

9

RESULTADOS DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ALOCAÇÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação ao problema da alocação de energia firme dos distintos métodos de alocação de benefícios discutidos ao longo desta dissertação.

Na primeira parte são apresentadas aplicações de cinco métodos de alocação em três sistemas hidroelétricos fictícios, cada um com quatro usinas de diferentes características e localizadas em cascata²². O objetivo é mostrar, através de um exemplo didático e simples, como cada método aloca a energia firme entre os diferentes tipos de usina (usina com reservatório, fio d'água e reservatório “puro”).

Na segunda parte tratou-se da repartição da energia firme total do parque hidrelétrico brasileiro utilizando três métodos de alocação: Alocação pela geração média durante o período crítico (GMPC); Alocação por Última Adição (UA) e Alocação Aumann-Shapley (AS).

9.1.

Resultados da aplicação a três sistemas-exemplo fictícios

Foram aplicados os cinco métodos de alocação discutidos nesta monografia em três sistemas-exemplo fictícios: Alocação pela geração média durante o período crítico; Alocação a benefícios marginais (BM); Alocação pelo “Nucleolus” Proporcional; Alocação por Última Adição (UA) e Alocação pelo método de Aumann-Shapley (AS).

²² O histórico de vazões utilizados foram obtidos dos dados de quatro usinas, também em cascata, do PMO de Janeiro de 2004 do ONS.

9.1.1.

Características dos Sistemas-exemplo

Os três sistemas-exemplo descritos na Tabela 9.1 têm sua topologias apresentadas na Figura 9.1.

	Caso 1			Caso 2			Caso 3		
	<i>Fator de Prod. média</i> (MW/m3/s)	<i>Volume máximo</i> (hm3)	<i>Turb. máximo</i> (m3/s)	<i>Fator de Prod. média</i> (MW/m3/s)	<i>Volume máximo</i> (hm3)	<i>Turb. máximo</i> (m3/s)	<i>Fator de Prod. média</i> (MW/m3/s)	<i>Volume máximo</i> (hm3)	<i>Turb. máximo</i> (m3/s)
Usina 1	0.8	6000	1500	0.8	20000	2000	0.8	20000	0
Usina 2	0.7	5000	1500	0.7	5000	1500	0.7	5000	1500
Usina 3	0.7	5500	1500	0.7	5000	1500	0.7	5000	1500
Usina 4	0.6	5800	1500	0.6	0	1500	0.6	0	1500

Tabela 9.1 - Sistemas-exemplo

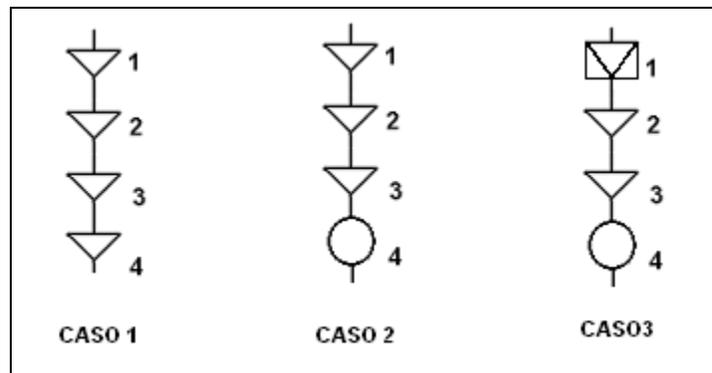


Figura 9.1– Topologia das cascatas dos sistemas-exemplo

9.1.2.

Caso 1

O sistema hidroelétrico do Caso 1 apresenta uma energia firme total igual a 1649,7 MW médios, calculada com o modelo de otimização apresentado no capítulo 2. A Tabela 9.2 apresenta a alocação entre os agentes deste firme total, de acordo com a metodologia indicada.:

Geração média durante o Período Crítico (GMPC)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
478,1	484,5	521,5	475,9
24,4%	24,7%	26,6%	24,3%
Alocação a Benefícios Marginais (BM)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
565,4	501,0	489,4	404,3
28,8%	25,6%	25,0%	20,6%
“Nucleolus” Proporcional			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
533,9	489,5	504,5	432,2
27,2%	25,0%	25,7%	22,1%
Última Adição (UA)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
528,5	489,6	502,7	439,3
27,0%	25,0%	25,6%	22,4%
Aumann-Shapley (AS)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
471,1	488,9	538,5	461,6
24,0%	24,9%	27,5%	23,5%

Tabela 9.2 – Resultados dos quatro métodos de alocação aplicados ao CASO 1

Neste primeiro caso as usinas têm características bastante semelhantes e por isso apresentam alocações de energia firme parecidas. As diferenças entre as alocações são de no máximo 4,8%. Em todos os cinco métodos a alocação obtida pertence ao núcleo do jogo.

9.1.3.

Caso 2

O sistema hidroelétrico do Caso 2 apresenta uma energia firme total igual a 2209,5 MW médios. A Tabela 9.3 apresenta os resultados da alocação dessa energia firme entre os agentes através da aplicação dos cinco métodos identificados:

Geração média durante o Período Crítico (GMPC)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
559,1	555,3	587,5	507,4
25,3%	25,1%	26,6%	23,0%
Alocação a Benefícios Marginais (BM)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
836,3	502,7	487,4	383,1
37,9%	22,8%	22,1%	17,3%
“Nucleolus” Proporcional			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
799,3	499,7	509,1	401,5
36,2%	22,6%	23,0%	18,2%
Última Adição (UA)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
749,9	510,2	517,7	431,6
33,9%	23,1%	23,4%	19,5%
Aumann-Shapley (AS)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
704,6	523,0	536,7	445,1
31,9%	23,7%	24,3%	20,1%

**Tabela 9.3 - Resultados dos quatro métodos de alocação aplicados ao
CASO 2**

Neste caso as usinas 1, 2 e 3 apresentam gerações médias no período crítico semelhantes e por isso a elas são atribuídas energias firmes parecidas no método GMPC. A usina que possui o reservatório de maior porte comparado com os demais, não recebe o benefício gerado com a regulação das vazões das usinas a jusante.

Por esta razão este método também não forneceu uma alocação no núcleo, pois viola a restrição $\phi_1 \geq f(H_1)$, uma vez que a usina 1 possui um firme isolado igual a 559,6 MW médios (maior que os 559,1 MW médios que ela recebeu neste primeiro método). É fácil observar que, neste caso, a usina 4, que é fio d'água, é beneficiada por ter suas vazões afluentes regularizadas pelos reservatórios a montante. Esta usina, por ter uma geração média durante o período crítico não muito menor que as outras, recebe uma energia firme também não muito menor que elas.

Nos outros quatro métodos a usina 1 tem uma alocação de energia firme maior, enquanto a usina 4 (fio d'água) recebe uma alocação menor. Estes quatro últimos métodos, por serem eficientes economicamente, beneficiam a usina 1 pelo fato de ela possuir um grande reservatório, que ajuda a regular as vazões das usinas a jusante, cooperando para um aumento da energia firme total do sistema.

9.1.4.

Caso 3

O sistema hidroelétrico do Caso 3 apresenta uma energia firme total igual a 1649,7 MW médios, calculada com o modelo de otimização apresentado no capítulo 2. A Tabela 9.4 apresenta os resultados da alocação desta energia firme entre os agentes através da aplicação dos cinco métodos de alocação identificados:

Geração média durante o Período Crítico (GMPC)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
0,0	535,8	586,9	526,9
0,0%	32,5%	35,6%	31,9%
Alocação a Benefícios Marginais (BM)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
276,6	502,7	487,4	383,1
16,8%	30,5%	29,5%	23,2%
“Nucleolus” Proporcional			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
209,1	510,4	520,0	410,1
12,7%	30,9%	31,5%	24,9%
Última Adição (UA)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
260,9	485,5	492,7	410,7
15,8%	29,4%	29,9%	24,9%
Aumann-Shapley (AS)			
<i>Usina 1</i>	<i>Usina 2</i>	<i>Usina 3</i>	<i>Usina 4</i>
148,5	522,5	536,2	442,5
9,0%	31,7%	32,5%	26,8%

Tabela 9.4 - Resultados dos quatro métodos de alocação aplicados ao CASO 3

Neste caso a usina 1 tem apenas reservatório (sem potência instalada) e a usina 4 é fio d'água. Os resultados são parecidos com os do caso 2.

A usina 1, que não tem capacidade de geração, recebe um “firme” igual a zero no primeiro método (GMPC). Mais uma vez este método não a beneficiou por possuir um grande reservatório que regula as vazões das três usinas a jusante. A usina 4, a fio d'água, novamente é beneficiada por este método, e recebe um “firme” não muito menor que as usinas 2 e 3.

Nos outros quatro métodos a usina 1 tem uma alocação de energia firme maior que zero. Estes quatro últimos métodos, por serem eficientes economicamente, beneficiam a usina 1 pelo fato de ela possuir um grande reservatório, e que, apesar de não gerar energia fisicamente, coopera para um aumento da energia firme total do sistema ajudando a regular as vazões das usinas a jusante.

9.2.

Resultados: Sistema Interligado Brasileiro

Três métodos de alocação descritos nesta dissertação foram aplicados na repartição da energia firme total do Parque Hidrelétrico Brasileiro. Foram eles: Alocação pela geração média durante o período crítico (GMPC); Alocação por Última Adição (UA) e Alocação Aumann-Shapley (AS).

Foram utilizados dados e a configuração do sistema hidrelétrico existente do Programa Mensal de Operação²³ do ONS (Operador Nacional do Sistema [75]) do mês de Janeiro de 2004 e seus históricos de vazões incrementais de 1932 a 2001. Este conjunto de dados é de domínio público e pode ser obtido na Internet através do website do Mercado Atacadista de Energia [76]

²³ A usina Quebra Queixo, que possui três máquinas, apresenta no Programa Mensal de Operação do ONS de Janeiro de 2004 apenas uma delas como existente, e por isso foi retirada da simulação. O restante do sistema hidrelétrico foi mantido inalterado.

9.2.1.

Energia Firme do Sistema Brasileiro

Utilizando o modelo descrito em (2.13) e os dados mencionados acima foi calculada a energia firme do sistema interligado brasileiro. O resultado obtido foi 39648,7 MW médios, com um período crítico que se estendeu de maio de 1952 até novembro de 1955.

Comparando esta energia firme total obtida com o montante total dos certificados de energia assegurada homologados pela ANEEL das respectivas usinas (apresentados no anexo E), obtivemos os seguintes resultados:

Total dos Certificados de Energia Assegurada ANEEL(MW médios)	Energia Firme Total (MW médios)
40690,7	39648,7

Ou seja, observa-se que a soma dos certificados de energia assegurada excede o montante de energia firme em cerca de 1000 MW médios. Esta tendência de sobre-estimação dos certificados de energia assegurada já havia sido identificada anteriormente em alguns relatórios[1],[21]. O resultado obtido nesta dissertação apenas corrobora as conclusões dos estudos mencionados.

9.3.

Alocação da Energia Firme do Sistema Interligado Brasileiro

Uma vez tendo calculado a energia firme “total” do sistema interligado Brasileiro, o problema colocado é como alocar este total entre os agentes. Foram então implementados os métodos de alocação GMPC; UA e AS. Os resultados de cada método serão apresentados nesta seção.

9.3.1.

Resultados por usina

Os resultados obtidos nos três métodos de alocação aplicados podem ser vistos na Tabela 9.5 a seguir, onde também são mostrados, na última coluna, os respectivos certificados de energia assegurada (CEA) de cada usinas simulada. O conjunto de certificados corresponde à configuração do sistema existente em Janeiro de 2004 e os dados indicados no anexo E foram extraídos de resoluções da ANEEL ou dos contratos de concessão das hidrelétricas.

Na coluna *EA “ajustada”* foi feito um ajuste nos certificados de energia assegurada das usinas de forma que a soma se igualasse à energia firme total do sistema brasileiro, e mantendo as mesmas proporções em relação à soma dos certificados de energia assegurada do país. Este valor, que serve apenas para comparação qualitativa das alocações em cada usina, é obtido através da expressão $[(EA\ ANEEL) \div (Soma\ das\ EA\ ANEEL\ do\ Brasil)] * (E.Firme\ total\ do\ Brasil)$.

Usina	GMPC	UA	AS	EA ANEEL	EA ANEEL “ajustada”	Obs
A A LAYDNER	52.9	123.5	128.9	47.0	45.8	
A S LIMA	51.7	45.6	43.9	66.0	64.3	fio d'água
A S OLIVEIRA	11.2	9.8	12.8	15.0	14.6	fio d'água
A VERMELHA	640.9	641.2	725.4	746.0	726.9	
BARRA BONITA	39.8	88.3	91.9	45.0	43.8	
BILLINGS	0.0	51.6	119.1			reservatório
CACH DOURADA	405.5	357.1	386.2	415.0	404.4	fio d'água
CACONDE	27.2	38.7	46.4	33.0	32.2	
CAMARGOS	17.3	46.9	40.2	21.0	20.5	
CANA BRAVA	347.6	307.4	367.6	273.5	266.5	fio d'água
CANOAS I	60.8	53.8	59.1	57.0	55.5	fio d'água
CANOAS II	50.2	44.5	47.1	48.0	46.8	fio d'água
CAPIVARA	340.7	370.7	319.3	330.0	321.5	
CHAVANTES	186.9	219.3	208.3	172.0	167.6	
CORUMBA I	178.0	184.4	199.2	209.0	203.6	
E DA CUNHA	39.7	34.9	44.4	49.0	47.7	fio d'água
EMBORCACAO	489.5	775.7	798.5	497.0	484.3	
ESTREITO	444.2	392.5	559.0	495.0	482.3	fio d'água
FONTES	59.8	52.9	58.3	104.0	101.3	fio d'água
FUNIL	96.4	86.9	98.2	121.0	117.9	
FUNIL-GRANDE	74.0	65.4	82.1	89.0	86.7	fio d'água
FURNAS	523.7	1082.8	1052.6	598.0	582.7	
GUAPORE	60.5	53.6	61.7	60.2	58.7	fio d'água
GUARAPIRANGA	0.0	8.7	20.0			reservatório
GUILMAN-AMOR	67.3	59.5	70.1	65.9	64.2	fio d'água

Usina	GMPC	UA	AS	EA ANEEL	EA ANEEL “ajustada”	Obs
HENRY BORDEN	125.6	112.6	136.0	147.0	143.2	fio d'água
I SOLT EQV	1643.3	1556.5	2047.2	1949.0	1899.1	
IBITINGA	60.2	53.1	51.1	74.0	72.1	fio d'água
IGARAPAVA	124.3	109.8	118.9	136.0	132.5	fio d'água
ILHA POMBOS	67.6	59.7	74.3	115.0	112.1	fio d'água
ITAIPU	7249.9	6619.6	6831.7	8612.0	8391.5	fio d'água
ITIQUIRA I	41.5	36.7	41.8	42.2	41.1	fio d'água
ITIQUIRA II	63.4	56.0	64.2	65.1	63.4	fio d'água
ITUMBIARA	899.5	1055.0	1213.6	1015.0	989.0	
ITUTINGA	23.7	20.9	24.8	28.0	27.3	fio d'água
JAGUARA	321.6	284.2	287.9	336.0	327.4	fio d'água
JAGUARI	12.7	16.3	20.9	14.0	13.6	
JAURU	61.7	54.6	60.8	66.0	64.3	fio d'água
JUPIA	894.2	792.6	896.8	886.0	863.3	fio d'água
L N GARCEZ	57.4	50.8	52.3	55.0	53.6	fio d'água
LAJEADO	550.2	485.4	613.0	510.1	497.0	fio d'água
LAJES	0.0	10.7	11.6	28.0	27.3	reservatório
M DE MORAES	245.5	301.1	282.7	295.0	287.4	
MANSO	92.6	82.0	96.1	92.0	89.6	
MARIMBONDO	576.5	602.5	747.5	726.0	707.4	
MASCARENHAS	115.0	101.7	116.9	103.1	100.5	fio d'água
MIRANDA	183.1	165.8	206.2	202.0	196.8	
N PECANHA	379.2	335.7	379.5	335.0	326.4	fio d'água
NAVANHANDEVA	113.6	100.6	84.4	139.0	135.4	fio d'água
NOVA PONTE	259.2	550.3	512.3	276.0	268.9	

Usina	GMPC	UA	AS	EA ANEEL	EA ANEEL “ajustada”	Obs
P COLOMBIA	187.7	165.8	199.6	185.0	180.3	fio d'água
P ESTRELA	58.1	51.6	55.5	55.8	54.4	
P PASSOS	67.5	59.7	62.4	51.0	49.7	fio d'água
P PRIMAVERA	806.0	714.2	789.6	1017.0	991.0	
PARAIBUNA	47.4	65.6	64.6	50.0	48.7	
PIRAJU	43.9	38.9	33.8	42.5	41.4	fio d'água
PROMISSAO	82.2	107.2	98.7	104.0	101.3	
ROSAL	30.5	27.0	34.9	30.0	29.2	fio d'água
ROSANA	187.7	167.0	100.6	177.0	172.5	fio d'água
SA CARVALHO	58.8	52.0	60.4	58.0	56.5	fio d'água
SALTO GRANDE	85.8	75.8	88.8	75.0	73.1	fio d'água
SANTA BRANCA	26.8	25.8	25.0	32.0	31.2	
SÃO SIMAO	1171.0	1112.8	1137.2	1281.0	1248.2	
SERRA MESA	814.0	1195.7	1005.0	671.0	653.8	
SOBRAGI	35.0	31.0	37.0	38.7	37.7	fio d'água
STA CLARA MG	26.4	23.4	33.8	28.1	27.4	fio d'água
TAQUARUCU	218.5	194.4	123.6	201.0	195.9	fio d'água
TRES MARIAS	211.4	517.6	368.2	239.0	232.9	
VOLTA GRANDE	208.8	184.5	197.1	229.0	223.1	fio d'água
D FRANCISCA	118.1	104.5	94.4	78.0	76.0	fio d'água
ERNESTINA	0.0	4.4	6.2			reservatório
G B MUNHOZ	735.3	862.9	701.4	576.0	561.3	
G P SOUZA	108.7	96.2	96.8	109.0	106.2	
ITA	897.1	795.1	381.9	720.0	701.6	fio d'água
ITAUBA	268.4	237.4	120.3	190.0	185.1	fio d'água

Usina	GMPC	UA	AS	EA ANEEL	EA ANEEL “ajustada”	Obs
JACUI	186.5	164.4	159.0	123.0	119.9	fio d'água
JORDAO	0.0	0.8	1.7			reservatório
MACHADINHO	649.5	625.6	373.8	529.0	515.5	
PASSO FUNDO	175.7	155.1	147.2	119.0	116.0	
PASSO REAL	90.2	174.4	138.2	68.0	66.3	
SALTO CAXIAS	798.0	708.2	378.1	605.0	589.5	fio d'água
SALTO OSORIO	686.7	609.5	319.6	522.0	508.6	fio d'água
SEGREDO	876.2	783.4	474.9	603.0	587.6	
SLT SANTIAGO	890.0	864.2	607.9	723.0	704.5	
B ESPERANCA	127.3	112.8	129.1	143.0	139.3	
COMP PAF-MOX	2334.7	2066.3	2317.6	2225.0	2168.0	fio d'água
ITAPARICA	1008.4	950.9	972.9	959.0	934.4	
ITAPEBI	175.6	155.2	221.4	196.5	191.5	fio d'água
SOBRADINHO	505.0	1017.7	776.8	531.0	517.4	
XINGO	2485.2	2199.4	2355.3	2139.0	2084.2	fio d'água
CURUA-UNA	23.2	20.5	23.2	24.0	23.4	
TUCURUI	3713.9	3320.2	3722.7	4140.0	4034.0	
TOTAL Brasil	39648.7	39648.7	39648.7	40690.7	39648.7	

Tabela 9.5 - Resultados dos métodos GMPC, UA, AS aplicados ao sistema hidrelétrico brasileiro e seus respectivos Certificados de Energia Assegurada

Em uma primeira análise, os resultados mostram uma clara diferença existente entre os métodos aplicados. Como visto ao longo dessa dissertação, há *critérios* para verificar se uma dada metodologia de repartição apresenta algum aspecto inadequado, e um destes critérios é o de “justiça”. Conforme visto em capítulos anteriores, os critérios de alocação GMPC e UA nem sempre pertencem ao núcleo do jogo e, portanto, não

caracterizam uma alocação “justa”. Isto já não ocorre, por exemplo, com o critério de alocação AS, cuja alocação foi demonstrada pertencer ao núcleo.

De uma forma geral, as usinas reservatório “puro”, que pelo método GMPC não recebem benefício algum, nos métodos AS e UA passam a receber. As usinas a fio-d’água, que geram energia durante o período crítico, são favorecidas pelo método GMPC, em detrimento das usinas que possuem reservatório e estão localizadas mais a montante das cascatas.

Na próxima seção os resultados obtidos serão analisados por bacia hidrográfica, permitindo que se identifique com mais clareza os aspectos adequados e inadequados do critério de alocação atual em relação aos demais propostos nesta dissertação.

9.4.

Resultados por cascata

Os resultados da alocação de energia firme de usinas para um mesmo rio (localizadas em cascata) foram analisados para as hidrelétricas do rio Iguaçu, rio Tocantins e rio São Francisco.

Em seguida, realizou-se uma análise focando exclusivamente a usina de Itaipu. Devido ao fato de Itaipu estar localizada ao final de uma cascata com muitas usinas, para efeito de análise de resultados foi feita uma agregação das diversas usinas localizadas a montante. A avaliação compara a energia firme atribuída à Itaipu com aquela alocada à agregação das usinas de cada rio afluente e das demais usinas do rio Paraná.

A comparação dos três métodos aplicados foi feita através das diferenças entre as porcentagens de energia firme alocada da usina em relação à soma das alocações de todas as usinas do rio e da porcentagem de seu respectivo certificado de energia assegurada em relação à soma dos certificados de todas as usinas do rio.

Por exemplo, suponha que a análise seja feita para uma cascata com 4 usinas e que o firme total seja 40 MW médios. Supondo que uma das usinas no primeiro método recebe 10 MW, que representa **25%** do total, no segundo recebe 15 MW médios, que representa **37,5%** do total, e no terceiro 18 MW médios, que representa **45%** do total.

Suponha também que seu certificado de energia assegurada seja 15MW médios, o que corresponde a **30%** do total de energia assegurada das 4 usinas, que é de, por exemplo, 50 MW médios.

O resultados para esta usina seria calculado da seguinte forma:

Método	Diferença entre porcentagens de energia firme alocada no método e a porcentagem de seu certificado de energia assegurada
GMPC	$(25\% - 30\%) = -5\%$
UA	$(37,5\% - 30\%) = 7,5\%$
AS	$(45\% - 30\%) = 15\%$

Esta forma de apresentação dos resultados faz com que possam ser feitas comparações entre os três métodos de alocação mesmo entre usinas de tamanhos e características diferentes, como poderá ser melhor visualizado nas próximas seções.

9.4.1.

Resultados para a Cascata do Rio Iguaçu

A primeira cascata a ser analisada é a do rio Iguaçu. A Figura 9.2 mostra as usinas e a topologia da cascata do rio Iguaçu. Os resultados obtidos (conforme descritos na seção 9.4) são mostrados na Figura 9.3:



Figura 9.2 – Cascata do rio Iguaçu

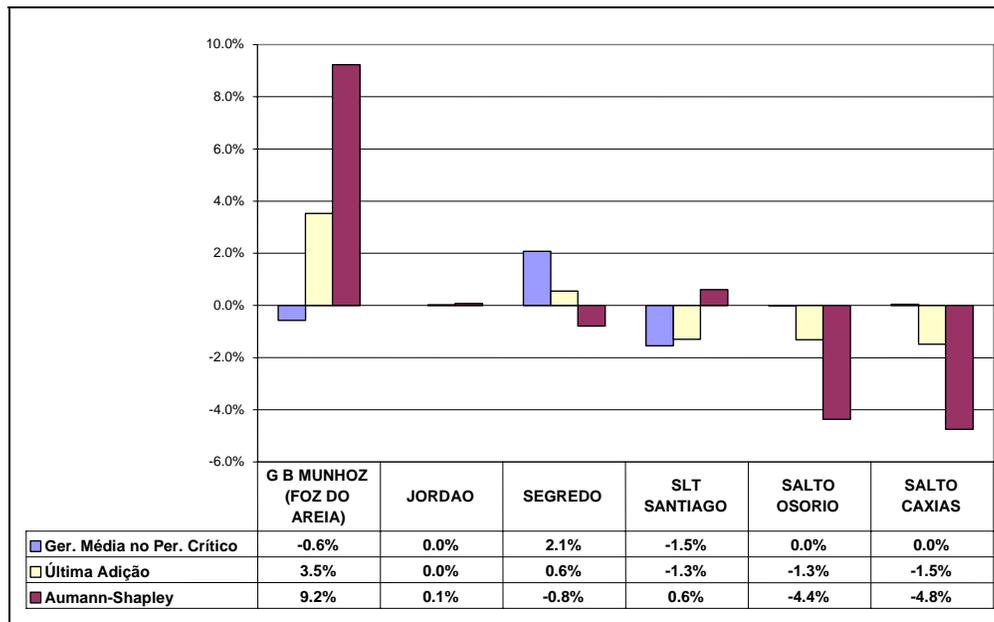


Figura 9.3 - Resultados dos três métodos de alocação das usinas do rio Iguaçu

Observa-se uma transferência na alocação de energia firme das usinas a jusante para usinas a montante (em relação aos valores utilizados pela Aneel) nos métodos AS e UA. Isto significa que, em relação a estes dois critérios, as usinas a jusante desta cascata

estariam “capturando” (segundo o critério utilizado pela Aneel) parte de um benefício que deveria ser atribuído às usinas a montante.

9.4.2.

Resultados para a Cascata do Rio Tocantins

A Figura 9.4 mostra as usinas e a topologia da cascata do rio Tocantins. Os resultados obtidos (conforme descritos na seção 9.4) são mostrados na Figura 9.5:

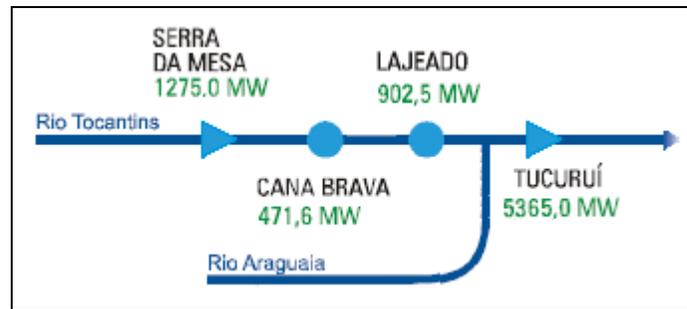


Figura 9.4 - Cascata do rio Tocantins

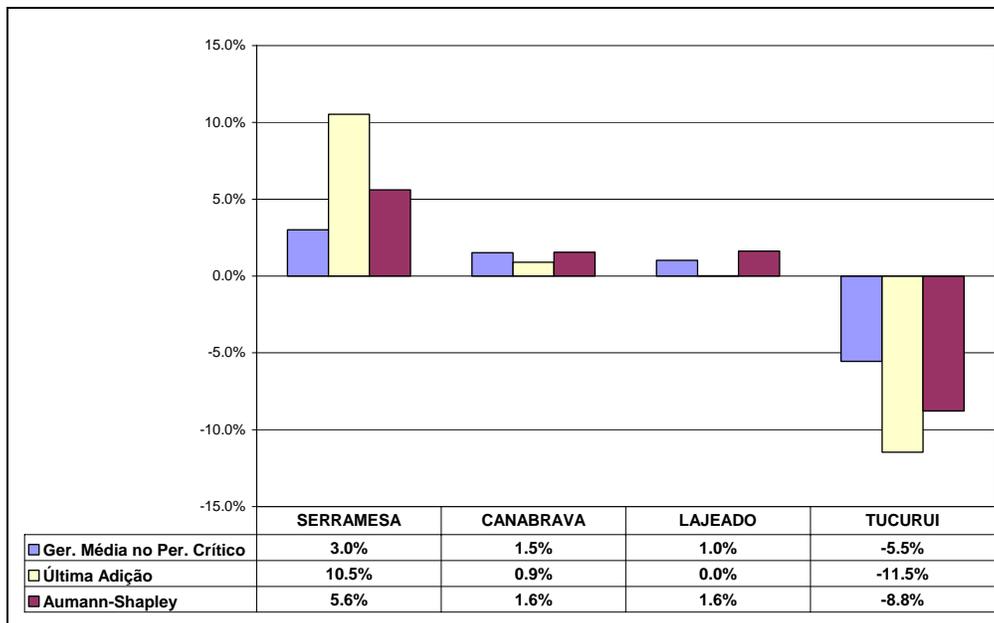


Figura 9.5 - Resultados dos três métodos de alocação das usinas do rio Tocantins

Observa-se que há uma transferência significativa na alocação da energia firme da usina de Tucuruí para as usinas a montante, em todos os critérios aplicados. Isto significa que esta usina está “capturando” um benefício que deveria ser atribuído às usinas a montante e, portanto, deveria receber um firme proporcionalmente menor. Esta usina, apesar de possuir reservatório, se encontra mais perto da foz do Rio Tocantins e dessa forma é beneficiada pela regularização das usinas a montante. O oposto é observado com a usina Serra da Mesa, que está localizada a montante da cascata e recebe um firme maior por exercer papel importante na regularização das vazões das usinas a jusante.

9.4.3.

Resultados da Cascata do Rio São Francisco

A Figura 9.6 mostra as usinas e a topologia da cascata do rio São Francisco. Os resultados obtidos (conforme descritos na seção 9.4) são mostrados na Figura 9.7:

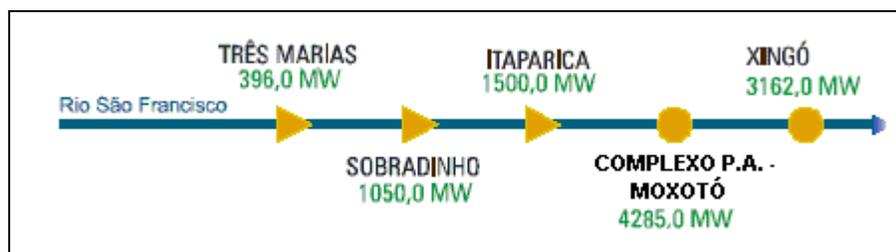


Figura 9.6 - Cascata do rio São Francisco

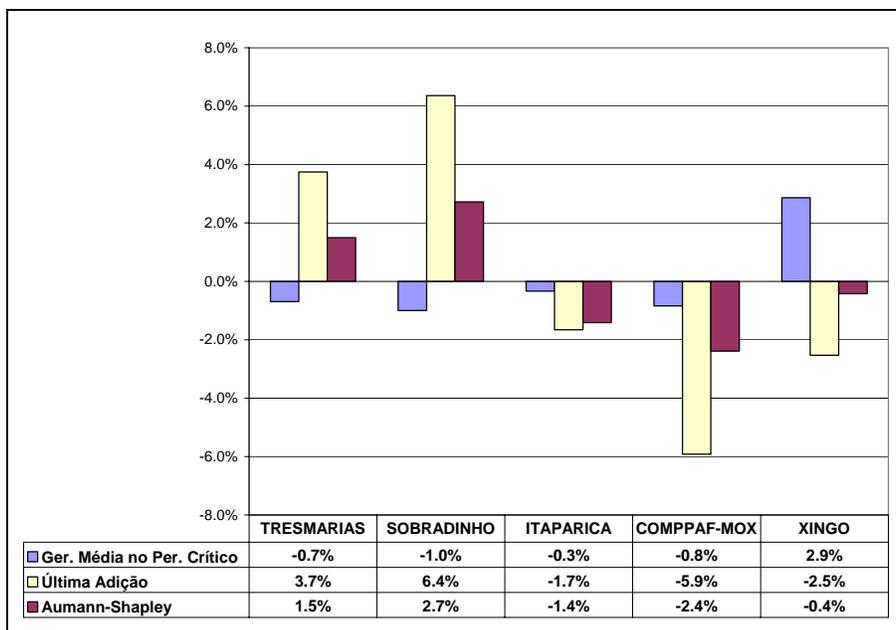


Figura 9.7 - Resultados dos três métodos de alocação das usinas do rio Tocantins

Analogamente ao observado no caso da cascata do Rio Tocantins, observa-se para o caso do rio São Francisco uma evidente transferência de alocação de energia firme de usinas mais a montante para usinas a jusante. Em particular, as usinas Xingó e Complexo Paulo Afonso, que são fio-d’água, recebem tanto no método AS, quanto no método UA, uma energia firme proporcionalmente menor que as usinas de Três Marias e Sobradinho. Estas duas possuem reservatório e ajudam na regularização das vazões a jusante, e por isso recebem neste dois métodos, que são mais eficientes economicamente, energias firmes maiores.

9.4.4.

Resultados para o Caso de Itaipu

Conforme explicado na seção 9.4, para análise específica da usina de Itaipu foi feita uma comparação dos resultados da alocação de Itaipu com as usinas do rio Paraná, ao qual ela pertence, e com os valores agregados das usinas dos demais rios afluentes.

A Figura 9.78 mostra as usinas e a topologia da cascata do rio Paraná e seus afluentes. Os resultados obtidos (conforme descritos na seção 9.4) são mostrados na Figura 9.9:

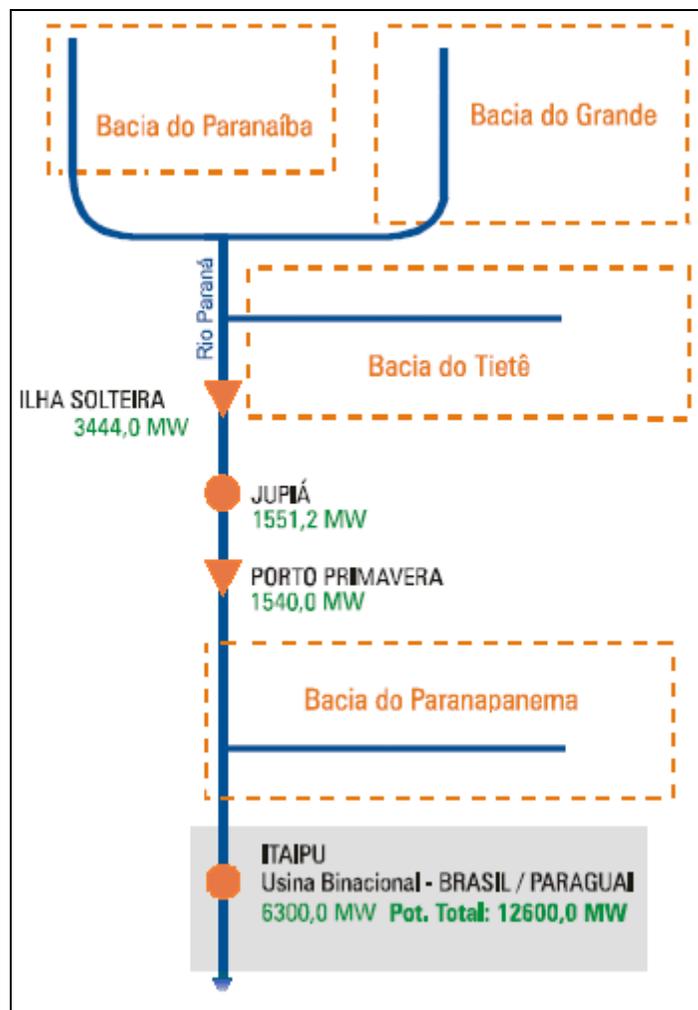


Figura 9.8 – Cascata do rio Paraná e seus afluentes

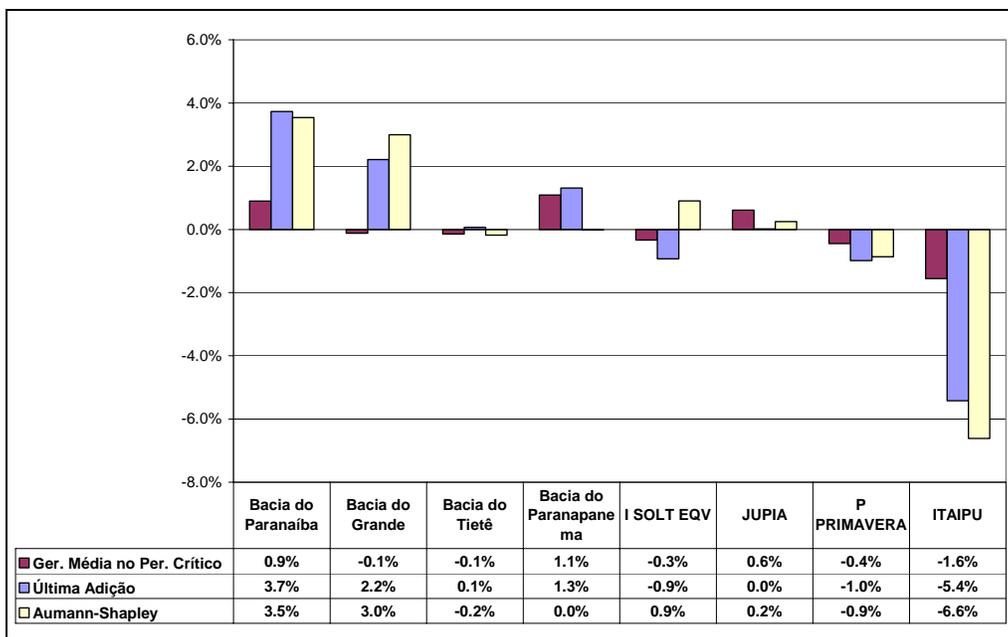


Figura 9.9 - Resultados dos três métodos de alocação das usinas do rio Paraná e dos valores agregados das usinas de seus rios afluentes.

Observa-se que há uma notável transferência de alocação da energia firme de Itaipu, que está localizada mais a jusante, para as usinas e bacias localizadas a montante. Em outras palavras, no critério atual a usina de Itaipu é visivelmente beneficiada com sua energia assegurada. Ressalta-se ainda que a energia assegurada de Itaipu, atualmente igual a 8612 MW médios, não foi calculada com a mesma metodologia das demais. A razão é que, à época, não estava ainda definido que Itaipu participaria do MRE²⁴

9.5.

Análise dos resultados: síntese geral

Os resultados apresentados e discutidos neste capítulo permitem concluir que a aplicação de distintos critérios de alocação conduz a alocações diferenciadas, e permite constatar que não existe uma única maneira de se executar esta repartição. Entretanto, há *critérios* para verificar se uma dada metodologia de repartição é adequada sob a ótica da chamada “justiça” da alocação. Portanto, embora possam, à primeira vista, parecer

²⁴ Mecanismo de Realocação de Energia. Ver anexo C para mais detalhes sobre seu funcionamento.

atrativos, os critérios de alocação GMPC e UA nem sempre pertencem ao núcleo do jogo e, portanto, há argumentos para não os caracterizarem alocações “justas”.

Os resultados permitem concluir ainda, que, em relação ao método AS, o critério de alocação atualmente em vigor no sistema Brasileiro tende a, proporcionalmente, sobreestimar os direitos de energia firme das usinas localizadas mais a jusante e de subestimar os das usinas localizadas mais a montante. Esta alocação “atual”, que como mostrada no anexo B e [80] foi baseada no método GMPC, poderia não pertencer ao núcleo do jogo²⁵ e seria, portanto, “injusta” sob a ótica da teoria da justiça.

A razão para analisar os resultados comparando os certificados de energia assegurada “em relação” ao método de Aumann-Shapley é que este método se mostra o mais adequado (dentre os analisados) para refletir uma alocação “justa” dos direitos de energia firme: é um método que origina-se de uma metodologia intuitiva (valor de Shapley), não há a preocupação com a atribuição do recurso “água” (conforme mostrado na seção 8.5) e, como foi demonstrado nesta monografia, fornece uma alocação que pertence ao “núcleo” do jogo.

²⁵ Note que para testar se a alocação atual pertence ao núcleo, deveria se calcular o firme de cerca de 10^{30} sub-coalizões.