

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SATURAÇÃO DA AÇUDAGEM NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS METROPOLITANAS – CEARÁ

*Erika da Justa Teixeira Rocha¹; Renata Mendes Luna²; Francisco de Assis de Souza Filho²
e Ticiania Marinho de Carvalho Studart²*

Resumo – A prática da açudagem tem sido, ao longo dos últimos cem anos, fator decisivo para a redução da vulnerabilidade das populações do semiárido cearense. Para compensar a sazonalidade e a variabilidade interanual das chuvas, o reservatório superficial passa a ser um transportador de água no tempo e assim, a capacidade potencial de armazenamento no Ceará é hoje cerca de 17 bilhões de m³, distribuída em pequenos, médios e grandes açudes. Estima-se que existam cerca de 30 mil açudes, dos mais variados tamanhos, no Ceará. Algumas bacias ainda têm condição de agregar vazão ao sistema hídrico existente; outras estão saturadas ou próximas da saturação e um novo reservatório pode significar um decréscimo da vazão regularizada do sistema. O presente trabalho teve como objetivo apresentar uma metodologia de avaliação do grau de saturação de uma bacia - o Índice do Grau de Saturação da Açudagem (IGAS) – e utilizá-lo nas Bacias Metropolitanas, no Estado do Ceará. Com a aplicação do IGAS, observou-se que a maioria das sub-bacias encontra-se com o IGAS muito elevado.

Abstract – The practice of water storage in reservoirs over the last hundred years has been a decisive factor for reducing the vulnerability of populations in the semi-arid region of Ceará. To compensate the seasonal and interannual rainfall variability surface reservoir becomes a carrier of water in time. One can estimate the potential storage capacity in Ceará is, nowadays, around 17 billion cubic meters, distributed in small, medium and large dams. It is estimated that there are about 30,000 reservoirs, of various sizes, in Ceará. Some basins are still able to aggregate flow to the existing water systems; others are saturated or close to saturation and a new reservoir mean a decrease in the regularized flow of the system. This study aimed to present a methodology for evaluation of the degree of saturation of a watershed - the index of the degree of saturation of damming (IGAS) - and use it in Metropolitan Basins, in the northern state of Ceará, where several dams are still planned. It was observed that most sub-basins in Metropolitan Basins is very high with IGAS.

Palavras-Chave – saturação, pequena açudagem.

¹Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE. Rua Maria Alves Ribeiro, 315, (85)88920310, erikadajusta@ifce.edu.br

²Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 713. (85) 3366.9770. ticiania@ufc.br; assis@ufc.br; renata@deha.ufc.br

1. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas Metropolitanas necessita de obras de regularização de vazões para prover água na quantidade e no momento adequado. Esta necessidade se dá devido à intermitência dos rios, de sua pronunciada sazonalidade intranual e significativa variabilidade interanual. A construção de obras de estocagem de água possibilita esta regularização desejável. Há, porém um limite para a regularização de vazões. Este limite se dá quando novas obras de reservação hídrica não crescem a vazão regularizada podendo inclusive reduzi-la devido ao aumento da evaporação com a construção de reservatórios. Diz-se que uma bacia hidrográfica está saturada quando não há mais ganho de regularização com a construção de novos reservatórios.

As aguadas, reservatórios muito pequenos e frequentemente os pequenos não tem capacidade de realizar a regularização plurianual. Desta forma, tem uma vazão garantida muito baixa e não contribuem para a regularização plurianual, de fato reduzindo a regularização plurianual ao reduzirem a afluência aos reservatórios plurianuais. Não obstante a este fato, a pequena açudagem produz um grande benefício para as populações rurais ao melhorar a distribuição espacial das disponibilidades hídricas, provendo manancial para a dessedentação animal, pequena irrigação e outros usos. Desta forma uma solução de compromisso entre a reservação plurianual e a pequena reservação difusa necessita ser definida. As aguadas e os pequenos reservatórios devem ter seu efeito cumulativo avaliado com vistas à identificação da contribuição dos mesmos para a saturação da bacia.

A média e a grande açudagem devem ser avaliadas para se identificar se o efeito cumulativo das mesmas já levou a saturação da bacia. A capacidade de armazenamento de reservatório no semiárido é frequentemente da ordem de grandeza de 1,5 a 3,0 vezes a vazão afluente anual. Esta capacidade de estocar mais que a afluência média se dá devido à variabilidade climática plurianual. Pode-se considerar que bacias hidrográficas com estoques de regularização plurianual superior a 3,0 vezes o potencial de escoamento da bacia encontram-se saturada. O potencial de escoamento para a regularização plurianual é o potencial da bacia menos o efeito da pequena açudagem.

Avalia-se a seguir o grau de saturação em açudagem da Região Hidrográfica Metropolitana. A avaliação da saturação foi realizada em cada uma das 15 sub-bacias em que foi dividida esta região hidrográfica.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As Bacias Metropolitanas situam-se na porção nordeste do Estado, limitada ao sul pela bacia do Rio Banabuiú, a leste pela bacia do Rio Jaguaribe, a oeste pela bacia do Rio Curu, e ao norte, pelo Oceano Atlântico (Figura 1).

Recebe a denominação de Bacias Metropolitanas, refletindo a situação de proximidade e abrangência da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), região de maior densidade demográfica e principal polo econômico do Estado do Ceará.

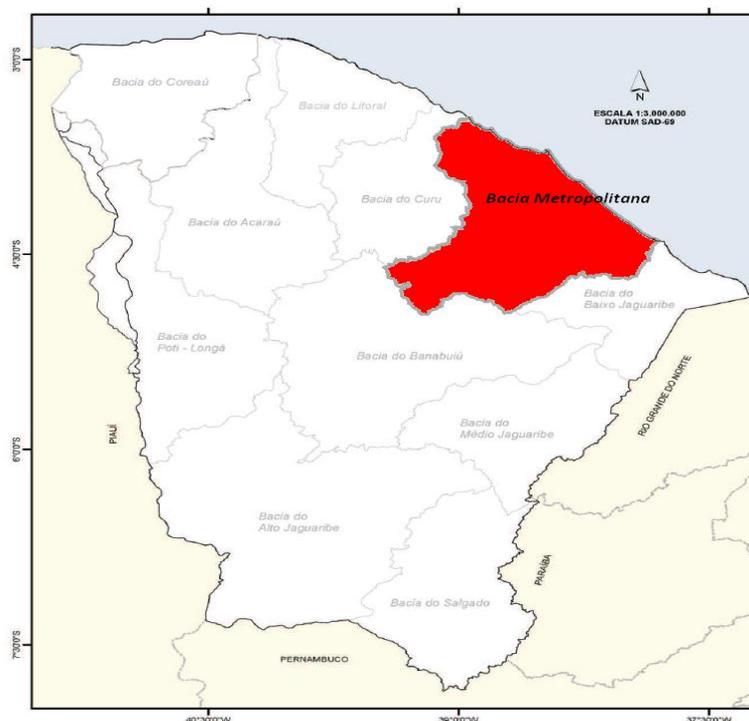


Figura 1 - Localização da Bacia Metropolitana em relação ao Estado do Ceará

Em termos hidrográficos, trata-se de um conjunto de bacias hidrográficas independentes que totalizam uma área de 15.085 Km², dos quais 646 km² correspondem ao somatório de faixas FLEDs (escoamento difuso) descontínuas.

O Plano de Gestão das Águas das Bacias Metropolitanas (COGERH, 2000) identificou 14 bacias independentes, que foram tratadas no PERH (1992) como sendo 16: São Gonçalo, Gereraú, Cauhaípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Coaçu, Pacoti, Catu, Caponga Funda, Caponga Roseira, Malcozinhado, Choró, Uruaú e Pirangi. A diferença se dá devido ao PERH (1992) tratar como bacias independentes os sistemas Cocó/Coaçu e Ceará/Maranguape (o segundo rio é um afluente do primeiro), uma vez as confluências se dão tão próximas do mar que seus comportamentos são semelhantes ao de bacias independentes. (Figura 2).

Para caracterizar o regime de chuvas a nível mensal e anual nas Bacias Metropolitanas foram selecionados três postos pluviométricos – de Fortaleza, Itapiuna e Pacoti. As principais estatísticas das séries anuais são mostradas na Tabela 1.

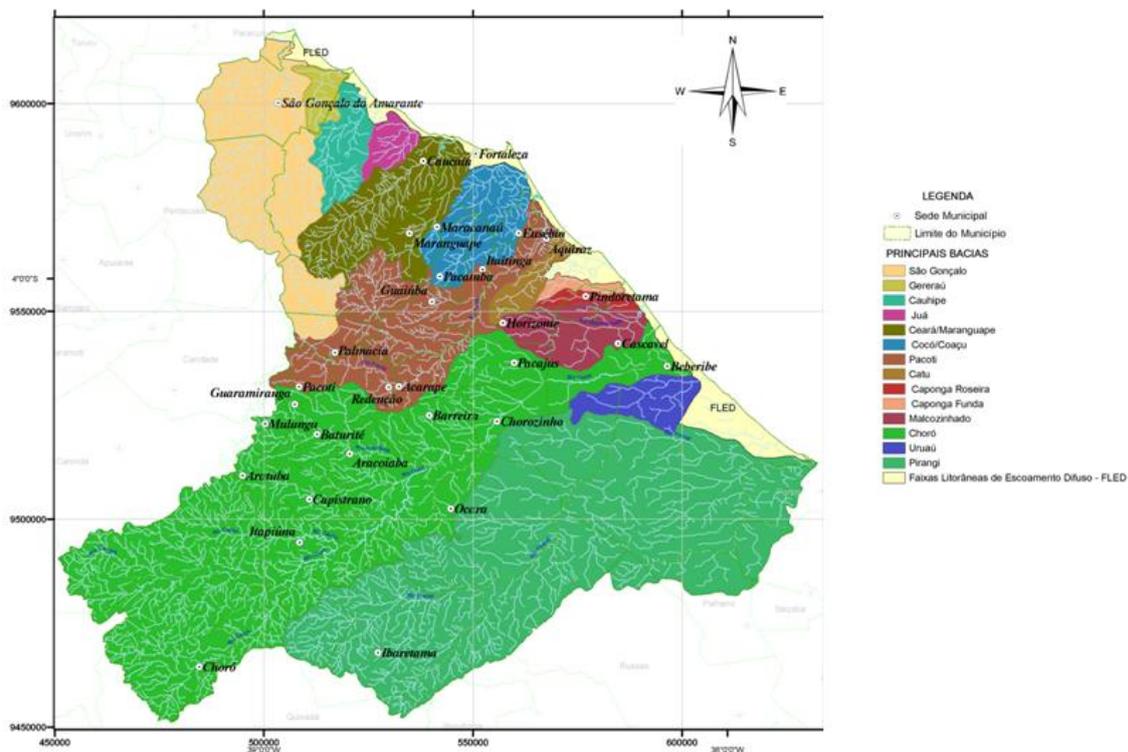


Figura 2 – Sub-bacias da região hidrográfica Metropolitana.

Tabela 1 - Características das Precipitações anuais nos postos pluviométricos de Fortaleza, Itapiuna e Pacoti.

Discriminação	Fortaleza	Itapiuna	Pacoti
Média (mm)	1399,0	807,8	1530,0
Desvio Padrão (mm)	481,7	457,6	457,6
Coef. de variação (%)	34,4	40,1	29,9
Precip. Máxima (mm)	2898,8	1853,8	2620,0
Precip. Mínima (mm)	679,9	168,9	475,7

Fonte: SUDENE (1990)

3. METODOLOGIA

A avaliação do grau de saturação em açudes das bacias Metropolitanas iniciou-se com uma análise e classificação dos espelhos de água da bacia. Nesta classificação avaliou-se as características associadas às áreas dos espelhos de água e à estimativa do volume de água estocado (a partir da aplicação da metodologia proposta pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 1992). Em seguida, realizou-se a classificação dos reservatórios segundo sua capacidade de armazenamento e avaliou-se o nível de saturação em cada uma das sub-bacias hidrográficas.

3.1. Avaliação dos espelhos d'água

As Bacias Metropolitanas tem, segundo o levantamento dos espelhos de água realizada pela FUNCEME, um total 3571 espelhos de água. A Figura 3 apresenta esquema da distribuição destes lagos e seu histograma de frequência. Observa-se que 88% dos lagos tem menos que 10 hectares de área. A área total de espelho de água na bacia é de 492,44 km²; considerando-se a área da bacia é de 15.085 km², tem-se que 3,3% da área da bacia está coberta pelos espelhos de água.

Após a avaliação dos espelhos d'água, fez-se a classificação das áreas por sub-bacia. A Tabela 2 mostra as principais características das sub-bacias.

Tabela 2 - Resumo das Características dos Espelhos de Água nas Bacias Metropolitanas.

Sub-Bacia	Área de Drenagem (km ²)	Número de Espelhos	Área Total de Espelho d'água (km ²)	Número de reservatórios por 100 Km ²	Percentual de Área	Área Total de Espelhos Menor que 50 ha (km ²)	Percentual da área total coberta por Espelhos Menores que 50 ha
Caponga Funda	59,40	12	0,54	20,20	0,9%	0,54	0,9%
Caponga Roseira	69,30	28	0,97	40,40	1,4%	0,42	0,6%
Catu	161,97	56	9,40	34,57	5,8%	1,51	0,9%
Cauhípe	291,45	106	6,55	36,37	2,2%	3,37	1,2%
Ceará/Maranguape	771,69	296	17,03	38,36	2,2%	12,33	1,6%
Choró	4750,70	865	122,57	18,21	2,6%	40,75	0,9%
Coco/Coaçu	549,70	215	19,34	39,11	3,5%	8,91	1,6%
Costa	535,00	94	19,32	17,57	3,6%	7,49	1,4%
Gereraú	120,20	32	71,45	26,62	59,4%	2,10	1,7%
Juá	121,60	59	2,51	48,52	2,1%	2,50	2,1%
Malcozinhado	414,66	72	14,24	17,36	3,4%	2,92	0,7%
Pacoti	1283,63	498	76,22	38,80	5,9%	17,84	1,4%
Pirangi	4367,78	905	76,75	20,72	1,8%	52,24	1,2%
São Gonçalo	1327,04	317	51,13	23,89	3,9%	15,72	1,2%
Uruaú	261,5	16	4,42	6,12	1,7%	1,30	0,5%
Toda a Região Hidrográfica	15085,62	3571	492,44	420,71	3,3%	169,93	1,1%

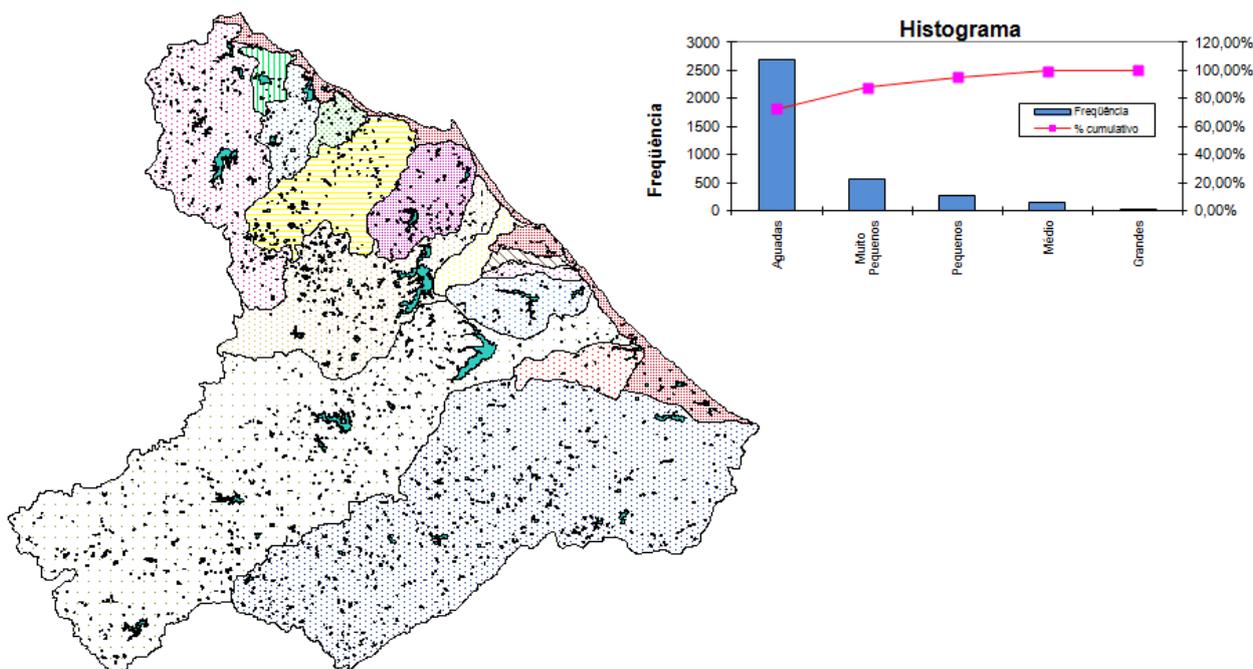


Figura 3 – Espelhos d’água nas Bacias Metropolitanas.

3.2. A metodologia do PERH para a estimativa de volumes dos reservatórios

Os volumes dos espelhos de água foram avaliados seguindo a base metodológica do PERH (1992), que estima o volume armazenado em um reservatório (V), a partir da correspondente bacia hidráulica (S). Tal metodologia se baseia na obtenção de diversas relações que definem a geometria dos açudes para cada classe de relevo e ordem do rio barrado.

O PERH (1992) utilizou uma amostra de 351 açudes para o desenvolvimento de tal metodologia.

3.2.1. Classes de Relevo

Para cada bacia, o PERH (1992) identificou, por critério puramente visual (onde as curvas de níveis mais se aproximavam), o relevo mais forte. O restante das áreas foi mapeado segundo declividades médias entre as curvas de nível. O conceito original de declividade média foi modificado para razão entre o ‘comprimento médio das curvas eqüidistantes de 80m’ e ‘área entre as respectivas curvas’. O produto deste quociente

pelo desnível entre as curvas de nível gerou o conceito de declividade média (i) adotado no plano.

As cinco classes de relevo consideradas foram estabelecidas segundo o critério da declividade média entre as curvas de nível (i), são as elencadas a seguir, e estão mapeadas na Figura 4:

- Relevo muito suave ($i < 6\%$);
- Relevo suave ($6 < i < 9\%$);
- Relevo Moderado ($9 < i < 13\%$);
- Relevo Forte ($i > 13\%$);
- Relevo muito forte (regiões montanhosas).

3.2.2. *Ordem dos rios*

A ordem dos rios reflete o grau de ramificação dentro da bacia. Seguiu-se metodologia de Horton, modificada por Strahler.

3.2.3. *Ajuste das relações área x volume*

A partir da amostra original, o PERH (1992) procurou definir relações que permitissem estabelecer padrões gerais de interdependência entre as características geométricas dos açudes, ou seja, que permitam a determinação do volume (V), com base na área do espelho d'água (A) e dos parâmetros **a** e **b** da curva de regressão do volume em função da área do espelho. Os parâmetros **a** e **b** da curva de regressão do volume em função da área do espelho são apresentados na Tabela 3. A equação de regressão é:

$$V = a A^b \quad (1)$$

onde V = volume em m^3 ; A = área do espelho d'água em hectares.

Tabela 3 – Parâmetros da Curva de Regressão Volume vs. Área do Espelho d'Água

Classe de Relevo	Ordem do Rio	Número de Açudes	Coefficiente de Correlação	Parâmetro A	Parâmetro b
Relevo R1	Ordem 1	364	0,87	11.220,02	1,16
	Ordem 2	149	0,93	28.467,58	0,91
	Ordem 3	66	0,92	5.755,97	1,31
Relevo R2	Ordem 1	764	0,87	14.642,35	1,1
	Ordem 2	348	0,87	40.326,68	0,87
	Ordem 3	141	0,92	14.693,40	1,14
Relevo R3	Ordem 1	1385	0,82	25.082,57	0,95
	Ordem 2	469	0,71	104.676,00	0,59
	Ordem 3	174	0,82	12.270,20	1,21
Relevo R4	Ordem 1	396	0,63	79.426,47	0,54
	Ordem 2	135	0,75	15.458,55	1,10
	Ordem 3	58	0,82	58.462,62	0,76
Relevo R5	Ordem 1	179	0,87	23.943,09	1,01
	Ordem 2	65	0,52	44.496,38	0,69
	Ordem 3	15	0,98	3.651,29	1,59

Fonte: Diagnóstico, pag 197 (PERH, 1992).

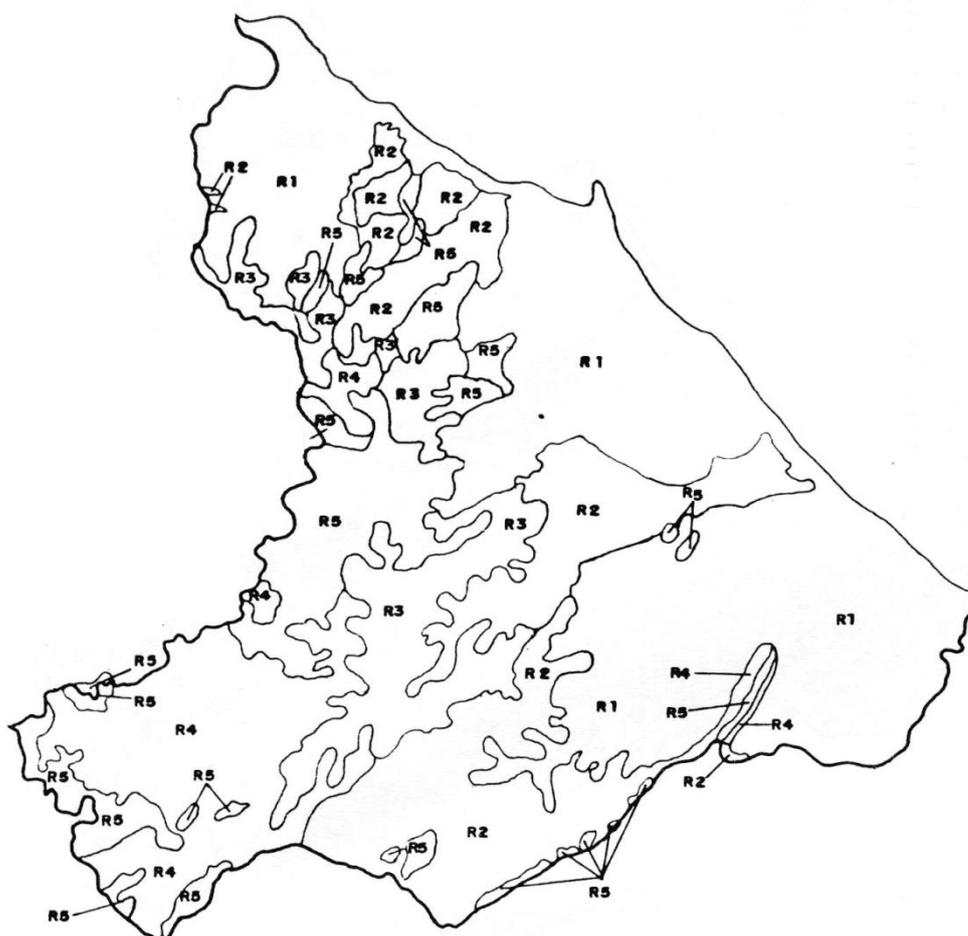
3.3. Estimativa de volumes dos reservatórios na Bacia Metropolitana

O processo de estimativa dos volumes dos reservatórios iniciou-se com a organização da base de informações em Sistema de Informações Geográficas. Utilizou-se o Levantamento dos Espelhos de Água realizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME, para a atualização das cartas 1:100.000 da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE e do Exército. Fez-se uma auditoria cartográfica para consistir à base de espelhos d'água na bacia de forma a retirar redundâncias de lagos que apareciam em mais de uma carta.

Após este trabalho, realizou-se, manualmente, a classificação de cada um dos reservatórios pelo relevo e pela ordem do rio (hierarquia fluvial).

A partir da classificação do reservatório, foram estimados os parâmetros para o cálculo dos volumes, utilizando a Tabela 3.

ZONEAMENTO DO RELEVO



LEGENDA P/DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PROJETO:

- R 1 — RELEVO MUITO SUAVE ($1d < 6\%$)
- R 2 — RELEVO SUAVE ($6 \le 1d < 9\%$)
- R 3 — RELEVO MODERADO ($9 \le 1d \le 13\%$)
- R 4 — RELEVO FORTE ($1d > 13\%$)
- R 5 — RELEVO MUITO FORTE (OBTIDO DAS CARTAS 1:100.000)

Figura 4 – Zoneamento do relevo para a Bacia Metropolitana (Fonte: adaptada do PERH (1992))

3.4. Classificação dos reservatórios quanto ao tamanho

Após a estimativa dos volumes dos reservatórios (Equação 1), os mesmos foram classificados de acordo com o seu tamanho. Para isso foi utilizada a classificação do PERH (1992), ou seja:

- Aguadas com capacidade menor que $0,30 \text{ hm}^3$
- Muitos Pequenos com capacidade entre $0,30 \text{ hm}^3$ e $1,00 \text{ hm}^3$
- Pequenos com capacidade entre $1,00 \text{ hm}^3$ e $3,00 \text{ hm}^3$
- Médios com capacidade entre $3,00 \text{ hm}^3$ e $50,00 \text{ hm}^3$
- Grandes maiores que $50,00 \text{ hm}^3$

O volume armazenável na bacia foi estimado em $9.179,96 \text{ hm}^3$, estando a maior parte deste estoque na sub-bacia do Pacoti. As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam as estimativas para toda a região hidrográfica e para cada uma de suas sub-bacias. A bacia, como um todo, tem seu histograma de reservatórios mostrados na Tabela 4. Observa-se nesta tabela que 88% dos espelhos de água são aguadas ou reservatórios muito pequenos. O volume total destes é de aproximadamente 515 hm^3 em toda a bacia.

Tabela 4 - Classificação dos Reservatórios na Bacia Hidrográfica Metropolitana.

Bloco	Frequência	% cumulativo
Aguadas	2684	72,72%
Muito Pequenos	567	88,08%
Pequenos	264	95,23%
Médio	162	99,62%
Grandes	14	100,00%

Tabela 5 - Volume total dos Reservatórios por Tipo na Bacia Hidrográfica Metropolitana.

Bloco	Estoque (hm³)
Aguadas	203,15
Muito Pequenos	312,48
Pequenos	455,78
Médio	1365,71
Grandes	6842,89
Total	9180,01

Tabela 6 - Estimativa de volumes Armazenados por sub-bacia

SUB-BACIA	Estoque (hm³)
Caponga Funda	3,86
Caponga Roseira	7,78
Catu	15,59
Cauhípe	327,41
Ceará/Maranguape	114,40
Choró	1451,00
Coco/Coaçu	73,24
FLED	104,58
Gereraú	5,89
Juá	17,88
Malcozinhado	59,88
Pacoti	5191,54
Pirangi	1524,50
São Gonçalo	94,03
Uruaú	188,38

Tabela 7 - Volume Total Acumulado em hm³ nas sub-bacias na Bacia Hidrográfica do Metropolitana.

Sub-bacia	Caponga Funda	Caponga Roseira	Catu	Cauhipe	Ceará Maranguape	Choró	Coco Coaçu	FLED
Aguadas	0,92	1,26	3,64	6,24	18,00	44,42	13,96	5,29
Muito Pequenos	1,14	1,25	5,96	5,35	24,02	67,68	13,29	13,92
Pequenos	1,8046	-	1,92	7,48	29,21	105,13	36,30	19,01
Médio	-	5,27	4,06		43,17	606,37	9,68	66,35
Grandes	-	-	-	308,35		627,39		
Total	3,87	7,78	15,59	327,41	114,40	1451,00	73,24	104,58

Sub-bacia	Gereraú	Juá	Malcozinhado	Pacoti	Pirangi	São Gonçalo	Uruaú	Total geral
Aguadas	1,77	4,04	3,89	29,50	52,79	16,84	0,57	203,15
Muito Pequenos	0,35	4,92	5,67	34,25	106,84	23,84	3,97	312,48
Pequenos	-	4,89	7,49	35,92	177,06	24,90	4,63	455,78
Médio	3,77	4,02	42,83	74,12	477,61	28,45	-	1365,71
Grandes	-	-	-	5017,74	710,18	-	179,22	6842,89
Total	5,89	17,88	59,89	5191,54	1524,50	94,03	188,38	9180,02

4. AVALIAÇÃO DO GRAU DE SATURAÇÃO DA AÇUDAGEM

O Índice do Grau de Saturação da Açudagem (IGAS) é definido como sendo a razão entre o volume armazenado na bacia e vazão afluyente anual útil para a média e a grande açudagem. Esta vazão útil é a vazão potencial (isto é, o produto da lâmina média escoada pela área da bacia hidrográfica) menos o volume das aguadas e reservatórios muito pequenos, isto é:

$$IGAS = \frac{V}{Aflu} \quad (2)$$

Onde V é o volume dos estoques de água e *Aflu* é a afluência média anual.

O Índice do Grau de Saturação da Açudagem (IGAS) foi criado para realizar a avaliação da saturação dos reservatórios. Optou-se pelo índice em lugar de uma simulação caso a caso do sistema de reservatório por este permitir uma comparação

entre bacias hidrográficas e não estar sujeito as especificidades decorrentes da eficiência dos reservatórios individuais.

O cálculo da afluência média anual foi realizado a partir da lâmina anual média escoada em cada município conforme o PERH (1992). Os municípios que não existiam a época do Plano tiveram o valor do deflúvio estimado através de interpolação dos deflúvios dos municípios vizinhos. Desta forma para cada bacia é possível obter o deflúvio em suas diferentes regiões e conseqüentemente o deflúvio médio.

As informações sobre o total dos estoques de água somam-se as dos deflúvios para se calcular o IGAS. A Figura 5 mostra os deflúvios para cada sub-bacia da Região Hidrográfica Metropolitana.

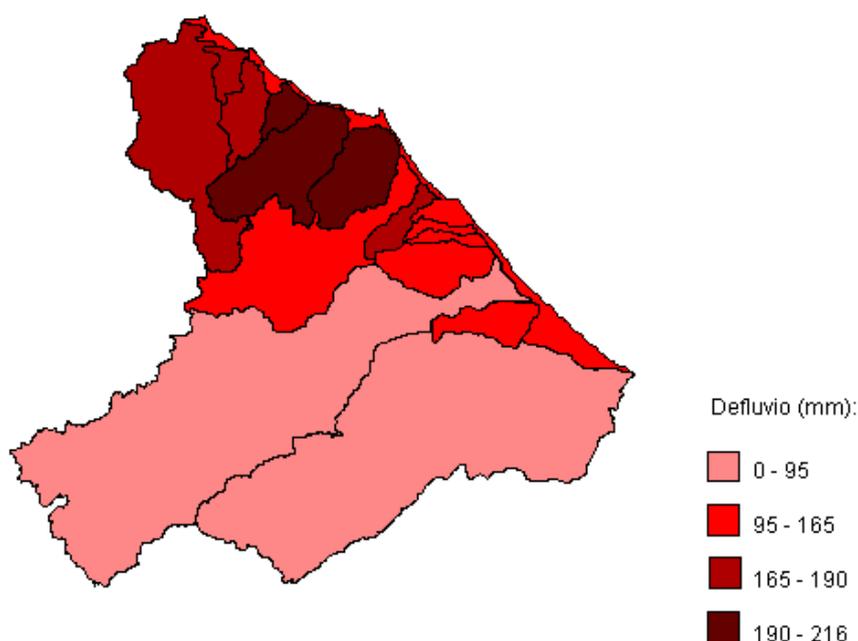


Figura 5 - Deflúvios da Região Hidrográfica Metropolitana.

Para o IGAS definiram-se cinco (5) níveis de saturação para a bacia:

- Muito baixa: $0,0 < IGAS < 0,5$
- Baixa: $0,5 \leq IGAS < 1,0$
- Normal: $1,0 \leq IGAS < 2,0$
- Alta: $2,0 \leq IGAS < 3,0$
- Muito Alta $3,0 \leq IGAS$

Estes níveis de saturação aplicados às Sub-Bacias da Região Hidrográfica Metropolitana são mostrados na Figura 6. Observa-se que a maioria das sub-bacia encontra-se com índice de saturação muito alto, dentre elas a do Pacoti, Pirangi, Ceará/Maranguape, Cocó/Coaçu e Cauhípe. A sub-bacia Costeira (FLED) possui grau de saturação normal e as demais sub-bacias estão com saturação baixo.

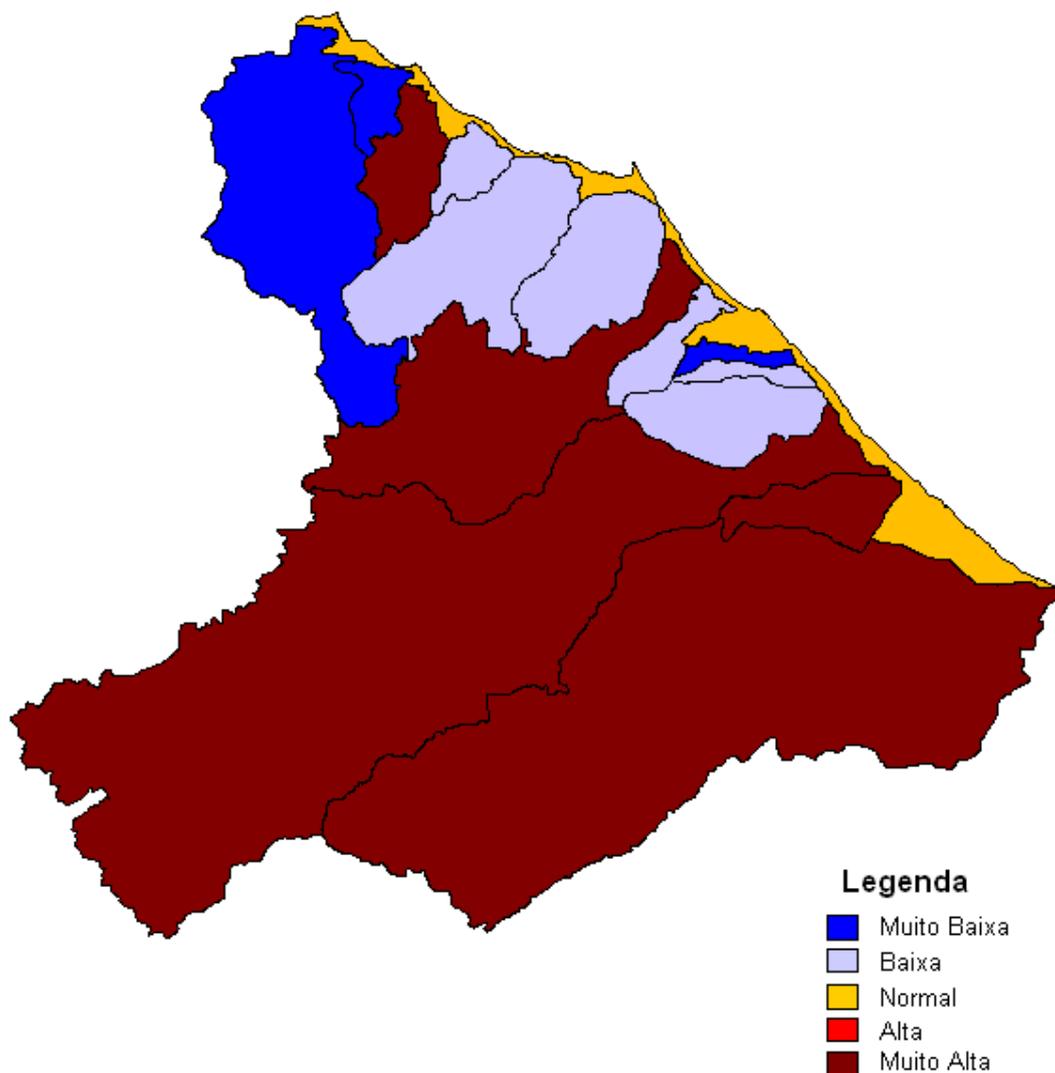


Figura 6 - Nível de Saturação dos Reservatórios de cada uma das sub-bacias da Região Hidrográfica Metropolitana.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho descreve uma metodologia para avaliar o nível de saturação de uma bacia no que diz respeito à estocagem de água e a aplica às bacias metropolitanas.

Sabe-se que a Região Metropolitana de Fortaleza – RMF já dispõe de um complexo sistema integrado de recursos hídricos. Desde o açude Orós/Castanhão, Canal do Trabalhador aos eixos interligados do Eixo de Integração Açude Castanhão/Pecém, que no futuro próximo será interligado ao rio São Francisco. Algumas regiões, no entanto, encontram-se ainda necessitadas de água. Para incrementar a oferta hídrica nas bacias Metropolitanas prevê-se a construção de quinze açudes de médio porte.

Pelas simulações efetuadas em todas as sub-bacias pode-se constatar que há uma quantidade significativa de pequena açudagem, com o IGAS indicando altos níveis de saturação (área em marrom), apontando as regiões em que possíveis novos barramentos poderiam interferir negativamente na vazão regularizável.

Este estudo não indica a impossibilidade da construção de novos açudes, mas aponta regiões onde sua construção deve ter uma avaliação mais criteriosa.

6. BIBLIOGRAFIA

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1998.

CAMARGO, M. U. C. Os Sistemas de Informações Geográficas como Instrumentos de Gestão em Saneamento. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

CEARÁ - SRH. Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Fortaleza, 1992.

COGERH/IBI. Revisão do Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. 2010.

COGERH/VBA. Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. CD ROM. 1999.

MI, FUNCEME, 2007. Levantamento dos espelhos de água com área acima de 5 hectares. Ministério da Integração Nacional e Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2007.

SRH. O estudo do impacto cumulativo das barragens do PROURB. Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará, 1995.