÃO NA CARGA			1,0773		-63,8783			
TENSÃO CRÍTICA NA GERAÇÃO			1,0726		-12,4098			

</									

superior da curva SV, não é necessário o cálculo de um novo ponto de operação diminuindo-se o fluxo de potência no ramo 27-29.

Tabela 7.22 - Caminho Transmissão Mais Carregado e Ramo Crítico Após de cada Iteração com a Função DGMW

Iteração	Caminho de Transmissão Mais Carregado	Ramo Crítico
Caso-Base	34-21-17-16-30-28-29	28-29
1	1-2-3-4-5-7-8-10-11-13-28-29	28-29
2	1-2-3-4-5-7-8-10-11-13-14-24-27-29	27-29

Na Tabela 7.23 são mostradas as gerações de potência ativa após o redespacho de potência reativa e/ou ativa nas barras de geração e as perdas ativas do sistema. Após a 1ª iteração, que corresponde unicamente ao redespacho de potência reativa e que incluiu a correção das tensões violadas na rede, as perdas do sistema diminuíram de 615,1 MW a 498,9 MW e a geração na barra *swing* 26 diminuiu de 3884,8 MW a 3768,6 MW. Após a 2ª iteração, que corresponde ao redespacho de potência reativa e ativa, a geração da barra *swing* foi fixada em 3768,6 MW e as perdas do sistema diminuíram até 463,2 MW. O caminho de transmissão mais carregado mudou após de cada iteração e o gerador crítico continuar sendo o mesmo, como ocorre com o gerador 1.

Na Tabela 7.23 é notado que após a 1ª e 2ª iteração, a injeção de potência pela barra de geração 1 diminui (de 3292,1 MW a 3092,0 MW) com a finalidade de aliviar o fluxo que sai desta barra e, portanto, os índices puderem passar progressivamente de negativos a positivos. O ponto de operação resultante das iterações tem um aumento substancial na margem da barra de geração 1 de -73,8 % para 2,9 %. O índice de influência da ação de reforço é $II=1,039$ o que corresponde a um aumento de 103,9 % na margem da barra de geração 1. Da mesma forma, o ângulo β passou de $-24,1^\circ$ para $1,2^\circ$.

O ponto de operação resultante após as duas iterações mostra também um aumento substancial na margem da barra de geração 34 de -683,8 % para 44,8 %. O índice de influência da ação de reforço é $II=1,066$ o que corresponde a um aumento de 106,6 % na margem da barra de geração 34. Da mesma forma, o ângulo β passou de $-89,1^\circ$ para $50,8^\circ$. Bastou o redespacho reativo (1ª iteração) para que esta barra passasse a operar com índices positivos.

Esse número muito grande de II deve-se a margem inicial muito pequena e negativa, que mostrava o fato do gerador da barra 1 e 34 estar operando na região inferior da curva SV

Tabela 7.23 - Variação de Geração Ativa e Perdas no Sistema Após de cada Iteração com a Função DGMW

Iteração	Geração (MW)						Perdas (MW)
	G1	G26	G31	G32	G33	G34	
Caso-Base	3292,1	3884,8	1320,0	1200,0	1200,0	1443,9	615,1
1	3292,1	3768,6	1320,0	1200,0	1200,0	1443,9	498,9
2	3092,0	3768,6	1370,6	1250,6	1247,0	1498,1	463,2

Foi mostrado que a redução do fluxo no ramo crítico aumenta a margem na barra de geração crítica, porém, a tensão dessa barra pode aumentar ou diminuir a cada etapa iterativa do processo de otimização. O sinal de variação da tensão nas barras de tensão controlada não necessariamente varia na mesma direção da margem de potência.

Não é possível comparar qual das duas funções objetivo é mais eficaz porque a 1ª função depende principalmente da porcentagem de variação da potência ativa de geração ($\pm 10\% P_G$), enquanto que, a 2ª função depende principalmente do tamanho da sobrecarga. Nota-se que para conseguir índices positivos em todas as barras, a 2ª função-objetivo usou um menor número de iterações do que a 1ª função, para o mesmo caso-base.

7.8

Análise da Influência do LTC e CS no Meio do Caminho de Transmissão

7.8.1

LTC no meio do Caminho de Transmissão

Na Figura 7.14 é mostrado o circuito π equivalente de impedâncias de um LTC com variação de *taps* no primário com relação de transformação $t:1$ em pu e controlando a tensão no lado secundário. Este corresponde ao modelo usado no programa de análise de redes ANAREDE. Entende-se que a barra com tensão $V_0 \angle \theta_0$ é o lado primário e a barra com $V_1 \angle \theta_1$ é o secundário.

Caso o modelo do LTC seja de *taps* no primário controlando a tensão no primário, a relação de transformação a ser utilizada é $1 : (1/t)$.

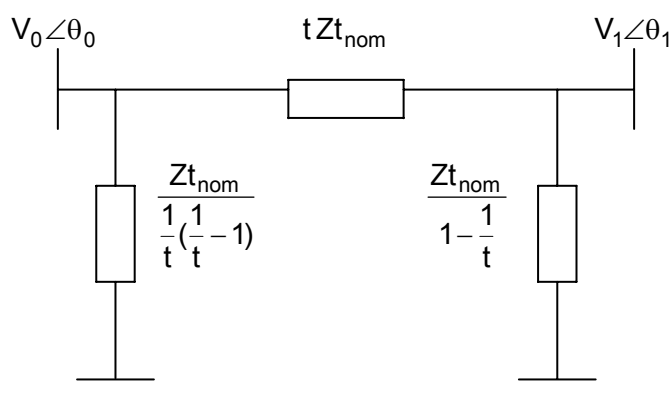


Figura 7.14 - Circuito π Equivalente de um LTC com Variação de *Taps* no Primário

Na Figura 7.15 tem-se o diagrama unifilar de um sistema composto por três barras: a barra 2 de carga, a barra 1 de tensão controlada por um LTC e a barra 0 de tensão controlada por um gerador. O modelo a ser usado no LTC é aquele correspondente à Figura 7.14.

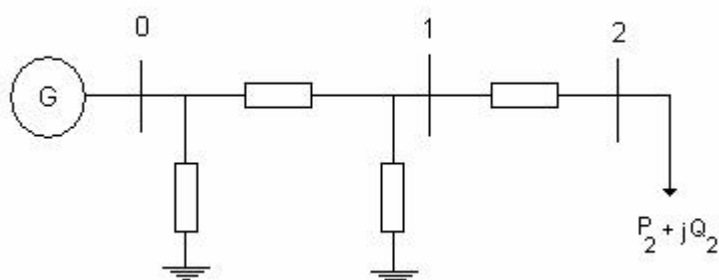


Figura 7.15 - Diagrama Unifilar do Sistema com Gerador, LTC, Linha de Transmissão e Carga

A informação da existência da tensão controlada na barra 1 pelo LTC no cálculo do π equivalente com o método proposto de “redução de rede” quando é analisado o caminho 0-1-2 é analisada nesta seção. Em princípio, esta informação participa do cálculo da margem de potência na barra em análise do caminho de transmissão, já que a admitância Y_{11} da matriz Y_{Barra} do caminho 0-1-2 depende do valor do *tap* do transformador e, portanto, da magnitude da tensão controlada da barra 1. Uma variação da tensão controlada significa que a matriz reduzida $Y_{2 \times 2}$ do circuito π equivalente muda e, portanto, a margem de potência da barra de geração é calculada com novos parâmetros.

Na Figura 7.15 observa-se o sub-caminho de transmissão 0-1, que sai da barra de geração e chega até a barra de tensão controlada pelo LTC. As equações de fluxo de potência ativa e reativa na barra 1 são:

$$P_{10} = \frac{V_1^2}{Zt_{nom}} \cos \alpha t - \frac{V_1 V_0}{tZt_{nom}} \cos(\theta_1 - \theta_0 + \alpha t) \quad (7.1)$$

$$Q_{10} = \frac{V_1^2}{Zt_{nom}} \sin \alpha t - \frac{V_1 V_0}{tZt_{nom}} \sin(\theta_1 - \theta_0 + \alpha t) \quad (7.2)$$

Considerando o ângulo do fator de potência ϕ_1 na barra de tensão controlada constante obtém-se:

$$V_1 = \frac{V_0}{t} \left(\frac{\cos(\theta_1 - \theta_0 + \alpha t) \tan \phi_1 - \sin(\theta_1 - \theta_0 + \alpha t)}{\cos \alpha t \tan \phi_1 - \sin \alpha t} \right) \quad (7.3)$$

Variando-se o ângulo da tensão na barra 1, obtém-se vários valores para V_1 resolvendo-se (7.3). Aplicando-se estes valores em (7.1) constroem-se as curvas $P_{10} V_1$ mostradas na Figura 7.16.

Para este sistema de duas barras, existe entre elas um LTC representado por um modelo π com impedância série na relação nominal Zt_{nom} de 0,2 pu e ângulo αt de 90° . Supõe-se que a variação de *taps* consiste de 9 estágios, começando em 0,9 e terminando em 1,1 sendo, portanto, a variação entre cada estágio de 0,025. A magnitude de tensão V_0 na barra 0, controlada pelo gerador, é fixa e igual a 1 pu com ângulo θ_0 igual a 0° . O ângulo do fator de potência ϕ_1 da carga é constante e igual a 27° indutivos. A carga ativa é maior ou igual a zero, isto é, exclui-se a possibilidade de haver um gerador na barra 1. Será considerado que se deseja manter o valor de V_1 constante e igual a 0,95 pu, através da variação de *taps*.

Verifica-se na Figura 7.16 que, com o nível de tensão especificado $V_1 = 0,95$ pu, valores de potência entre $P_{10} = -0,0221$ pu e $P_{10} = -1,2210$ pu podem ser atendidos através da variação no valor dos *taps* entre 1,050 e 0,900. Valores de

P_{10} inferiores a -1,2210 pu, isto é, cargas ativas maiores que 1,2210 não poderão ser atendidos com o nível especificado de tensão. A partir deste ponto, o valor de t se encontra em seu mínimo.

Observa-se também que nenhuma potência pode ser transferida, com a tensão especificada, se o *tap* assumir os valores $t = 1,100$ e $t = 1,075$.

Com o modelo do LTC mostrado na Figura 7.14 com *taps* no primário (barra 0) controlando a tensão no secundário (barra 1) e com relação de transformação $t : 1$, nota-se na Figura 7.16 que, na região superior da curva PV para modelo de potência constante na carga que, à medida que os *taps* diminuem, a tensão na barra controlada aumenta (relação usual). Igualmente a margem de potência medida em relação ao máximo da curva PV cresce. Espera-se o mesmo comportamento nas curvas SV.

Em um programa de fluxo de carga, p.ex., o ANAREDE, quando se atinge os limites físicos de *taps* do LTC a tensão no secundário deixa de ser controlada e fica livre para variar. Eventualmente o algoritmo não converge mais.

Se o ponto de operação da barra de tensão controlada estiver na região superior da curva SV, isto é, com índices β e M positivos, espera-se ter uma maior margem de potência na barra de carga do caminho de transmissão 0-1-2 quando a tensão na barra no meio do caminho aumenta. Por outro lado, mantendo-se a tensão controlada na barra intermediária e acrescentando-se o ramo 1-2, a margem de potência na barra de carga do caminho 0-1-2 diminui porque o ponto do máximo da curva SV na barra 1 do sub-caminho 0-1 encontra-se mais perto do ponto de operação.

Se o ponto de operação da barra de tensão controlada estiver na região inferior da curva SV, isto é, com índices β e M negativos, espera-se ter uma menor margem de potência na barra de carga do caminho de transmissão 0-1-2 quando tenta-se aumentar a tensão na barra no meio do caminho. Isto porque esta tentativa reduziria a tensão. Por outro lado, mantendo-se a tensão controlada na barra intermediária e acrescentando-se o ramo 1-2, a margem de potência na barra de carga do caminho 0-1-2 diminui porque o ponto do máximo da curva SV na barra 1 do sub-caminho 0-1 encontra-se mais longe do ponto de operação.

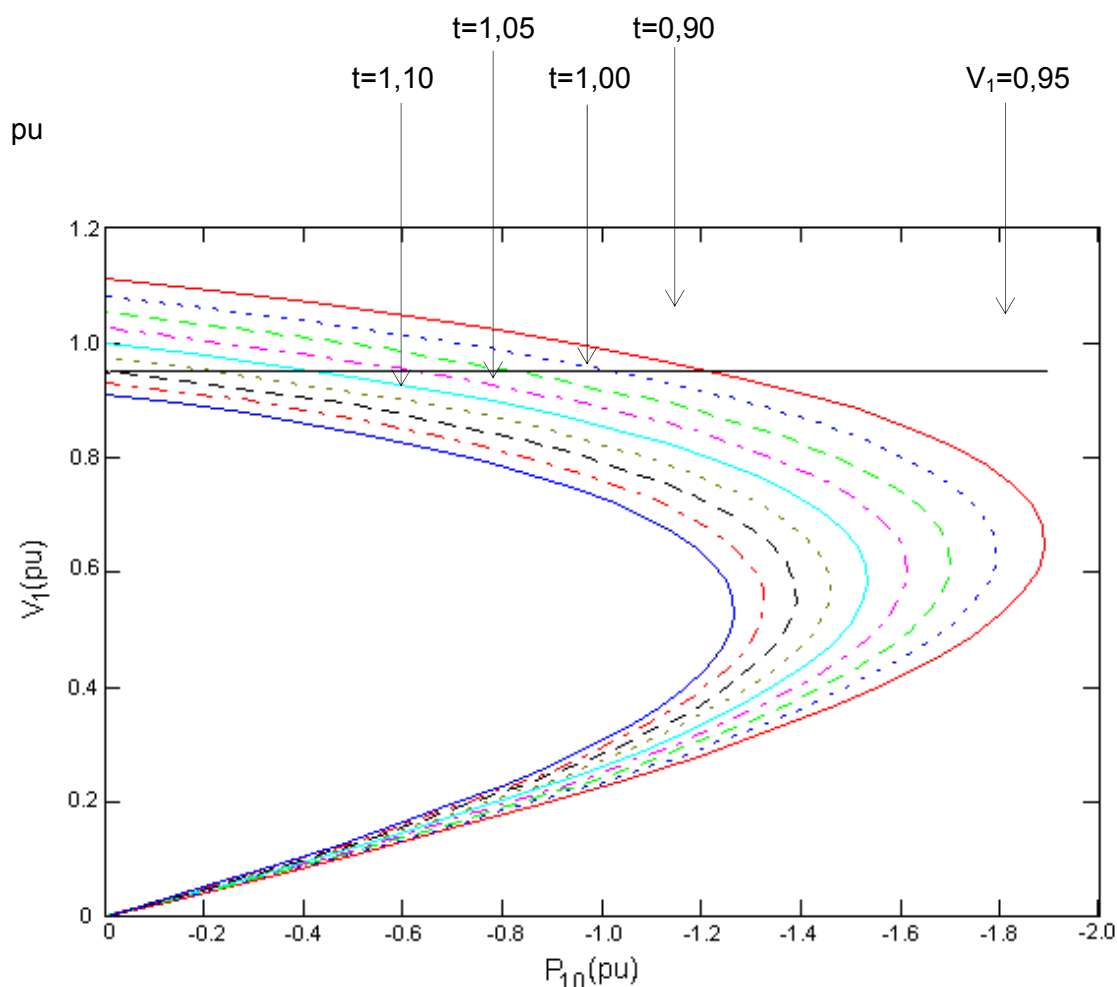


Figura 7.16 - Curvas P_{10} vs V_1 para Diferentes Taps do Transformador

Para comprovar o dito, tem-se o sistema de três barras da Figura 7.15 e a partir do ponto de operação mostrado na Tabela 7.24 muda-se a magnitude da tensão controlada pelo LTC da barra do meio do caminho de transmissão 0-1-2. O ponto de operação é para fins ilustrativos, já que os valores de tensão estão totalmente fora da faixa usual de operação. A impedância do LTC é $0,2 \angle 90^\circ$ pu para relação de transformação nominal e a impedância da linha de transmissão série é $0,01 \angle 70^\circ$ pu. Como dito, os taps estão do lado primário controlando a tensão do lado secundário. Os taps do LTC podem variar entre 0,8 e 1,2 pu. Na Tabela 7.25 é mostrado os resultados das margens de potência na barra de carga dos sub-caminhos de transmissão obtido pelo programa CaTrans quando a tensão controlada era $V=0,665$ pu e na Tabela 7.26 quando era $V=0,745$ pu.

Tabela 7.24 - Ponto de Operação onde a Barra de Controlada têm Índices β e M positivos

t_{01}	1,015 pu
$V_0 \angle \theta_0$	1,000 $\angle 0^\circ$ pu
$V_1 \angle \theta_1$	0,665 $\angle -20,9^\circ$ pu
$V_2 \angle \theta_2$	0,642 $\angle -22,0^\circ$ pu
$P_2 + j Q_2$	1,140 + j0,808 pu

Quando a tensão controlada é $V=0,665$ pu, tem-se:

- posição do *tap* em 1,015
- margem de potência do sub-caminho de transmissão 0-1 é $M=5,1289\%$ e
- margem de potência do caminho de transmissão 0-1-2 é $M=3,9590\%$

Quando a tensão controlada é $V=0,745$ pu, tem-se:

- posição do *tap* em 0,982
- margem de potência do sub-caminho de transmissão 0-1 é $M=12,0565\%$ e
- margem de potência do caminho de transmissão 0-1-2 é $M=10,2165\%$

Como conhecido, quando o ponto de operação da barra de tensão controlada estiver na região superior da curva SV e a tensão controlada é aumentada, os *taps* do LTC que estão do lado primário diminuem. A margem do sub-caminho 0-1 aumentou de $M=5,1289\%$ para $M=12,0565\%$ quando a tensão controlada aumentou de $V=0,665$ pu a $V=0,745$ pu. Logo, é esperado que a margem de potência, quando inserido o ramo 1-2 ao caminho de transmissão 0-1-2, também aumente e, de fato, esta passou de $M=3,9590\%$ a $M=10,2165\%$. A inserção do ramo 1-2 ao sub-caminho de transmissão 0-1 produz uma diminuição da margem de potência na barra de carga porque o ramo 1-2 é uma simples linha de transmissão que aumenta o esforço de transmissão de potência da barra de geração até a barra de carga.

Conclui-se que a informação do controle de tensão na barra intermediária 1 é parcialmente considerada através da variação dos parâmetros do circuito π equivalente e conseqüente mudança no ponto de operação.

Tabela 7.25 - Sub-Caminhos de Transmissão para o Sistema de Três Barras com Tensão Controlada por LTC em $V=0,665$ pu na Barra do Meio

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	0	1		
		MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,2030	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		13,5374	-90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		13,3343	90,0000	
		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0000	0,0000	
TENSÃO NA CARGA		0,6645	-20,9420	
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA		0,5518	-26,8037	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO		1,1626	1,8133	2,1539
CARGA		1,1626	0,8569	1,4443
CARGA CRÍTICA		1,2254	0,9032	1,5223
		S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES		1,4443	1,5223	5,1289
*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	0	1	2	
		MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,2126	89,0643	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		14,1753	-90,9357	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		13,9627	89,0643	
		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0000	0,0000	
TENSÃO NA CARGA		0,6424	-22,0166	
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA		0,5520	-26,8450	
		ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO		1,1626	1,8133	2,1539
CARGA		1,1400	0,8080	1,3973
CARGA CRÍTICA		1,1863	0,8423	1,4549
		S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES		1,3973	1,4549	3,9590

Tabela 7.26 - Sub-Caminhos de Transmissão para o Sistema de Três Barras com Tensão Controlada por LTC em $V=0,745$ pu na Barra do Meio

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	0	1		
		MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,1963	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		10,5094	90,0000	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		10,7057	-90,0000	
		MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR		1,0000	0,0000	
TENSÃO NA CARGA		0,7445	-17,8742	
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA		0,5712	-26,9184	

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1584	1,5966	1,9725
CARGA	1,1584	0,8467	1,4348
CARGA CRÍTICA	1,3172	0,9627	1,6315
	S_i	S_m	$M(\%)$
ÍNDICES	1,4348	1,6315	12,0565
*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 0 1 2			
	MÓDULO	ÂNGULO	
IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE	0,2056	89,0643	
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	11,0046	89,0643	
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	11,2101	-90,9357	
	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0000	0,0000	
TENSÃO NA CARGA	0,7250	-18,7229	
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA	0,5709	-26,8510	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1584	1,5966	1,9725
CARGA	1,1400	0,8080	1,3973
CARGA CRÍTICA	1,2691	0,9007	1,5563
	S_i	S_m	$M(\%)$
ÍNDICES	1,3973	1,5563	10,2165

Quando o objetivo é o reforço das condições de estabilidade de tensão da barra de tensão controlada 0 ou 1, os caminhos de transmissão devem terminar obrigatoriamente na barra de carga 2. Escolhe-se como pior, entre 0-2 e 1-2, aquele que tenha a pior margem de potência na barra inicial.

Conclui-se que a barra de tensão controlada por LTC deve ser tratada como uma barra de "início de caminho", como o são as barras de geração.

Quando o objetivo é o reforço das condições de estabilidade de tensão da barra de carga 2 é importante determinar se o caminho de transmissão deve começar na barra de tensão controlada 1 pelo LTC ou na barra de tensão controlada 0 pelo gerador síncrono. Na Tabela 7.27, para o mesmo ponto de operação da Tabela 7.24, é mostrado a margem de potência na barra de carga do caminho de transmissão 2-1 com $M=88,4965\%$ e do caminho 2-1-0 com $M=3,9590\%$. O caminho crítico é o 2-1-0 por apresentar a menor margem de potência. Isto era esperado porque o caminho de transmissão 2-1-0 leva em conta um maior esforço de transmissão de potência através do LTC e da linha de transmissão 1-2, enquanto, que o esforço do outro é menor através da linha de transmissão 1-2, ou seja, é mais difícil transferir $S=2,1539$ MVA de geração por uma linha de

transmissão com impedância série equivalente de $Z=0,2097<89,0385^\circ$ pu do que transferir $S=1,4443$ MVA com $Z=0,01<70^\circ$ pu. Para o caminho 2-1-0 tem-se 100,11 MVA de perdas e para o caminho 2-1 tem-se 4,68 MVA.

Conclui-se que, quando a barra em análise é a barra de carga, considera-se um caminho até a barra de tensão controlada intermediária e outro até o gerador.

O caminho de transmissão mais carregado que chega a uma barra de carga começa numa barra de tensão controlada no meio do caminho ou em um gerador dependendo da topologia e das condições de operação da rede.

Tabela 7.27 - Caminhos de Transmissão a partir das Barras de Tensão Controlada pelo LTC e pelo Gerador Síncrono

***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	2	1		
			MÓDULO	ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,0100	70,0000	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		-----	-----	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		-----	-----	
			MÓDULO	ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR		0,6645	-20,9420	
	TENSÃO NA CARGA		0,6424	-22,0166	
	TENSÃO CRÍTICA NA CARGA		0,3483	-38,3150	
			ATIVA	REATIVA	APARENTE
	GERAÇÃO		1,1626	0,8569	1,4443
	CARGA		1,1400	0,8080	1,3973
	CARGA CRÍTICA		9,8923	7,0221	12,1313
			S_i	S_m	M(%)
	ÍNDICES		1,3955	12,1313	88,4965
***	CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	2	1	0	
			MÓDULO	ÂNGULO	
	IMPEDÂNCIA DO RAMO SÉRIE		0,2126	89,0643	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR		14,1753	-90,9357	
	IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA		13,9627	89,0643	
			MÓDULO	ÂNGULO	
	TENSÃO NO GERADOR		1,0000	0,0000	
	TENSÃO NA CARGA		0,6424	-22,0166	
	TENSÃO CRÍTICA NA CARGA		0,5520	-26,8450	
			ATIVA	REATIVA	APARENTE
	GERAÇÃO		1,1626	1,8133	2,1539
	CARGA		1,1400	0,8080	1,3973
	CARGA CRÍTICA		1,1863	0,8423	1,4549
			S_i	S_m	M(%)
	ÍNDICES		1,3973	1,4549	3,9590

7.8.2

CS no Meio do Caminho de Transmissão

Na Figura 7.17 tem-se o diagrama unifilar de um sistema composto por três barras: a barra 2 de carga, a barra 1 de tensão controlada por um CS e a barra 0 de tensão controlada por um gerador.

A impedância da linha de transmissão entre as barras 0 e 1 é $0,2 \angle 90^\circ$ pu e entre as barras 1 e 2 é $0,01 \angle 70^\circ$ pu. Estes valores são usados para fins unicamente ilustrativos.

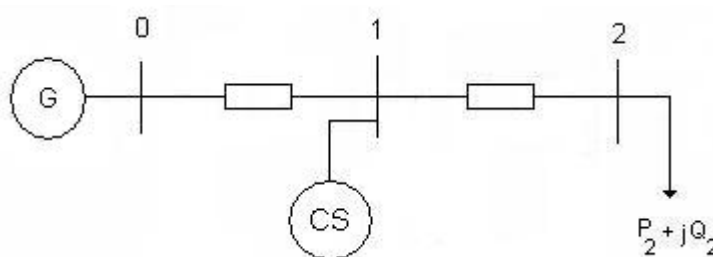


Figura 7.17 - Diagrama Unifilar do Sistema com Gerador, CS, Linha de Transmissão e Carga

A tensão controlada pelo CS na barra 1 participa do cálculo da margem de potência na barra em análise do caminho de transmissão 0-1-2. A impedância *shunt* equivalente do fluxo de potência reativa que entra ou sai da barra de tensão controlada e que pertence ao caminho de transmissão 0-1-2 depende da magnitude deste fluxo e da tensão controlada. Uma variação da tensão controlada significa que a matriz reduzida $Y_{2 \times 2}$ do circuito π equivalente muda e, portanto, a margem de potência da barra de carga é calculada com novos parâmetros.

Na Figura 7.17 observa-se o sub-caminho de transmissão 0-1, que sai da barra de geração e chega até a barra de tensão controlada pelo CS. As equações de fluxo de potência ativa e reativa na barra 1 são:

$$P_{10} = \frac{V_1^2}{Z_t} \cos \alpha_t - \frac{V_1 \cdot V_0 \cdot \cos(\theta_{10} + \alpha_t)}{Z_t} \quad (7.4)$$

$$Q_{10} = V_1^2 \left[\frac{\sin(\alpha_t)}{Z_t} - \frac{1}{X_c} \right] - \frac{V_1 \cdot V_0 \cdot \sin(\theta_{10} + \alpha_t)}{Z_t} \quad (7.5)$$

onde X_c em (7.5) é a reatância equivalente da injeção de potência reativa pelo CS.

Considerando o ângulo do fator de potência ϕ_1 na barra de tensão controlada constante obtém-se:

$$V_1 = \frac{-X_c \cdot V_0 \cdot [\cos(\theta_{10} + \alpha_t) \cdot \text{tg}(\phi_1) - \sin(\theta_{10} + \alpha_t)]}{X_c \cdot \sin(\alpha_t) - Z_t - X_c \cdot \text{tg}(\phi_1) \cdot \cos(\alpha_t)} \quad (7.6)$$

Variando-se o ângulo da tensão na barra 1, obtém-se vários valores para V_1 resolvendo-se (7.6). Aplicando-se estes valores em (7.4) constroem-se as curvas $P_{10} V_1$ mostradas na Figura 7.18.

Para este sistema de duas barras, o CS na barra de carga é modelado como capacitor / reator fixo e sua reatância é trabalhada em pu. O valor do capacitor / reator em Mvar corresponde à sua injeção reativa quando a tensão sobre ele é 1 pu. Na Figura 7.18 são mostradas três curvas: a vermelha correspondente ao CS absorvendo -20 Mvar, a azul correspondente a 0 Mvar e a verde correspondente à injeção de +20 Mvar. A magnitude de tensão V_0 na barra 0 é fixa e igual a 1 pu com ângulo θ_0 igual a 0° e o ângulo do fator de potência ϕ_1 da carga é constante e igual a 27° indutivos. A carga ativa é maior ou igual a zero, isto é, exclui-se a possibilidade de haver um gerador na barra 1.

Na Figura 7.18 nota-se que na região superior das curvas PV existe uma única solução para cada valor de compensação reativa com a mesma tensão de $V_1=0,95$ pu. Como existe uma máxima transferência de potência ativa à carga, a tendência do máximo de cada curva PV é crescer e ficar cada vez mais perto do ponto de operação com $V_1=0,95$ pu e, portanto, a margem de potência nesta barra tende a diminuir.

Nota-se que é possível aumentar a margem de potência da barra de tensão controlada medido em relação ao máximo da curva PV desde que se aumente a tensão nesta barra a partir de um ponto de operação que se encontre na região superior da curva PV. Espera-se o mesmo comportamento nas curvas SV.

Se a barra de tensão controlada estiver na região superior da curva SV, isto é, com índices β e M positivos, espera-se ter uma maior margem de potência na barra de carga do caminho de transmissão 0-1-2 quando a tensão na barra intermediária aumenta. Por outro lado, mantendo-se a tensão controlada na barra intermediária e acrescentando-se o ramo 1-2, a margem de potência na barra de carga do caminho 0-1-2 diminui porque o ponto do máximo da curva PV na barra 1 do sub-caminho 0-1 encontra-se mais perto do ponto de operação.

Se a barra de tensão controlada estiver na região inferior da curva SV, isto é, com índices β e M negativos, espera-se ter uma menor margem de potência na barra de carga do caminho de transmissão 0-1-2 quando tenta-se aumentar a tensão na barra no meio do caminho. Isto porque esta tentativa reduziria a tensão. Por outro lado, mantendo-se a tensão controlada na barra intermediária e acrescentando-se o ramo 1-2, a margem de potência na barra de carga do caminho 0-1-2 diminui porque o ponto do máximo da curva SV na barra 1 do sub-caminho 0-1 encontra-se mais longe do ponto de operação.

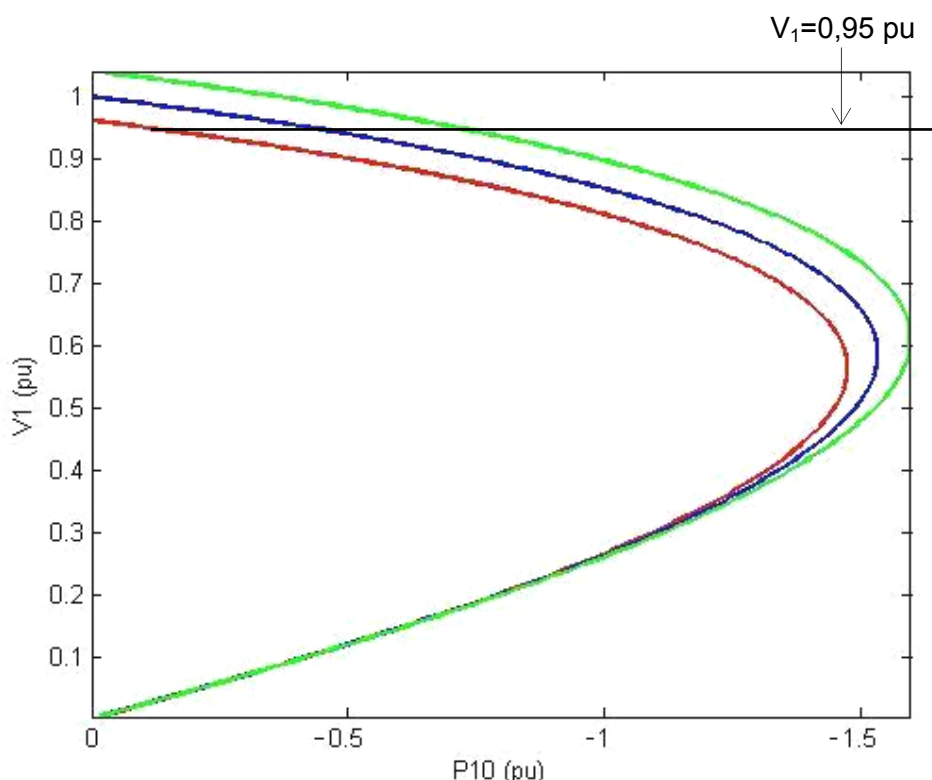


Figura 7.18 - Curvas P_{10} vs V_1 para Diferentes Compensação Reativa na Barra de Carga

Para comprovar o dito, tem-se o sistema de três barras da Figura 7.17 e a partir do ponto de operação mostrado na Tabela 7.24 muda-se a magnitude da tensão controlada pelo CS da barra do meio do caminho de transmissão 0-1-2. Na Tabela 7.28 é mostrado os resultados das margens de potência na barra de

carga dos sub-caminhos de transmissão obtido pelo programa CaTrans quando a tensão controlada era $V=0,665$ pu e na Tabela 7.29 quando era $V=0,745$ pu.

Quando a tensão controlada é $V=0,665$ pu, tem-se:

- potência reativa gerada pelo compensador síncrono é -6,4 Mvar,
- margem de potência do sub-caminho de transmissão 0-1 é $M=4,6376$ % e
- margem de potência do caminho de transmissão 0-1-2 é $M=3,9392$ %.

Quando a tensão controlada é $V=0,745$ pu, tem-se:

- potência reativa gerada pelo compensador síncrono é +6,8 Mvar,
- margem de potência do sub-caminho de transmissão 0-1 é $M=13,6469$ % e
- margem de potência do caminho de transmissão 0-1-2 é $M=9,4543$ %.

A margem do sub-caminho 0-1 aumentou de $M=4,6376$ % a $M=13,6469$ % quando a tensão controlada aumentou de $V=0,665$ pu a $V=0,745$ pu. Logo, é esperado que a margem de potência quando inserido o ramo 1-2 ao caminho de transmissão 0-1-2 também aumente, e esta passou de $M=3,9392$ % a $M=9,4543$ %. O ponto de operação da barra de tensão controlada se encontra na região superior da curva SV. A inserção do ramo 1-2 ao sub-caminho de transmissão 0-1 produz uma diminuição da margem de potência na barra de carga porque o ramo 1-2 é uma simples linha de transmissão que aumenta o esforço de transmissão de potência da barra de geração até a barra de carga. Nota-se também que a tensão controlada aumentou, assim como, a potência reativa injetada pelo CS.

Tabela 7.28 - Sub-Caminhos de Transmissão para o Sistema de Três Barras com Tensão Controlada por CS em $V=0,665$ pu na Barra do Meio

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO:	0	1
	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SERIE	0,2000	90,0000
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	-----	-----
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	-----	-----
	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0000	0,0000
TENSÃO NA CARGA	0,6645	-20,4276
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA	0,5554	-25,8074

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1529	1,9046	2,2263
CARGA	1,1529	0,9133	1,4708
CARGA CRÍTICA	1,2089	0,9577	1,5423

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	1,4708	1,5423	4,6376

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 0 1 2

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SERIE	0,2097	89,0385
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	145,2659	109,0392
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	7,2626	89,0385

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0000	0,0000
TENSÃO NA CARGA	0,6427	-21,4927
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA	0,5445	-26,8061

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1529	1,9046	2,2263
CARGA	1,1400	0,8080	1,3973
CARGA CRÍTICA	1,1853	0,8431	1,4546

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	1,3973	1,4546	3,9392

Tabela 7.29 - Sub-Caminhos de Transmissão para o Sistema de Três Barras com Tensão Controlada por CS em $V=0,745$ pu na Barra do Meio

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 0 1

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SERIE	0,2000	90,0000
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	-----	-----
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	-----	-----

	MÓDULO	ÂNGULO
TENSÃO NO GERADOR	1,0000	0,0000
TENSÃO NA CARGA	0,7448	-18,0747
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA	0,5668	-28,0929

	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1524	1,4691	1,8672
CARGA	1,1524	0,7719	1,3870
CARGA CRÍTICA	1,3345	0,8938	1,6062

	S_i	S_m	M(%)
ÍNDICES	1,3870	1,6062	13,6469

*** CAMINHO DE TRANSMISSÃO: 0 1 2

	MÓDULO	ÂNGULO
IMPEDÂNCIA DO RAMO SERIE	0,2092	89,0876
IMPEDÂNCIA SHUNT NO GERADOR	160,2110	-70,9116
IMPEDÂNCIA SHUNT NA CARGA	8,0098	-90,9123

	MÓDULO	ÂNGULO	
TENSÃO NO GERADOR	1,0000	0,0000	
TENSÃO NA CARGA	0,7269	-18,9212	
TENSÃO CRÍTICA NA CARGA	0,5757	-26,9043	
	ATIVA	REATIVA	APARENTE
GERAÇÃO	1,1524	1,4691	1,8672
CARGA	1,1400	0,8080	1,3973
CARGA CRÍTICA	1,2598	0,8913	1,5432
	S_i	S_m	$M(\%)$
ÍNDICES	1,3973	1,5432	9,4543

Quando o objetivo é o reforço das condições de estabilidade de tensão da barra de carga, nota-se na Figura 7.17 que existe um caminho de transmissão que chega à barra 2 de carga proveniente da barra de tensão controlada pelo gerador síncrono e outro que chega à mesma barra 2 proveniente da barra de tensão controlada pelo compensador síncrono. Aquele, dos dois caminhos de transmissão, que tenha a menor margem de potência na barra de carga é o mais carregado, ou seja, o crítico.

É calculado com o programa CaTrans, para o mesmo ponto de operação da Tabela 7.24, um valor de $M=88,4959\%$ quando o caminho sai do CS e $M=3,9392\%$ quando sai do gerador síncrono. Logo, o pior caminho de transmissão é 2-1-0.

O caminho de transmissão mais carregado que chega a uma barra de carga começa numa barra de tensão controlada no meio do caminho ou em um gerador dependendo da topologia e das condições de operação da rede, como já foi dito.

Conclui-se que, quando a barra em análise é a barra de carga, considera-se um caminho até a barra de tensão controlada intermediária e outro até o gerador, ou seja, a barra de tensão controlada por CS deve ser tratada como uma barra de "início de caminho", como o são as barras controladas por gerador síncrono.