

3

Agregação Dinâmica de Modelos de Reguladores de Tensão: Resultados

3.1.

Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de agregação dinâmica de unidades geradoras coerentes para determinação de modelos equivalentes de reguladores de tensão. As simulações foram feitas utilizando o sistema teste New England, apresentado no Apêndice 1, e o método de simulação linear MSL-II [3], considerando diferentes faltas e índices de qualidade da coerência. À medida que o índice de qualidade da coerência diminui, o número de geradores de cada grupo coerente aumenta.

Para cada simulação, serão apresentados os valores dos parâmetros dos modelos individuais de reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. Os diagramas de Bode (módulo e fase) para a avaliação do ajuste entre as funções de transferência agregada e equivalente também serão apresentados.

Os modelos de reguladores de tensão 19, 20 e 21 do ANATEM [17] foram implementados em linguagem FORTRAN no programa EDINCO [15].

O objetivo dos testes é a determinação do melhor modelo de regulador de tensão equivalente para uma dada composição de modelos individuais.

O desempenho dinâmico será avaliado no capítulo 4.

3.2.

Análise de Desempenho do Método de Agregação Dinâmica

Foram realizadas diversas simulações com índices de qualidade de coerência variando entre 50% e 90%, e para curtos-circuitos trifásicos com duração de 67 ms aplicados nas barras 25 e 29 do sistema interno, e eliminação da falta após a abertura de circuito. A seguir são apresentados os resultados de tais simulações, através dos diagramas de Bode e de tabelas que fornecem os valores dos parâmetros dos modelos individuais de reguladores de tensão, e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado.

Para os testes 1, 2 e 3 foi aplicado um curto-circuito trifásico na barra 29, eliminado com a abertura da linha 28-29, considerando-se o índice de qualidade da coerência de 90%. Neste caso, são formados os grupos coerentes (6,7) e (2,3).

Teste 1: Os modelos individuais dos reguladores de tensão e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 19. A tabela 3.1 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. As figuras 3.1 e 3.2 apresentam os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7) e para o grupo (2,3), respectivamente.

Tabela 3.1 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19) e equivalentes (MD19) dos grupos (6,7) e (2,3).

Teste 01 CC 29, q = 90%						
Parâmetros	Gerador		Equivalente (MD19)	Gerador		Equivalente (MD19)
	6 (MD19)	7 (MD19)		2 (MD19)	3 (MD19)	
K_1	262,700	240,300	251,500	252,400	262,700	257,550
K_2	63,500	61,500	62,500	62,400	61,500	61,950
K_{R1}	27,670	25,550	27,352	29,430	27,670	28,755
K_{R2}	7,400	6,100	5,464	7,200	6,800	6,820
T_{A1}	0,120	0,140	0,129	0,120	0,110	0,114
T_{A2}	0,150	0,140	0,121	0,120	0,140	0,123
T_{E1}	0,270	0,310	0,333	0,290	0,240	0,268
T_{E2}	0,160	0,130	0,120	0,150	0,160	0,150
T_{R1}	1,130	1,140	1,117	1,130	1,140	1,151
T_{R2}	1,130	1,140	1,103	1,130	1,140	1,134
L_{MAX1}	4,000	4,500	4,500	4,500	5,000	5,000
L_{MAX2}	0,050	0,030	0,050	0,030	0,050	0,050
L_{MIN1}	0,050	0,040	0,040	0,070	0,050	0,050
L_{MIN2}	-0,740	-0,690	-0,740	-0,740	-0,690	-0,740

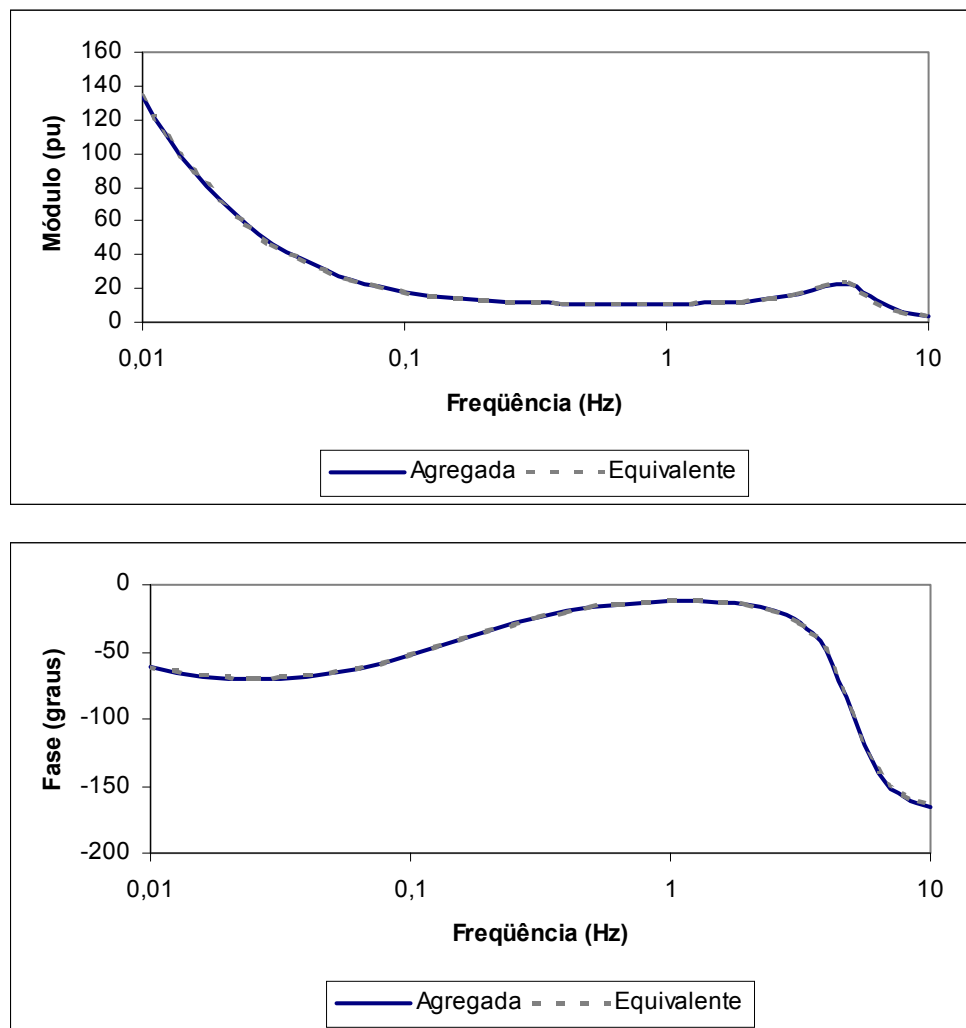


Figura 3.1 – Diagramas de Bode das funções de transferência do modelo 19 de regulador de tensão: grupo (6,7). Equivalente – modelo 19.

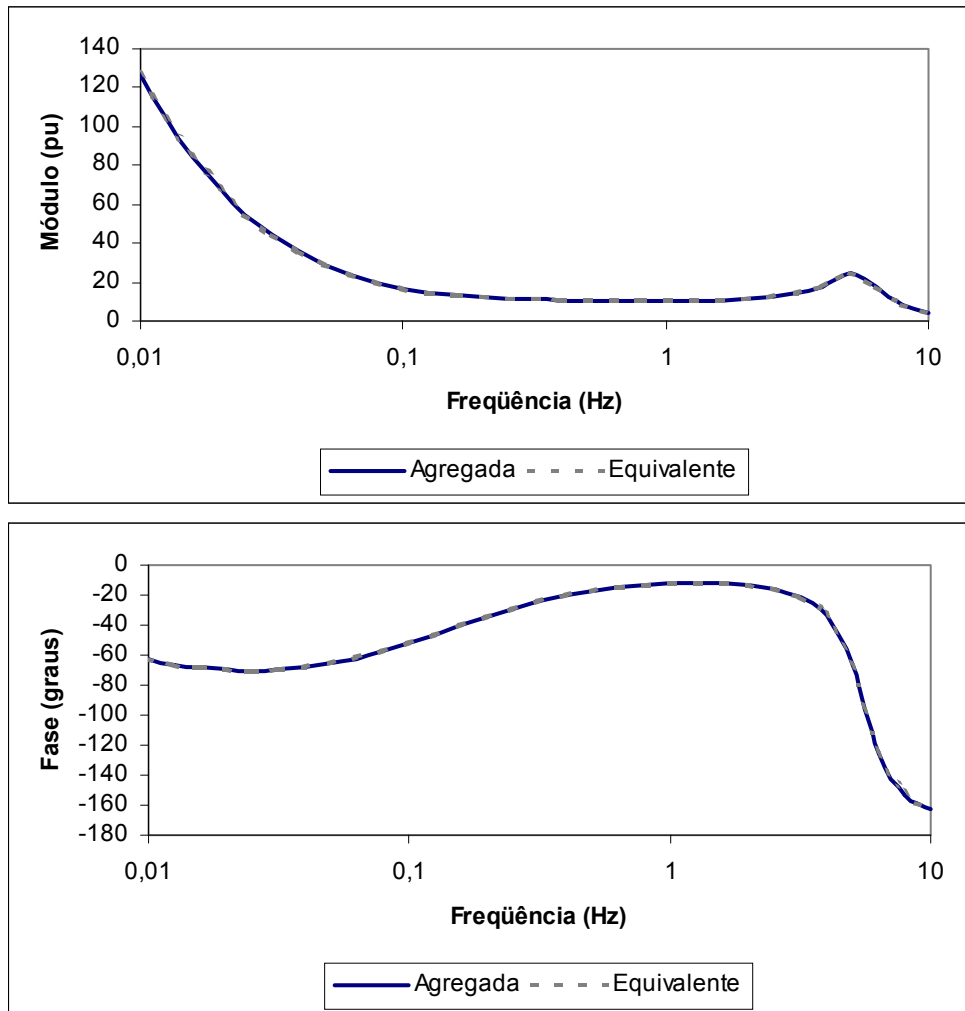


Figura 3.2 – Diagramas de Bode das funções de transferência do modelo 19 de regulador de tensão: grupo (2,3). Equivalente – modelo 19.

Este teste mostra, como esperado, o bom ajuste entre as funções de transferência agregada e equivalente quando os modelos de reguladores de tensão individuais e equivalente são do mesmo tipo, apesar das diferenças dos valores dos parâmetros destes reguladores.

Teste 2: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 21, e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 1. A tabela 3.2 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. As figuras 3.3 e 3.4 apresentam os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7) e para o grupo (2,3), respectivamente.

Tabela 3.2 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD21) e equivalentes (MD01) dos grupos (6,7) e (2,3).

Teste 02 CC 29, q = 90%						
Parâmetros	Gerador		Equivalente (MD01)	Gerador		Equivalente (MD01)
	6 (MD21)	7 (MD01)		2 (MD01)	3 (MD21)	
K_A	---	45,000	120,180	40,000	---	123,700
T_A	---	0,020	0,009	0,050	---	0,029
K	380,000	---	---	---	420,000	---
T	0,010	---	---	---	0,030	---
K_E	1,100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
T_E	1,200	0,730	0,717	0,405	0,981	0,472
K_F	0,071	0,030	0,070	0,057	0,060	0,071
T_F	1,820	1,000	1,628	0,500	1,000	0,960
L_{MAX1}	10,700	8,500	8,500	9,000	7,000	9,000
L_{MAX2}	14,000	---	---	---	14,000	---
L_{MIN1}	-12,000	-6,500	-6,500	-7,000	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	-14,000	---	---	---	-14,000	---

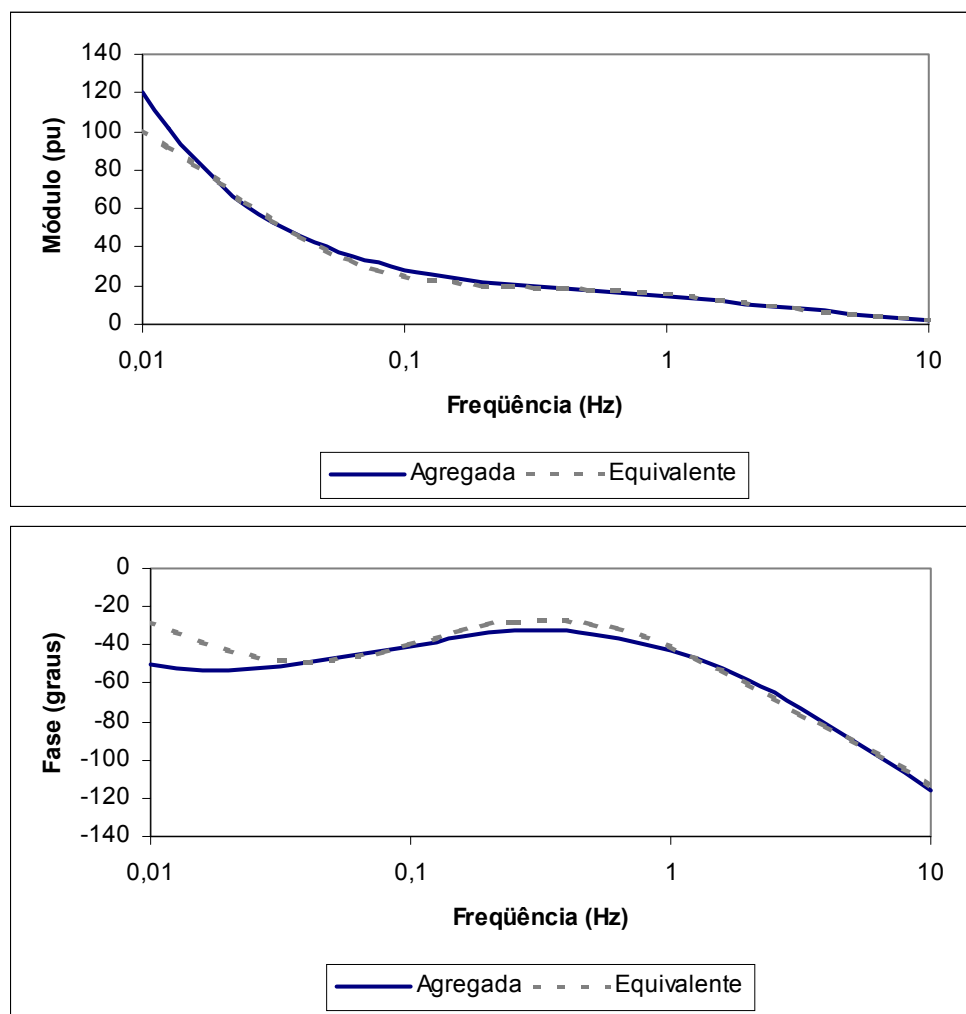


Figura 3.3 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 21: grupo (6,7). Equivalentente – modelo 1.

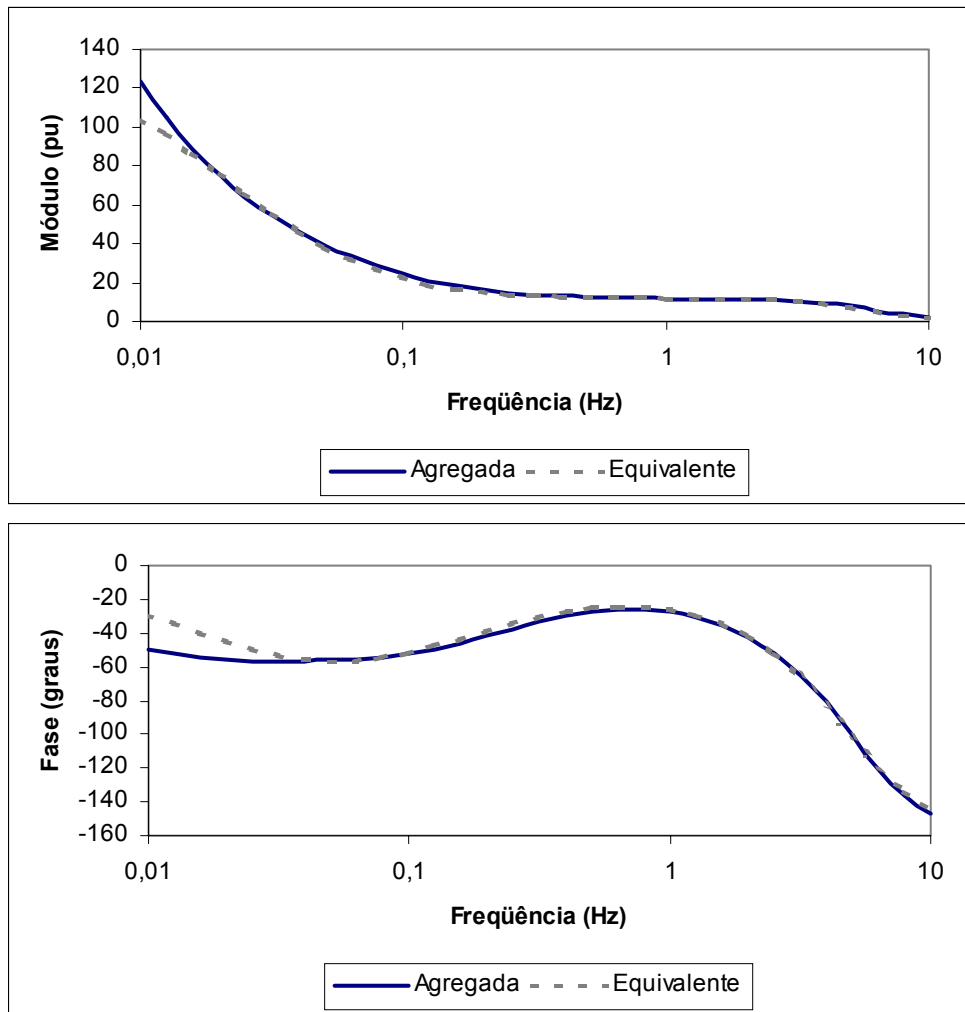


Figura 3.4 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 21: grupo (2,3). Equivalente – modelo 1.

Teste 3: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 21, e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 21. Os resultados são similares aos obtidos no teste 2.

Assim, para grupos coerentes formados por reguladores de tensão cujos modelos individuais sejam do tipo 1 e 21, o equivalente escolhido poderá ser tanto o modelo 1 quanto o modelo 21. Isto se justifica pela similaridade estrutural entre estes dois modelos.

Para os testes 4, 5 e 6 foi aplicado um curto-circuito trifásico na barra 25, eliminado com a abertura da linha 25-26, considerando-se o índice de qualidade da coerência de 90%. Neste caso, dois grupos coerentes são formados: (6,7,4) e (2,3).

Teste 4: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 19 e 21, e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 19. A tabela 3.3 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. As figuras 3.5 e 3.6 apresentam os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4) e para o grupo (2,3), respectivamente.

Tabela 3.3 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19, MD21) e equivalentes (MD19) dos grupos (6,7,4) e (2,3).

Teste 04 CC 25, q = 90%							
Parâmetros	Gerador			Equivalente (MD19)	Gerador		Equivalente (MD19)
	6 (MD19)	7 (MD21)	4 (MD19)		2 (MD19)	3 (MD21)	
K	---	400,000	---	---	---	420,000	---
T	---	0,050	---	---	---	0,030	---
K _E	---	1,200	---	---	---	1,000	---
T _E	---	0,920	---	---	---	0,981	---
K _F	---	0,060	---	---	---	0,060	---
T _F	---	1,000	---	---	---	1,000	---
K ₁	262,700	---	232,500	165,067	252,400	---	126,200
K ₂	63,500	---	65,500	43,000	62,400	---	31,200
K _{R1}	27,670	---	27,670	14,590	29,430	---	8,553
K _{R2}	7,400	---	7,400	3,182	7,200	---	3,312
T _{A1}	0,120	---	0,100	0,146	0,120	---	0,148
T _{A2}	0,150	---	0,130	0,064	0,120	---	0,067
T _{E1}	0,270	---	0,240	0,229	0,290	---	0,148
T _{E2}	0,160	---	0,180	0,098	0,150	---	0,075
T _{R1}	1,130	---	1,110	1,149	1,130	---	1,054
T _{R2}	1,130	---	1,110	0,765	1,130	---	1,043
L _{MAX1}	4,000	7,000	4,000	4,000	4,500	7,000	4,500
L _{MAX2}	0,050	14,000	0,050	0,050	0,030	14,000	0,030
L _{MIN1}	0,050	-7,000	0,040	0,040	0,070	-7,000	0,070
L _{MIN2}	-0,740	-14,000	-0,740	-0,740	-0,740	-14,000	-0,740

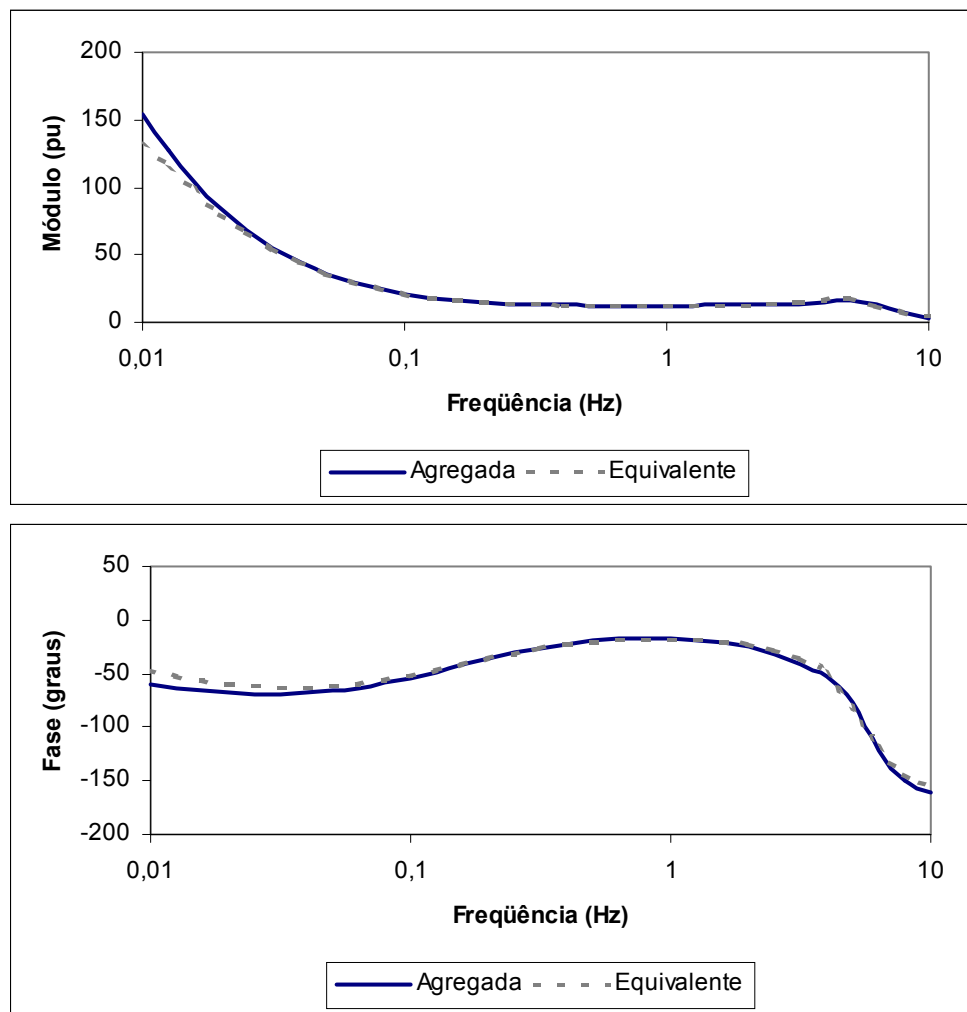


Figura 3.5 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (6,7,4). Equivalente – modelo 19.

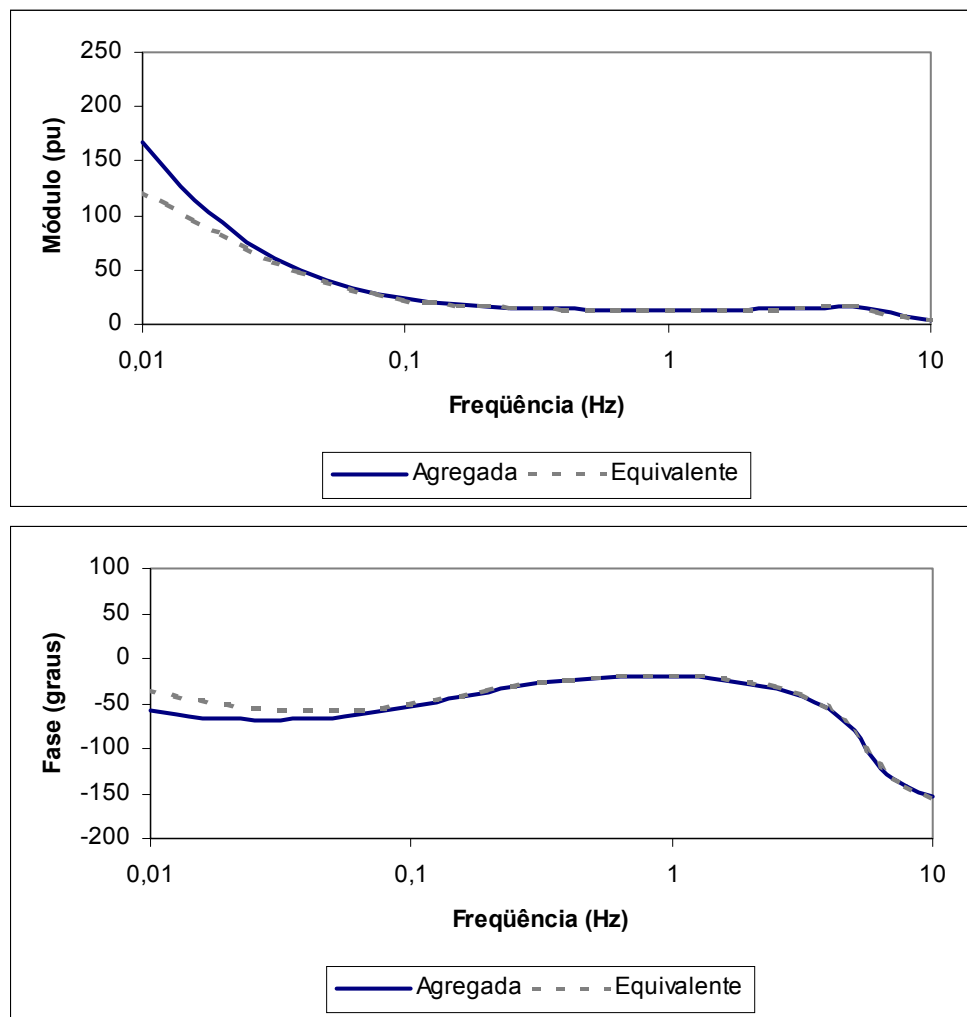


Figura 3.6 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (2,3). Equivalente – modelo 19.

Teste 5: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 19 e 21 (mesma composição do teste 4), e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 21. A tabela 3.4 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. As figuras 3.7 e 3.8 apresentam os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4) e para o grupo (2,3), respectivamente. Verifica-se que o modelo equivalente 21 apresenta parâmetro negativo (K_E), não podendo ser escolhido como equivalente.

Tabela 3.4 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19, MD21) e equivalentes (MD21) dos grupos (6,7,4) e (2,3).

Teste 05 CC 25, $\eta = 90\%$							
Parâmetros	Gerador			Equivalente (MD21)	Gerador		Equivalente (MD21)
	6 (MD19)	7 (MD21)	4 (MD19)		2 (MD19)	3 (MD21)	
K	---	400,000	---	154,150	---	420,000	168,020
T	---	0,050	---	0,056	---	0,030	0,047
K_E	---	1,200	---	-4,750	---	1,000	-10,400
T_E	---	0,920	---	0,226	---	0,981	0,280
K_F	---	0,060	---	0,083	---	0,060	0,075
T_F	---	1,000	---	1,026	---	1,000	0,994
K_1	262,700	---	232,500	---	252,400	---	---
K_2	63,500	---	65,500	---	62,400	---	---
K_{R1}	27,670	---	27,670	---	29,430	---	---
K_{R2}	7,400	---	7,400	---	7,200	---	---
T_{A1}	0,120	---	0,100	---	0,120	---	---
T_{A2}	0,150	---	0,130	---	0,120	---	---
T_{E1}	0,270	---	0,240	---	0,290	---	---
T_{E2}	0,160	---	0,180	---	0,150	---	---
T_{R1}	1,130	---	1,110	---	1,130	---	---
T_{R2}	1,130	---	1,110	---	1,130	---	---
L_{MAX1}	4,000	7,000	4,000	7,000	4,500	7,000	7,000
L_{MAX2}	0,050	14,000	0,050	14,000	0,030	14,000	14,000
L_{MIN1}	0,050	-7,000	0,040	-7,000	0,070	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	-0,740	-14,000	-0,740	-14,000	-0,740	-14,000	-14,000

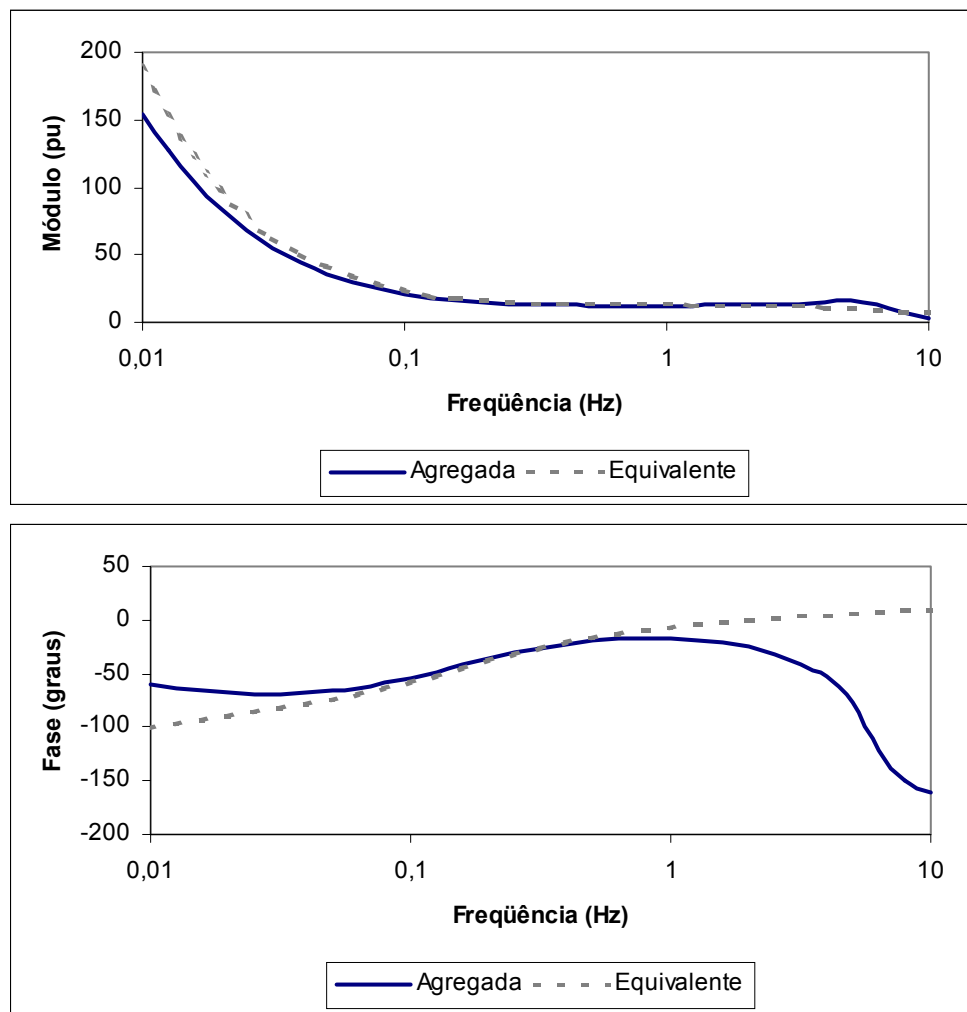


Figura 3.7 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (6,7,4). Equivalente – modelo 21.

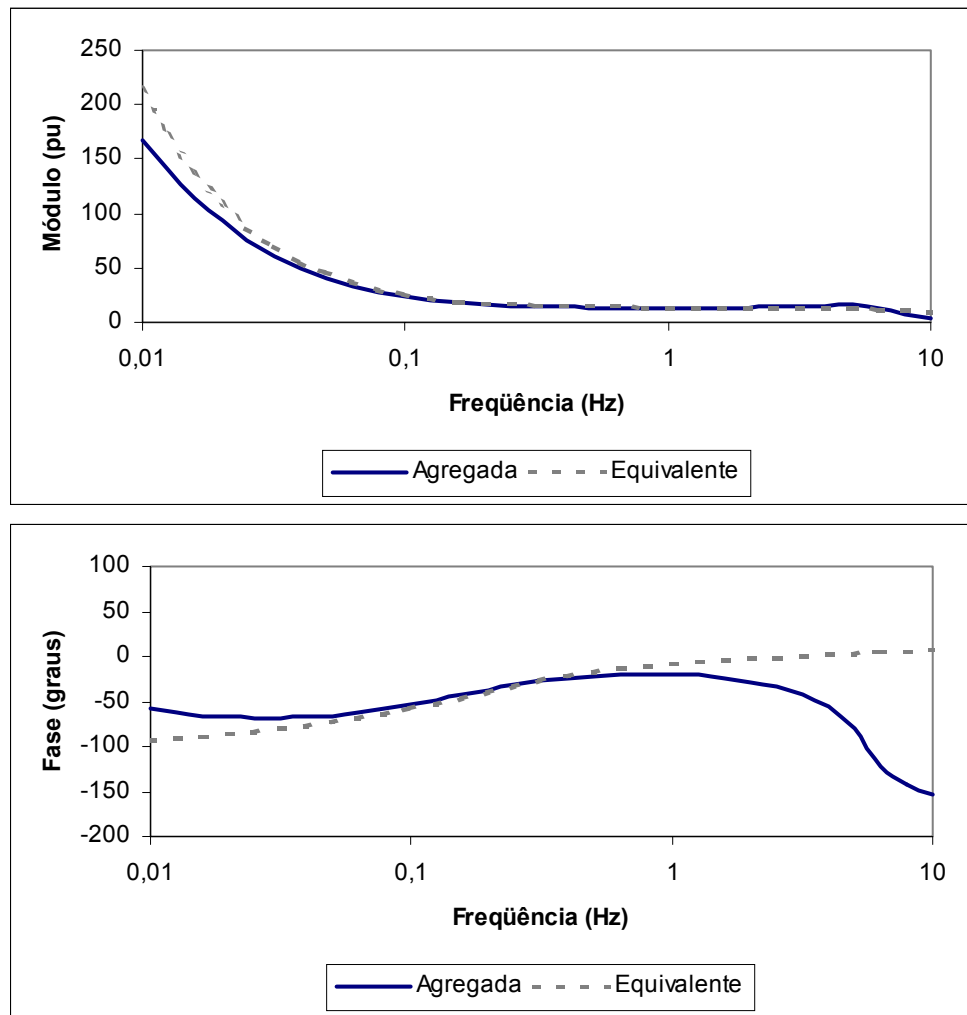


Figura 3.8 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (2,3). Equivalente – modelo 21.

Teste 6: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 19 e 21 (mesma composição do teste 4), e o modelo equivalente de cada grupo coerente é do tipo 20. A tabela 3.5 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente de cada grupo coerente formado. As figuras 3.9 e 3.10 apresentam os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4) e para o grupo (2,3), respectivamente. Verifica-se que o modelo equivalente 20 apresenta constantes de tempo negativas, não podendo ser escolhido como equivalente.

Tabela 3.5 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19, MD21) e equivalentes (MD20) dos grupos (6,7,4) e (2,3).

Teste 06 CC 25, $\eta = 90\%$							
Parâmetros	Gerador			Equivalente (MD20)	Gerador		Equivalente (MD20)
	6 (MD19)	7 (MD21)	4 (MD19)		2 (MD19)	3 (MD21)	
K_A	---	---	---	154,150	---	---	168,020
K	---	400,000	---	---	---	420,000	---
T	---	0,050	---	---	---	0,030	---
K_E	---	1,200	---	---	---	1,000	---
T_E	---	0,920	---	---	---	0,981	---
K_F	---	0,060	---	---	---	0,060	---
T_F	---	1,000	---	---	---	1,000	---
T_1	---	---	---	1,162	---	---	1,137
T_2	---	---	---	14,843	---	---	14,553
T_3	---	---	---	-0,017	---	---	-0,016
T_4	---	---	---	0,051	---	---	0,052
K_1	262,700	---	232,500	---	252,400	---	---
K_2	63,500	---	65,500	---	62,400	---	---
K_{R1}	27,670	---	27,670	---	29,430	---	---
K_{R2}	7,400	---	7,400	---	7,200	---	---
T_{A1}	0,120	---	0,100	---	0,120	---	---
T_{A2}	0,150	---	0,130	---	0,120	---	---
T_{E1}	0,270	---	0,240	---	0,290	---	---
T_{E2}	0,160	---	0,180	---	0,150	---	---
T_{R1}	1,130	---	1,110	---	1,130	---	---
T_{R2}	1,130	---	1,110	---	1,130	---	---
L_{MAX1}	4,000	7,000	4,000	7,000	4,500	7,000	7,000
L_{MAX2}	0,050	14,000	0,050	---	0,030	14,000	---
L_{MIN1}	0,050	-7,000	0,040	-7,000	0,070	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	-0,740	-14,000	-0,740	---	-0,740	-14,000	---

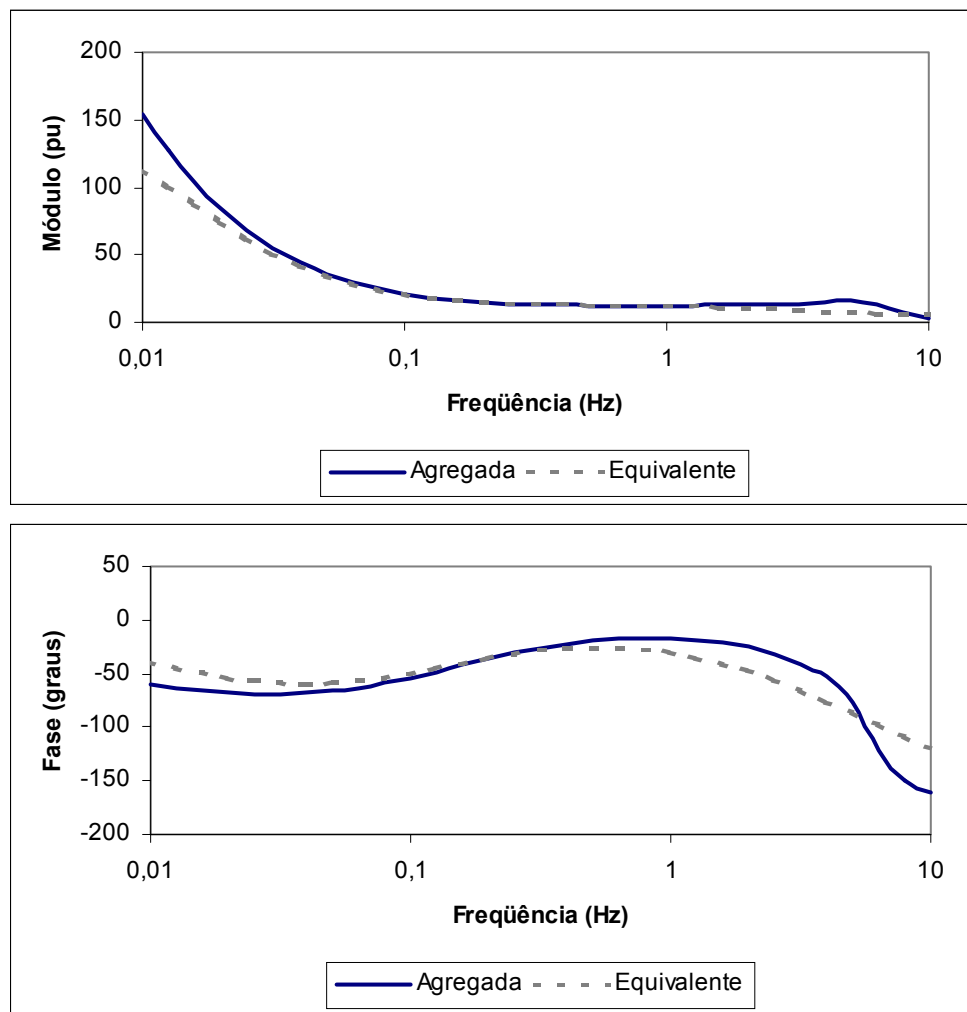


Figura 3.9 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (6,7,4). Equivalente – modelo 20.

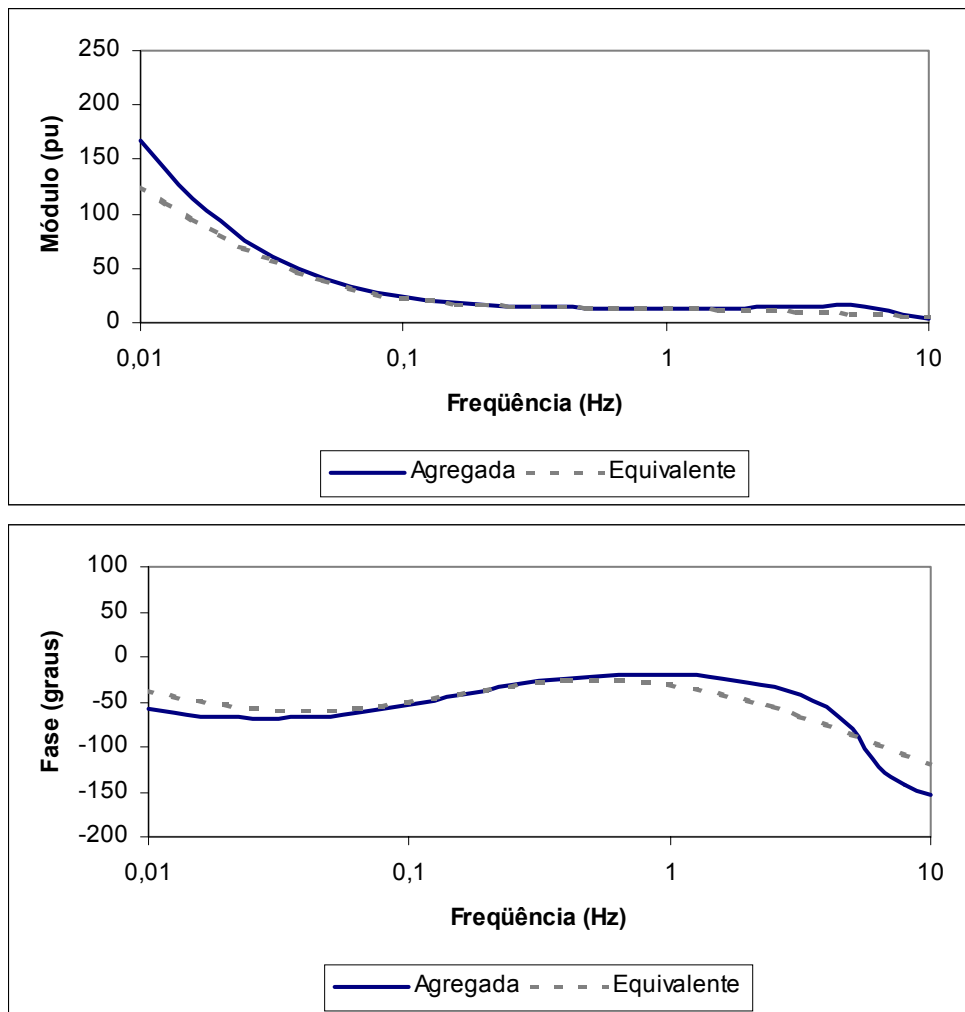


Figura 3.10 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 21: grupo (2,3). Equivalente – modelo 20.

A análise dos testes 4, 5 e 6 revela que, para grupos coerentes formados por reguladores de tensão com modelos individuais do tipo 19 e 21, a melhor escolha para o equivalente deverá ser o modelo 19. Quando os modelos 20 e 21 são escolhidos como equivalente, o resultado numérico do método de agregação dinâmica indica a presença de parâmetros negativos, o que torna estes modelos inviáveis para esta configuração de modelos individuais.

Do teste 7 ao 18 foi aplicado um curto-circuito trifásico na barra 29, eliminado com a abertura da linha 28-29, considerando-se o índice de qualidade da coerência de 50%. Neste caso, as unidades geradoras 6, 7, 4, 2 e 3 formam um grupo coerente.

Teste 7: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1, 19, 20 e 21, e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 1. A tabela 3.6 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.11 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 1 apresenta constante de tempo negativa (T_A).

Tabela 3.6 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19, MD20, MD21) e equivalente (MD01) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 07 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD01)
	6 (MD01)	7 (MD21)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD20)	
K_A	35,000	---	---	---	250,000	126,720
T_A	0,020	---	---	---	---	-0,017
K	---	400,000	---	---	---	---
T	---	0,050	---	---	---	---
K_E	1,000	1,200	---	---	---	-0,120
T_E	0,471	0,920	---	---	---	0,241
K_F	0,075	0,060	---	---	---	0,078
T_F	1,246	1,000	---	---	---	1,575
T_1	---	---	---	---	2,000	---
T_2	---	---	---	---	14,000	---
T_3	---	---	---	---	1,100	---
T_4	---	---	---	---	1,000	---
K_1	---	---	232,500	252,400	---	---
K_2	---	---	65,500	62,400	---	---
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	---	---
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	---	---
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	---	---
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	---	---
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	---	---
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	---	---
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	---	---
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	---	---
L_{MAX1}	9,000	7,000	4,000	4,500	9,000	9,000
L_{MAX2}	---	14,000	0,050	0,030	---	---
L_{MIN1}	-6,000	-7,000	0,040	0,070	-7,000	-6,000
L_{MIN2}	---	-14,000	-0,740	-0,740	---	---

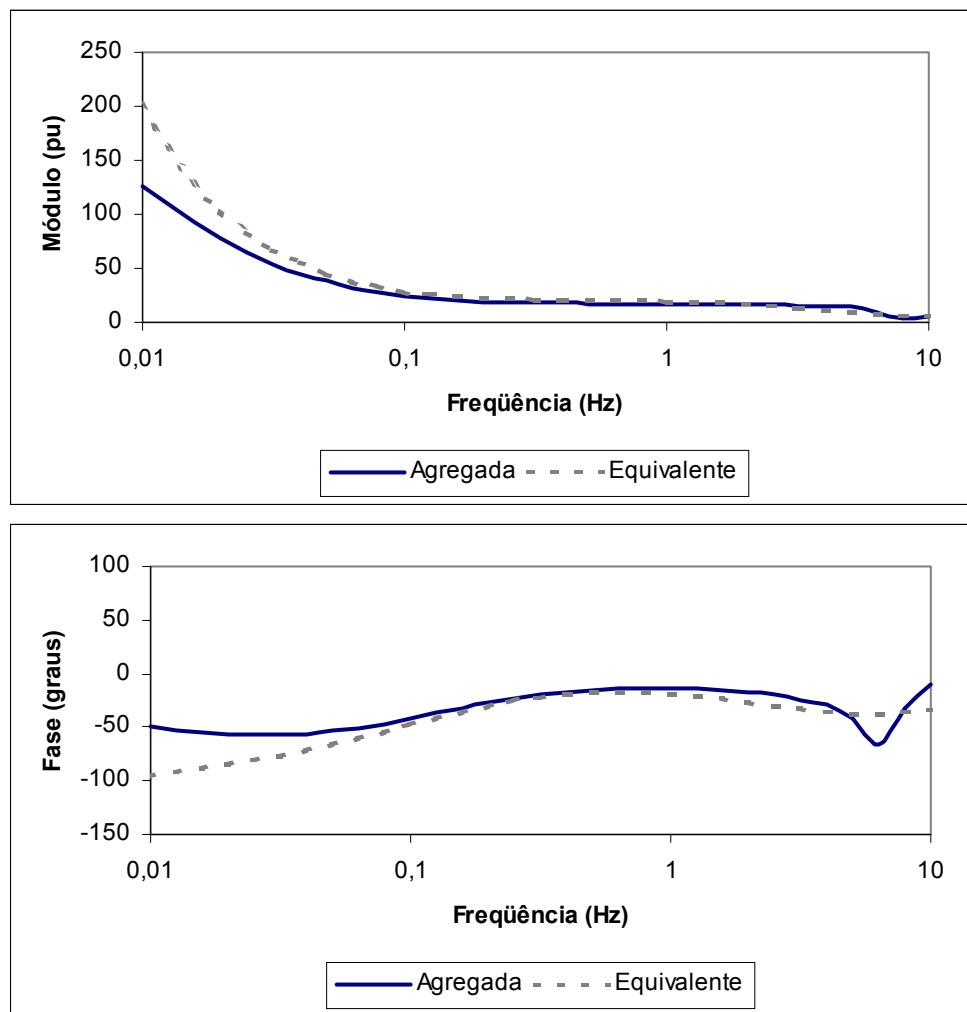


Figura 3.11 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1, 19, 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 1.

Teste 8: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1, 19, 20 e 21 (mesma composição do teste 7), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 19. A tabela 3.7 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.12 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 19 apresenta constantes de tempo negativas (T_{A1} e T_{E2}).

Tabela 3.7 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19, MD20, MD21) e equivalente (MD19) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 08 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD19)
	6 (MD01)	7 (MD21)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD20)	
K_A	35,000	---	---	---	250,000	---
T_A	0,020	---	---	---	---	---
K	---	400,000	---	---	---	---
T	---	0,050	---	---	---	---
K_E	1,000	1,200	---	---	---	---
T_E	0,471	0,920	---	---	---	---
K_F	0,075	0,060	---	---	---	---
T_F	1,246	1,000	---	---	---	---
T_1	---	---	---	---	2,000	---
T_2	---	---	---	---	14,000	---
T_3	---	---	---	---	1,100	---
T_4	---	---	---	---	1,000	---
K_1	---	---	232,500	252,400	---	96,980
K_2	---	---	65,500	62,400	---	25,580
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	---	9,205
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	---	0,013
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	---	-0,022
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	---	0,117
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	---	0,350
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	---	-0,015
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	---	1,391
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	---	0,478
L_{MAX1}	9,000	7,000	4,000	4,500	9,000	4,500
L_{MAX2}	---	14,000	0,050	0,030	---	0,050
L_{MIN1}	-6,000	-7,000	0,040	0,070	-7,000	0,040
L_{MIN2}	---	-14,000	-0,740	-0,740	---	-0,740

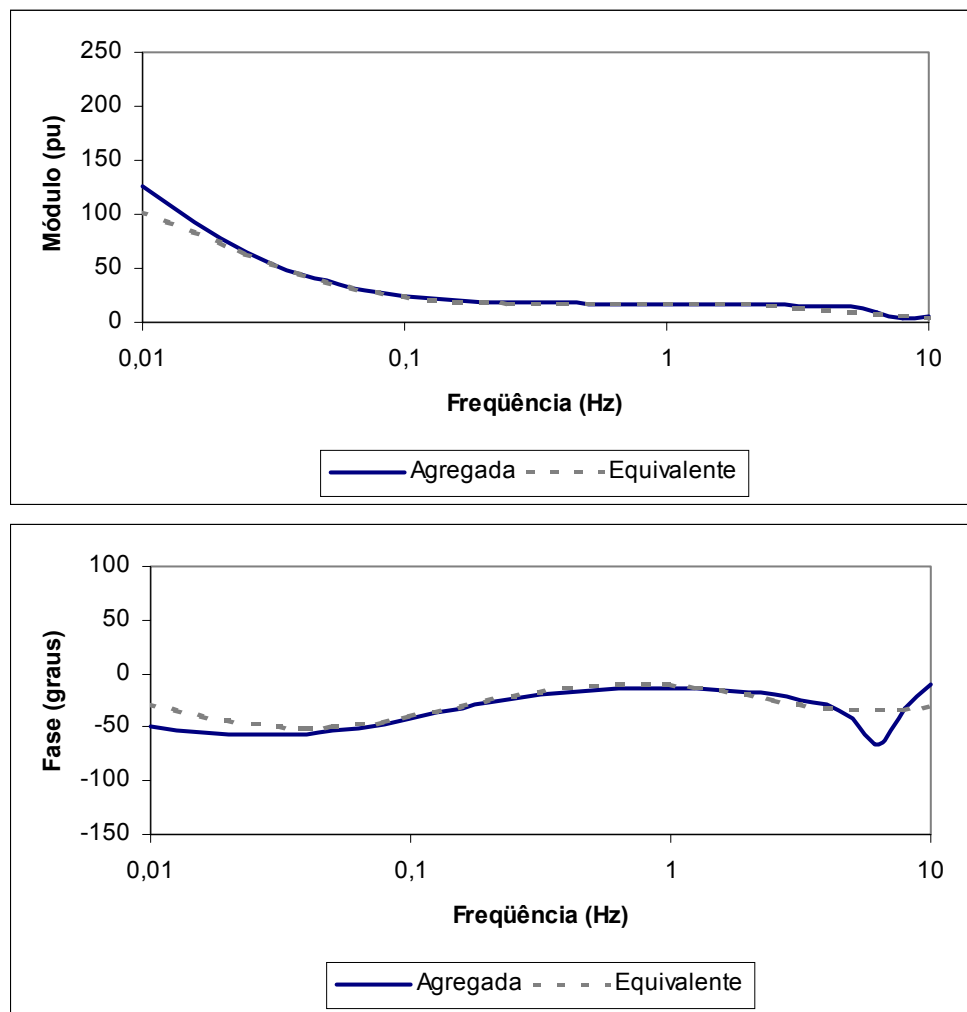


Figura 3.12 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1, 19, 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 19.

Teste 9: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1, 19, 20 e 21 (mesma composição do teste 7), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 20. A tabela 3.8 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.13 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). Verifica-se o bom ajuste das funções de transferência agregada e equivalente. O modelo equivalente 20 não apresenta constantes de tempo negativas neste caso.

Tabela 3.8 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19, MD20, MD21) e equivalente (MD20) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 09 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD20)
	6 (MD01)	7 (MD21)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD20)	
K_A	35,000	---	---	---	250,000	126,720
T_A	0,020	---	---	---	---	---
K	---	400,000	---	---	---	---
T	---	0,050	---	---	---	---
K_E	1,000	1,200	---	---	---	---
T_E	0,471	0,920	---	---	---	---
K_F	0,075	0,060	---	---	---	---
T_F	1,246	1,000	---	---	---	---
T_1	---	---	---	---	2,000	1,581
T_2	---	---	---	---	14,000	11,955
T_3	---	---	---	---	1,100	0,013
T_4	---	---	---	---	1,000	0,055
K_1	---	---	232,500	252,400	---	---
K_2	---	---	65,500	62,400	---	---
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	---	---
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	---	---
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	---	---
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	---	---
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	---	---
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	---	---
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	---	---
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	---	---
L_{MAX1}	9,000	7,000	4,000	4,500	9,000	9,000
L_{MAX2}	---	14,000	0,050	0,030	---	---
L_{MIN1}	-6,000	-7,000	0,040	0,070	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	---	-14,000	-0,740	-0,740	---	---

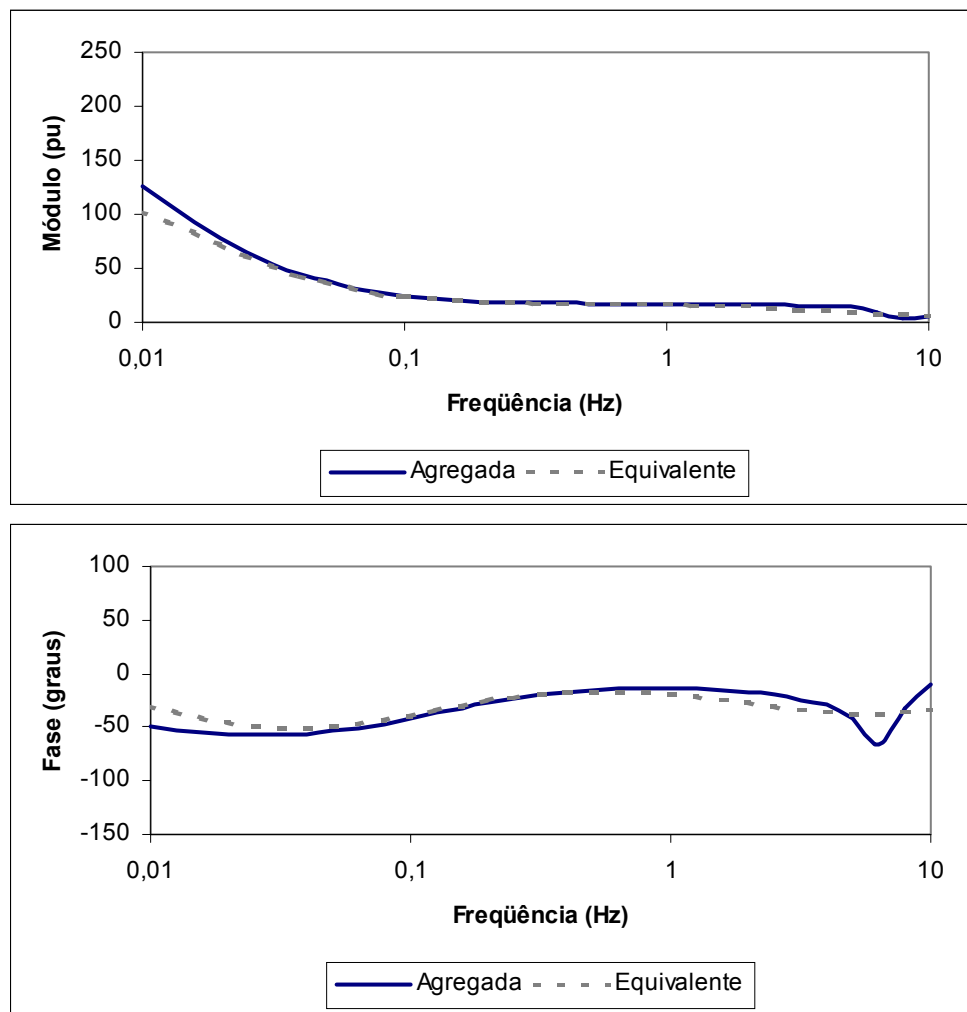


Figura 3.13 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1, 19, 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 20.

Teste 10: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1, 19, 20 e 21 (mesma composição do teste 7), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 21. A tabela 3.9 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.14 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 21 apresenta parâmetros negativos (T e K_E), e o ajuste das funções de transferência é ruim.

Tabela 3.9 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19, MD20, MD21) e equivalente (MD21) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 10 CC 29, $q = 50\%$						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD21)
	6 (MD01)	7 (MD21)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD20)	
K_A	35,000	---	---	---	250,000	---
T_A	0,020	---	---	---	---	---
K	---	400,000	---	---	---	126,720
T	---	0,050	---	---	---	-0,017
K_E	1,000	1,200	---	---	---	-8,30
T_E	0,471	0,920	---	---	---	0,241
K_F	0,075	0,060	---	---	---	0,078
T_F	1,246	1,000	---	---	---	1,575
T_1	---	---	---	---	2,000	---
T_2	---	---	---	---	14,000	---
T_3	---	---	---	---	1,100	---
T_4	---	---	---	---	1,000	---
K_1	---	---	232,500	252,400	---	---
K_2	---	---	65,500	62,400	---	---
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	---	---
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	---	---
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	---	---
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	---	---
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	---	---
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	---	---
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	---	---
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	---	---
L_{MAX1}	9,000	7,000	4,000	4,500	9,000	7,000
L_{MAX2}	---	14,000	0,050	0,030	---	14,000
L_{MIN1}	-6,000	-7,000	0,040	0,070	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	---	-14,000	-0,740	-0,740	---	-14,000

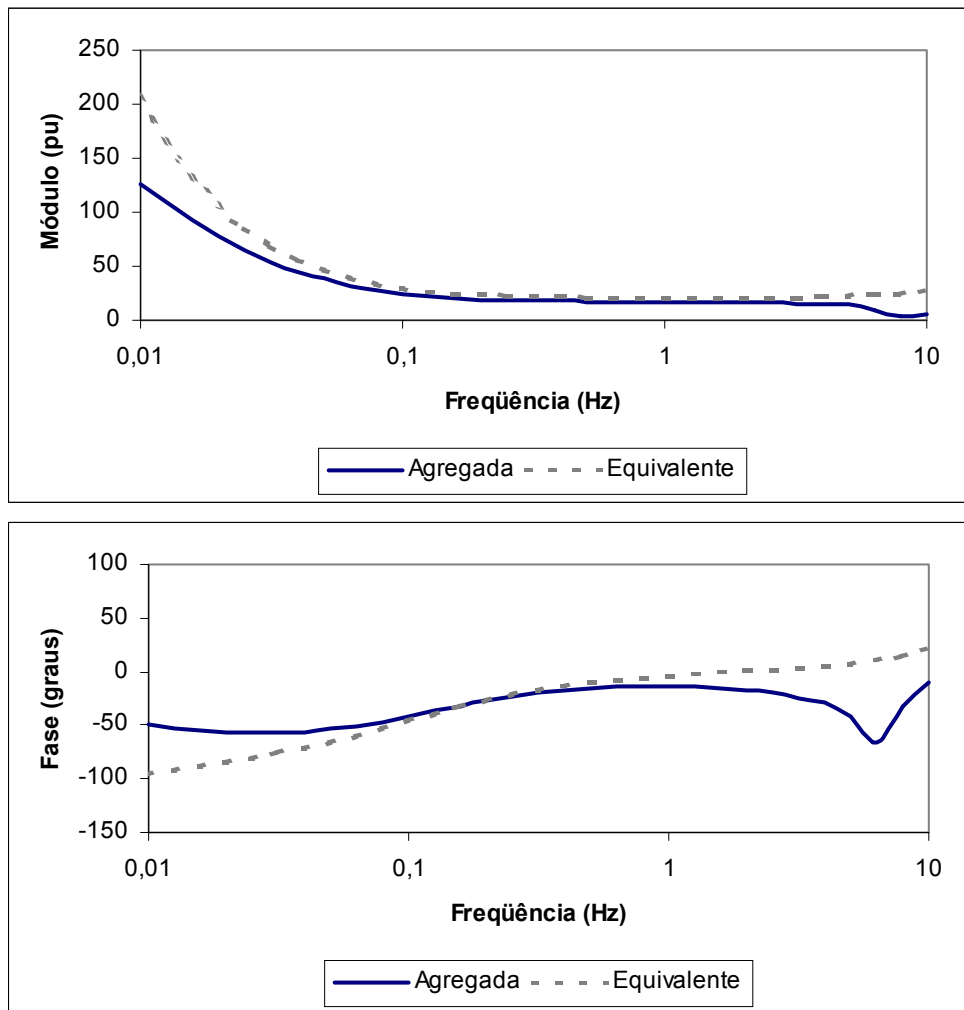


Figura 3.14 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1, 19, 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 21.

Assim, para um grupo coerente constituído pelos modelos 1, 19, 20 e 21, observa-se, pela comparação dos diagramas de Bode e dos resultados numéricos obtidos nos testes 7, 8, 9 e 10, que o modelo 20 apresenta-se como única escolha para o equivalente. O melhor ajuste entre as funções de transferência ocorre com o modelo equivalente 19, porém o resultado numérico do método de agregação dinâmica indica a presença de um valor negativo para a constante de tempo T_{A1} , inviabilizando esta escolha para tal composição. O ajuste entre as funções de transferência é ruim quando os modelos 1 e 21 são escolhidos como equivalentes.

Teste 11: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 19, e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 1. A tabela 3.10 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.15 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3).

Tabela 3.10 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19) e equivalente (MD01) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 11 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD01)
	6 (MD01)	7 (MD01)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD19)	
K_A	35,000	45,000	---	---	---	84,520
T_A	0,020	0,020	---	---	---	0,090
K_E	1,000	1,000	---	---	---	-0,380
T_E	0,471	0,730	---	---	---	0,097
K_F	0,075	0,030	---	---	---	0,103
T_F	1,246	1,000	---	---	---	0,895
K_1	---	---	232,500	252,400	262,700	---
K_2	---	---	65,500	62,400	61,500	---
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	27,670	---
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	6,800	---
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	0,110	---
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	0,140	---
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	0,240	---
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	0,160	---
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	1,140	---
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	1,140	---
L_{MAX1}	9,000	8,500	4,000	4,500	5,000	9,000
L_{MAX2}	---	---	0,050	0,030	0,050	---
L_{MIN1}	-6,000	-6,500	0,040	0,070	0,050	-6,500
L_{MIN2}	---	---	-0,740	-0,740	-0,690	---

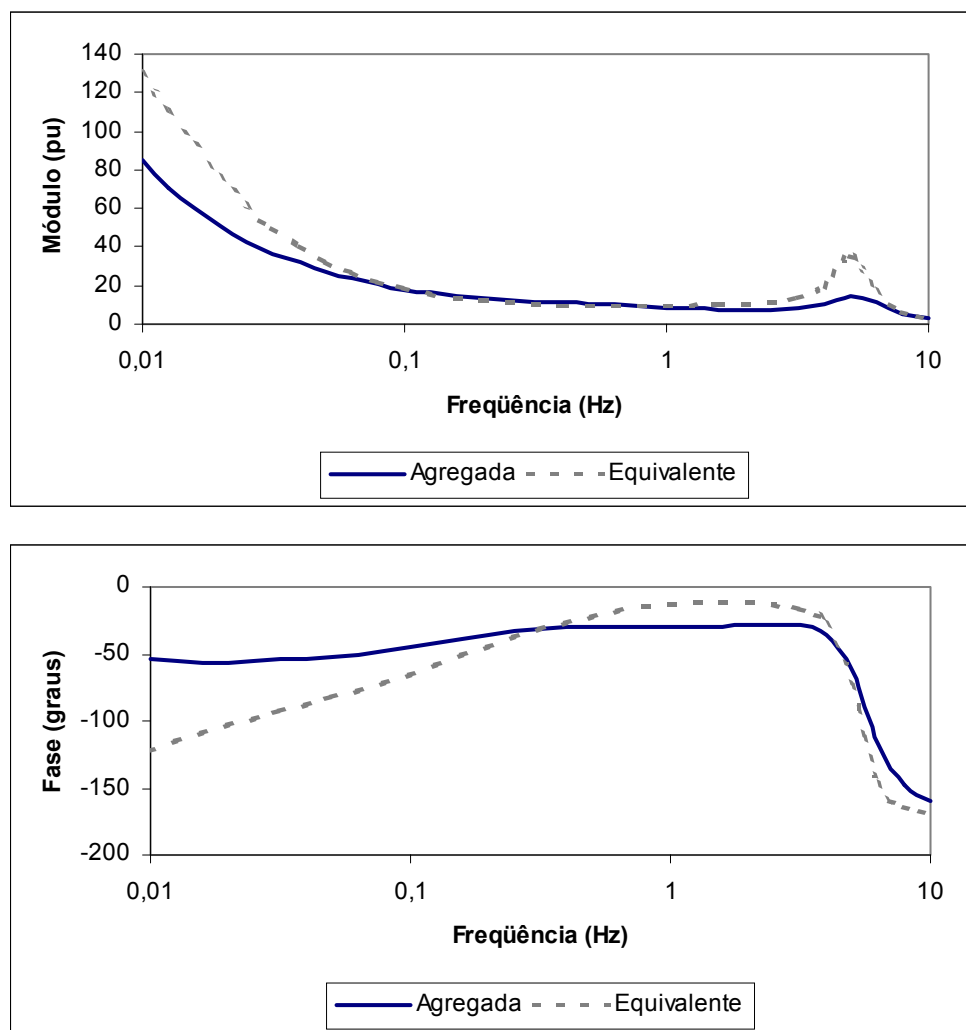


Figura 3.15 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 19: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 1.

Teste 12: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 19 (mesma composição do teste 11), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 19. A tabela 3.11 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.16 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3).

Tabela 3.11 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD19) e equivalente (MD19) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 12 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD19)
	6 (MD01)	7 (MD01)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD19)	
K_A	35,000	45,000	---	---	---	---
T_A	0,020	0,020	---	---	---	---
K_E	1,000	1,000	---	---	---	---
T_E	0,471	0,730	---	---	---	---
K_F	0,075	0,030	---	---	---	---
T_F	1,246	1,000	---	---	---	---
K_1	---	---	232,500	252,400	262,700	149,520
K_2	---	---	65,500	62,400	61,500	37,880
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	27,670	16,954
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	6,800	11,762
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	0,110	0,167
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	0,140	0,105
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	0,240	0,171
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	0,160	0,113
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	1,140	4,552
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	1,140	0,881
L_{MAX1}	9,000	8,500	4,000	4,500	5,000	5,000
L_{MAX2}	---	---	0,050	0,030	0,050	0,050
L_{MIN1}	-6,000	-6,500	0,040	0,070	0,050	0,040
L_{MIN2}	---	---	-0,740	-0,740	-0,690	-0,740

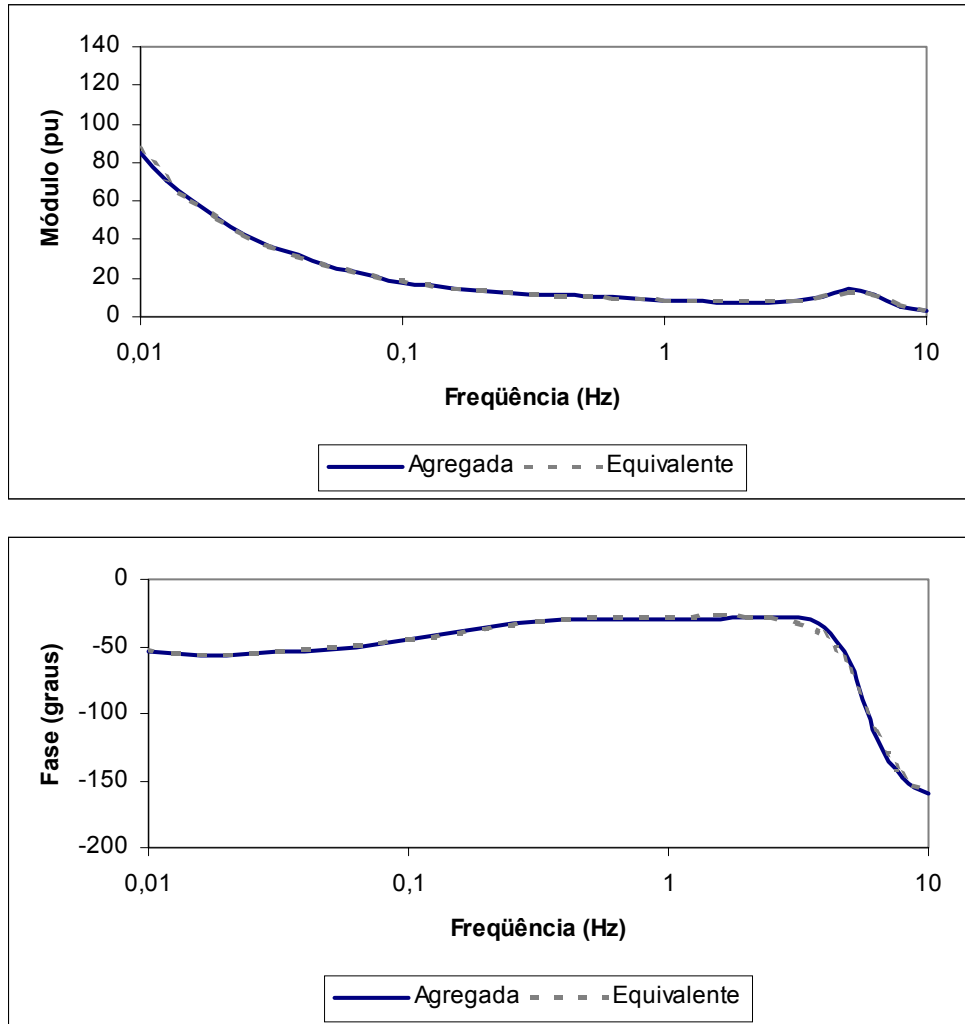


Figura 3.16 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 19: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 19.

A comparação entre os testes 11 e 12 indica a escolha do modelo 19 como o equivalente para uma composição de modelos de reguladores de tensão do tipo 1 e 19 num grupo coerente.

Teste 13: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 20, e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 1. A tabela 3.12 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.17 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 1 apresenta constante de tempo negativa (T_E), e o ajuste das funções de transferência é ruim.

Tabela 3.12 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD20) e equivalente (MD01) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 13 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD01)
	6 (MD01)	7 (MD01)	4 (MD20)	2 (MD20)	3 (MD20)	
K_A	35,000	45,000	400,000	400,000	250,000	156,10
T_A	0,020	0,020	---	---	---	0,010
K_E	1,000	1,000	---	---	---	-0,380
T_E	0,471	0,730	---	---	---	-0,010
K_F	0,075	0,030	---	---	---	0,048
T_F	1,246	1,000	---	---	---	1,978
T_1	---	---	2,500	3,000	2,000	---
T_2	---	---	19,000	18,000	14,000	---
T_3	---	---	1,000	1,100	1,100	---
T_4	---	---	1,100	1,000	1,000	---
L_{MAX1}	9,000	8,500	5,000	3,000	9,000	9,000
L_{MIN1}	-6,000	-6,500	-3,000	-2,000	-7,000	-6,500

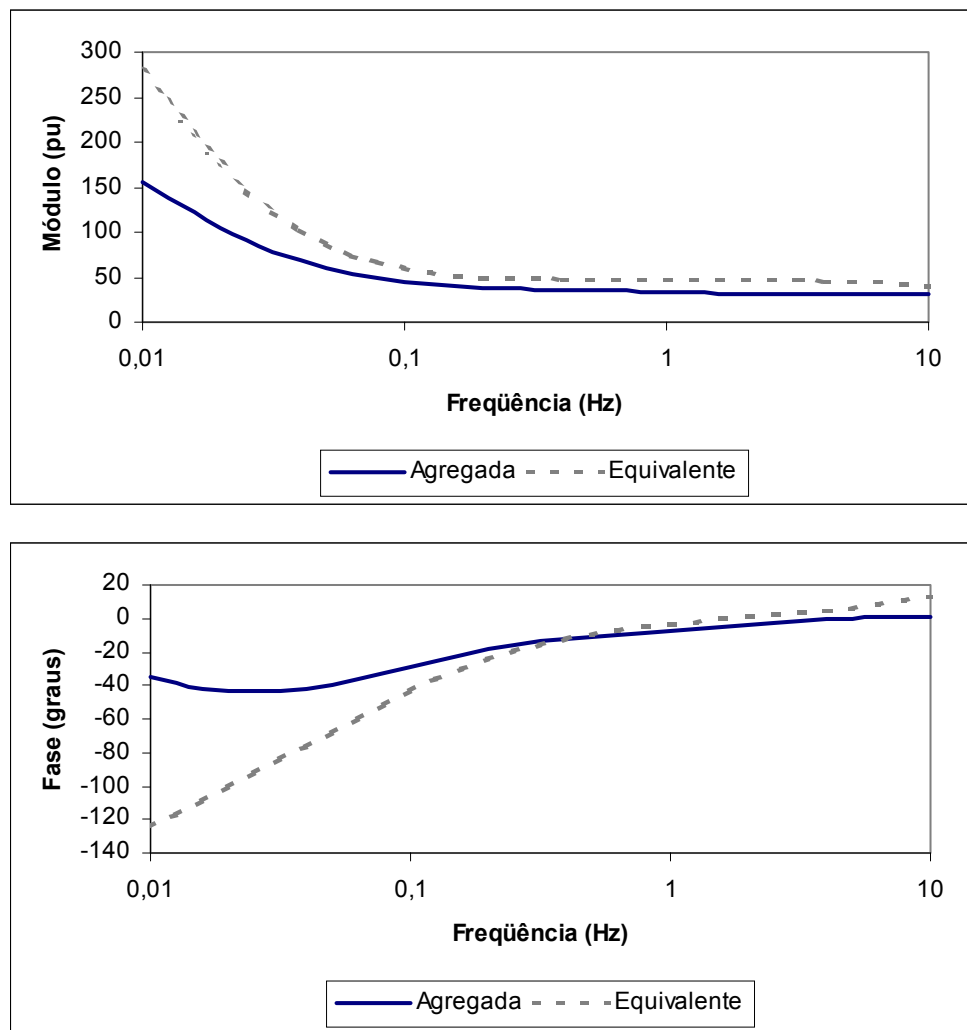


Figura 3.17 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 20: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 1.

Teste 14: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 1 e 20 (mesma composição do teste 13), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 20. A tabela 3.13 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.18 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3).

Tabela 3.13 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD01, MD20) e equivalente (MD20) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 14 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD20)
	6 (MD01)	7 (MD01)	4 (MD20)	2 (MD20)	3 (MD20)	
K_A	35,000	45,000	400,000	400,000	250,000	156,100
T_A	0,020	0,020	---	---	---	---
K_E	1,000	1,000	---	---	---	---
T_E	0,471	0,730	---	---	---	---
K_F	0,075	0,030	---	---	---	---
T_F	1,246	1,000	---	---	---	---
T_1	---	---	2,500	3,000	2,000	2,142
T_2	---	---	19,000	18,000	14,000	9,585
T_3	---	---	1,000	1,100	1,100	0,162
T_4	---	---	1,100	1,000	1,000	0,183
L_{MAX1}	9,000	8,500	5,000	3,000	9,000	9,000
L_{MIN1}	-6,000	-6,500	-3,000	-2,000	-7,000	-7,000

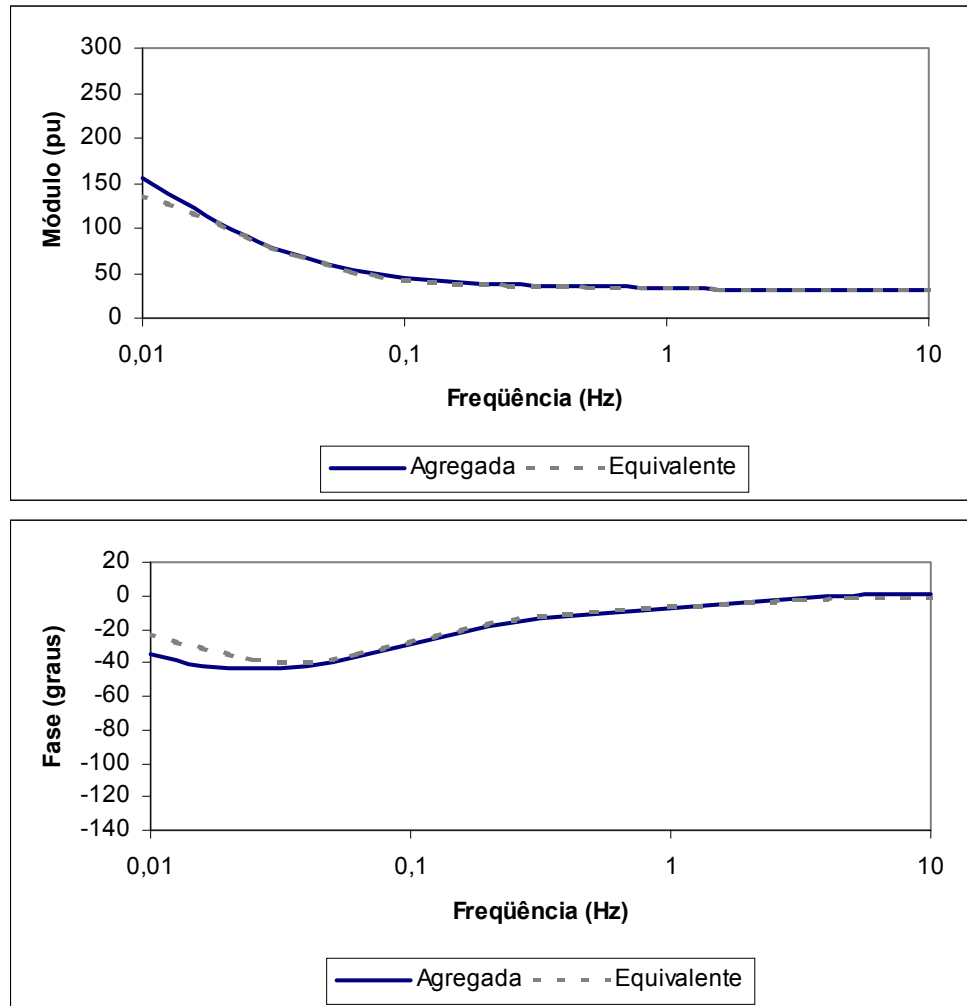


Figura 3.18 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 1 e 20: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 20.

Os testes 13 e 14 indicam que o modelo 20 deve ser escolhido para o equivalente.

Teste 15: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 19 e 20, e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 19. A tabela 3.14 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.19 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 19 apresenta constante de tempo negativa (T_{A2}).

Tabela 3.14 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19, MD20) e equivalente (MD19) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 15 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD19)
	6 (MD20)	7 (MD20)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD19)	
K_A	250,000	400,000	---	---	---	---
T_1	2,000	1,500	---	---	---	---
T_2	23,000	20,000	---	---	---	---
T_3	1,100	1,000	---	---	---	---
T_4	1,000	1,100	---	---	---	---
K_1	---	---	232,500	252,400	262,700	149,520
K_2	---	---	65,500	62,400	61,500	37,880
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	27,670	13,551
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	6,800	1,130
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	0,110	0,112
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	0,140	-0,018
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	0,240	0,116
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	0,160	0,051
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	1,140	1,450
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	1,140	1,202
L_{MAX1}	4,000	4,500	4,000	4,500	5,000	5,000
L_{MAX2}	---	---	0,050	0,030	0,050	0,050
L_{MIN1}	-5,000	-3,500	0,040	0,070	0,050	0,040
L_{MIN2}	---	---	-0,740	-0,740	-0,690	-0,740

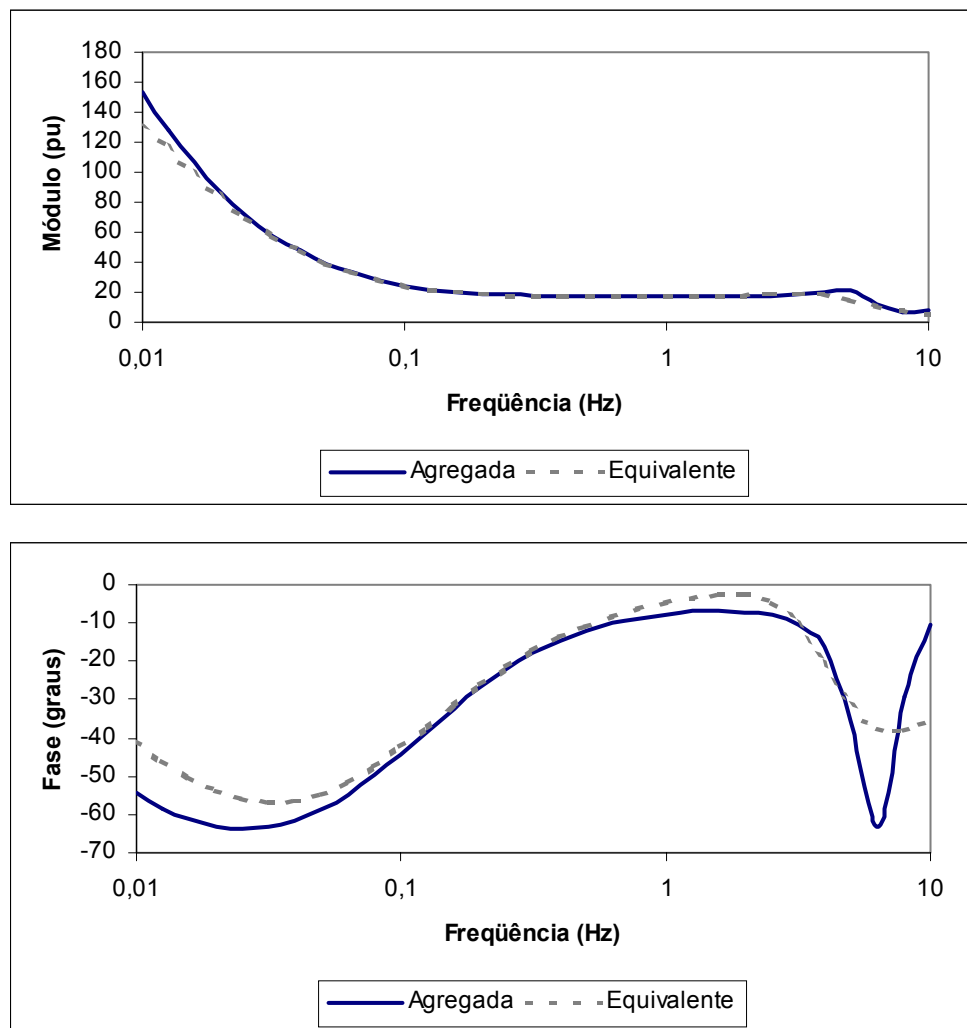


Figura 3.19 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 20: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 19.

Teste 16: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 19 e 20 (mesma composição do teste 15), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 20. A tabela 3.15 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.20 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3).

Tabela 3.15 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD19, MD20) e equivalente (MD20) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 16 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD20)
	6 (MD20)	7 (MD20)	4 (MD19)	2 (MD19)	3 (MD19)	
K_A	250,000	400,000	---	---	---	152,870
T_1	2,000	1,500	---	---	---	1,484
T_2	23,000	20,000	---	---	---	13,602
T_3	1,100	1,000	---	---	---	0,012
T_4	1,000	1,100	---	---	---	0,035
K_1	---	---	232,500	252,400	262,700	---
K_2	---	---	65,500	62,400	61,500	---
K_{R1}	---	---	27,670	29,430	27,670	---
K_{R2}	---	---	7,400	7,200	6,800	---
T_{A1}	---	---	0,100	0,120	0,110	---
T_{A2}	---	---	0,130	0,120	0,140	---
T_{E1}	---	---	0,240	0,290	0,240	---
T_{E2}	---	---	0,180	0,150	0,160	---
T_{R1}	---	---	1,110	1,130	1,140	---
T_{R2}	---	---	1,110	1,130	1,140	---
L_{MAX1}	4,000	4,500	4,000	4,500	5,000	4,500
L_{MAX2}	---	---	0,050	0,030	0,050	---
L_{MIN1}	-5,000	-3,500	0,040	0,070	0,050	-5,000
L_{MIN2}	---	---	-0,740	-0,740	-0,690	---

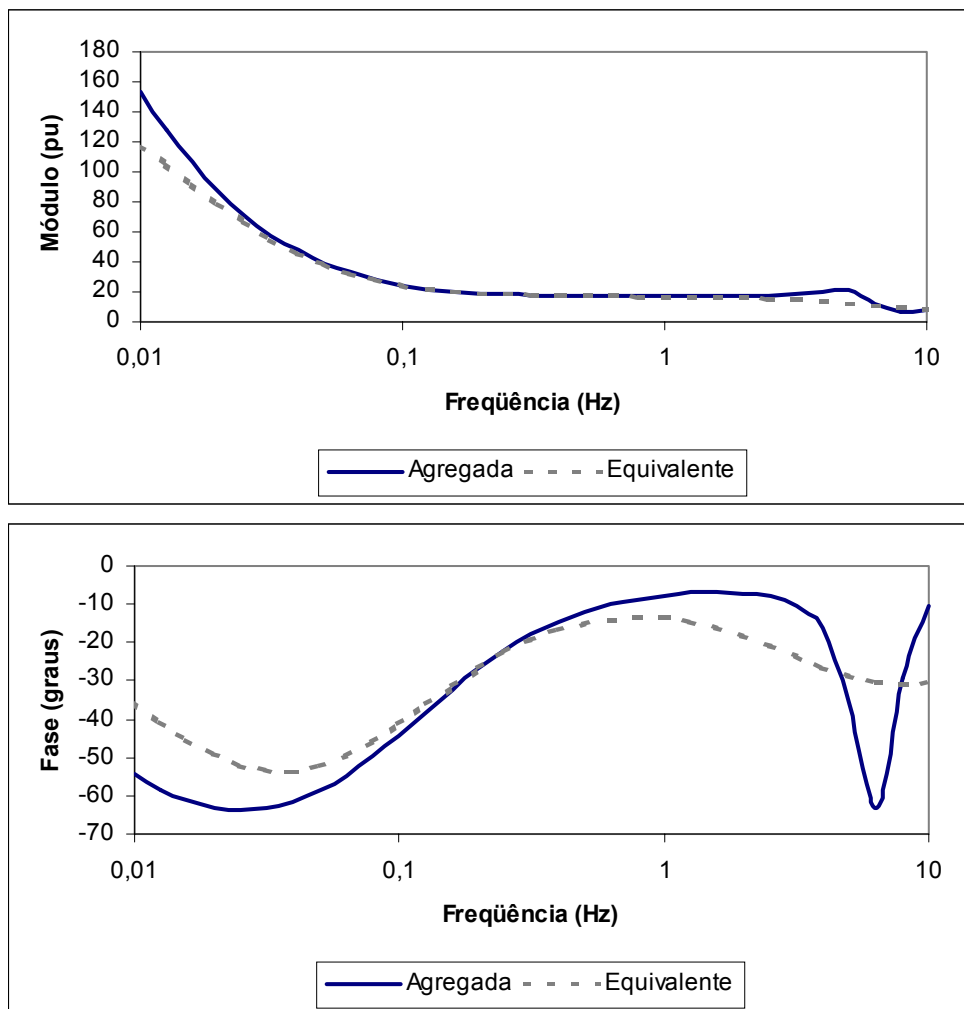


Figura 3.20 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 19 e 20: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 20.

Quando um grupo coerente é formado por reguladores de tensão com modelos 19 e 20, o modelo 20 deve ser escolhido como equivalente. O modelo equivalente 19 apresenta valor negativo para a constante de tempo T_{A2} , inviabilizando sua escolha para o equivalente.

Teste 17: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 20 e 21, e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 20. A tabela 3.16 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.21 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3).

Tabela 3.16 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD20, MD21) e equivalente (MD20) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 17 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD20)
	6 (MD21)	7 (MD21)	4 (MD20)	2 (MD20)	3 (MD20)	
K_A	---	---	400,000	400,000	250,000	221,620
K	380,000	400,000	---	---	---	---
T	0,010	0,050	---	---	---	---
K_E	1,100	1,200	---	---	---	---
T_E	1,200	0,920	---	---	---	---
K_F	0,071	0,060	---	---	---	---
T_F	1,820	1,000	---	---	---	---
T_1	---	---	2,500	3,000	2,000	2,002
T_2	---	---	19,000	18,000	14,000	11,837
T_3	---	---	1,000	1,100	1,100	0,041
T_4	---	---	1,100	1,000	1,000	0,052
L_{MAX1}	10,700	7,000	5,000	3,000	9,000	9,000
L_{MAX2}	14,000	14,000	---	---	---	---
L_{MIN1}	-12,000	-7,000	-3,000	-2,000	-7,000	-7,000
L_{MIN2}	-14,000	-14,000	---	---	---	---

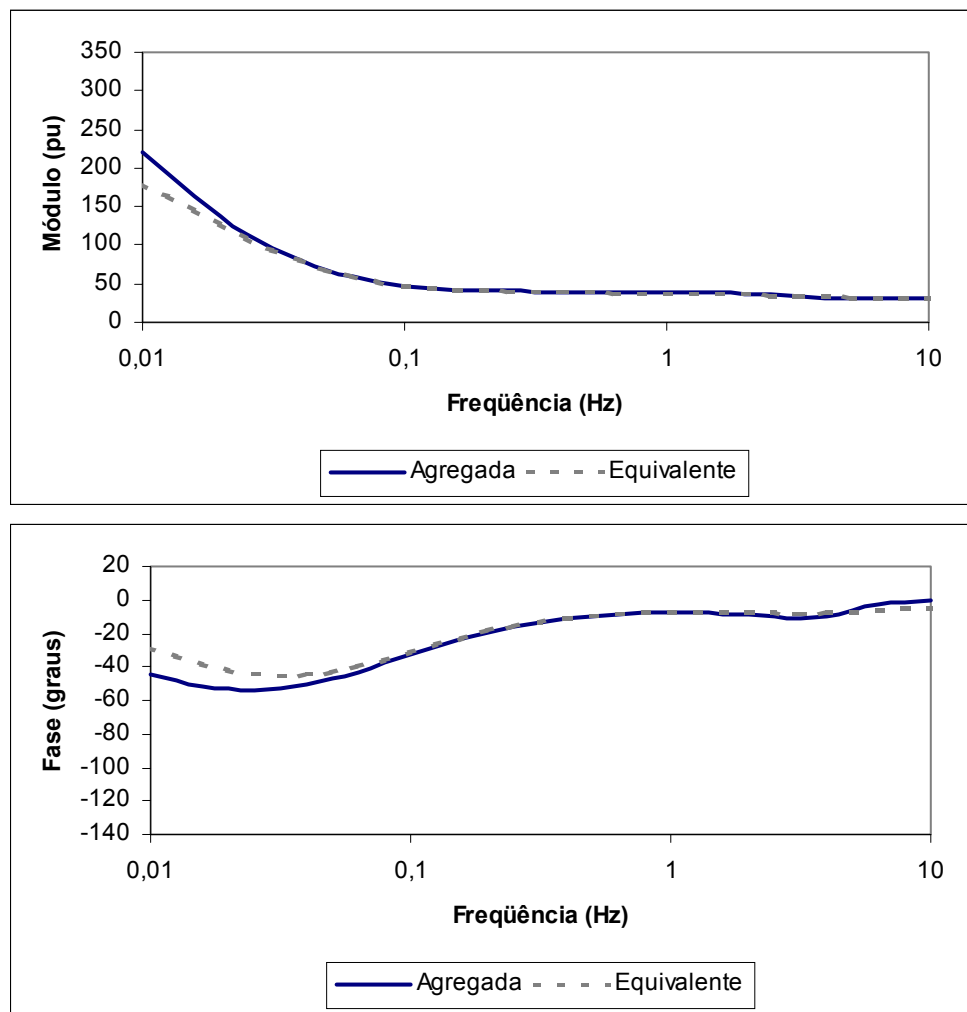


Figura 3.21 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 20.

Teste 18: Os modelos individuais dos reguladores de tensão são do tipo 20 e 21 (mesma composição do teste 17), e o modelo equivalente do grupo coerente é do tipo 21. A tabela 3.17 fornece os parâmetros dos modelos individuais dos reguladores de tensão e do modelo equivalente do grupo coerente formado. A figura 3.22 apresenta os diagramas de Bode (módulo e fase) para o grupo (6,7,4,2,3). O modelo equivalente 21 apresenta parâmetros negativos (T_E e K_E), e o ajuste das funções de transferência é ruim nas frequências inferiores a 0,1Hz.

Tabela 3.17 – Parâmetros dos reguladores de tensão individuais (MD20, MD21) e equivalente (MD21) do grupo (6,7,4,2,3).

Teste 18 CC 29, q = 50%						
Parâmetros	Gerador					Equivalente (MD21)
	6 (MD21)	7 (MD21)	4 (MD20)	2 (MD20)	3 (MD20)	
K_A	---	---	400,000	400,000	250,000	---
K	380,000	400,000	---	---	---	221,620
T	0,010	0,050	---	---	---	0,031
K_E	1,100	1,200	---	---	---	-2,120
T_E	1,200	0,920	---	---	---	-0,016
K_F	0,071	0,060	---	---	---	0,044
T_F	1,820	1,000	---	---	---	1,924
T_1	---	---	2,500	3,000	2,000	---
T_2	---	---	19,000	18,000	14,000	---
T_3	---	---	1,000	1,100	1,100	---
T_4	---	---	1,100	1,000	1,000	---
L_{MAX1}	10,700	7,000	5,000	3,000	9,000	10,700
L_{MAX2}	14,000	14,000	---	---	---	14,000
L_{MIN1}	-12,000	-7,000	-3,000	-2,000	-7,000	-12,000
L_{MIN2}	-14,000	-14,000	---	---	---	-14,000

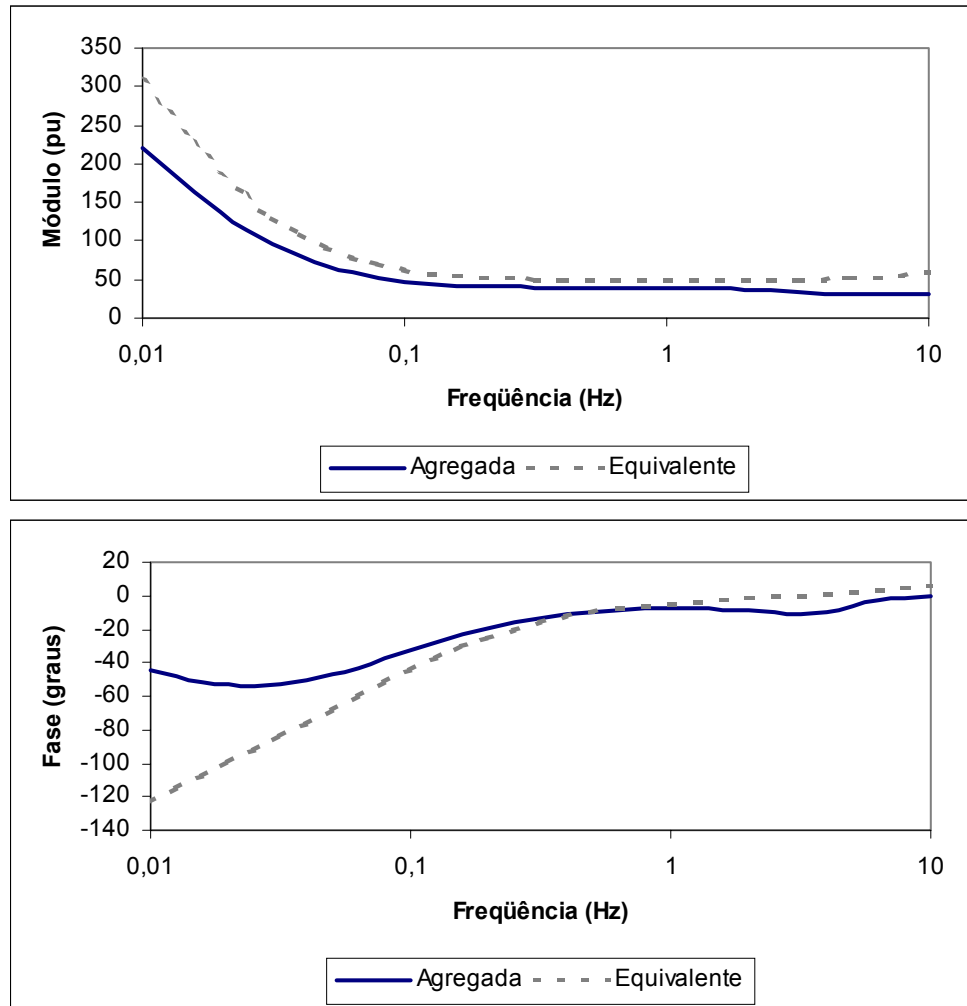


Figura 3.22 – Diagramas de Bode das funções de transferência dos reguladores de tensão – modelos 20 e 21: grupo (6,7,4,2,3). Equivalente – modelo 21.

A comparação entre os testes 17 e 18 permite concluir que para um grupo constituído pelos modelos 20 e 21, o equivalente deve ser o modelo 20.

3.3. Discussão dos Resultados

Pela análise dos resultados obtidos nos diagramas de Bode (módulo e fase), verifica-se que o método de Levenberg-Marquardt (LM) [13,14], utilizado para ajustar os parâmetros das funções de transferência dos modelos equivalentes à função de transferência agregada, é uma técnica numericamente eficiente, embora alguns modelos equivalentes apresentem parâmetros negativos em alguns casos, inviabilizando a sua representação.

Para grupos coerentes constituídos por modelos idênticos de reguladores de tensão (teste 1), o modelo equivalente é do mesmo tipo dos modelos individuais e o resultado é o bom ajuste entre as funções de transferência agregada e equivalente nos diagramas de Bode.

Em grupos formados por reguladores de tensão cujos modelos individuais sejam do tipo 1 e 21 (testes 2 e 3), o equivalente escolhido poderá ser tanto o modelo 1 quanto o modelo 21. Estes modelos apresentam estruturas similares.

Caso os modelos individuais num grupo coerente sejam do tipo 1 e 19 (testes 11 e 12), o equivalente deve ser modelo 19. Para uma composição de modelos do tipo 1 e 20 (testes 13 e 14), o equivalente deve ser modelo 20.

Nos grupos coerentes equipados com modelos 19 e 20 de reguladores de tensão (testes 15 e 16), o modelo 20 deve ser escolhido como equivalente. O modelo 19 apresenta constante de tempo negativa, inviabilizando sua escolha para o equivalente.

Em um grupo constituído pelos modelos 20 e 21 (testes 17 e 18), o equivalente deve ser modelo 20.

Para um grupo coerente constituído pelos modelos 1, 19, 20 e 21 (testes 7 a 10), verifica-se que o modelo 20 deve ser escolhido para o equivalente. Os demais

modelos desta composição, quando escolhidos para o equivalente, apresentam constante de tempo negativa.

Caso os modelos individuais sejam do tipo 19 e 21 (testes 4 a 6), o equivalente deve ser o modelo 19. Verifica-se que os modelos 20 e 21 não podem ser escolhidos como equivalentes para esta composição de modelos pois apresentam parâmetros negativos.