

## Avaliação do nível de saturação da açudagem na bacia hidrográfica do rio Acaraú - Ceará

*The evaluation of dam saturation levels in the basin of river Acaraú - Ceará*

**Erika da Justa Teixeira Rocha**

erikadajusta@ifce.edu.br  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

**Francisco de Assis de Sousa Filho**

assis@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará

**Ticiano Marinho de Carvalho Studart**

ticiano@ufc.br  
Universidade Federal do Ceará

**Renata Mendes Luna**

renata@deha.ufc.br  
Universidade Federal do Ceará

### Resumo

A prática da açudagem tem sido importante 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 m<sup>3</sup>. Estima-se que existam cerca de 30 mil açudes no Ceará. Algumas bacias ainda têm condição de agregar vazão ao sistema hídrico, outras estão saturadas ou próximas da saturação, e um novo reservatório significaria decréscimo de vazão regularizada do sistema. Este 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 na Bacia do Rio Acaraú, onde vários barramentos ainda estão previstos. Observou-se que a maioria das sub-bacias encontra-se com o IGAS elevado.

**Palavras-chave:** Pequena Açudagem. Grau de Saturação.

### Abstract

The practice of water storage has been important in reducing the vulnerability of populations in semiarid region of Ceará. To compensate for the seasonal and interannual variability of rainfall, surface reservoir becomes a carrier of water in time and thus the potential storage capacity in Ceará is now about 17 billion m<sup>3</sup>. It is estimated that there are about 30,000 dams in Ceará. Some basins are still able to aggregate flow to the water system, others are saturated or near saturation and a new reservoir would decrease the flow of the regularized system. This study aimed to present a methodology for assessing the degree of saturation of a watershed, the index of the degree of saturation of damming (IGAS) and use it in River Basin Acaraú where several buses are still provided. With the application of IGAS, it was observed that most of the sub-basin is the high IGAS.

**Keywords:** Water storage. Saturation.

## 1 Introdução

A busca de soluções para as recorrentes secas no Nordeste levou à construção de grandes números de reservatórios, sem, entretanto, enquadrarem-se dentro de uma política hídrica para as bacias hidrográficas. A prática tem demonstrado que a pequena açudagem é um dos fatores responsáveis pela redução do volume afluente dos grandes reservatórios interanuais, os quais são de interesse estratégico.

A utilização dos recursos hídricos em uma região hidrográfica necessita de obras de regularização de vazões para prover água na quantidade e no momento adequado. Essa necessidade se dá devido à intermitência dos rios, sua pronunciada sazonalidade intranual e significativa variabilidade interanual. A construção de obras de estocagem de água possibilita essa regularização desejável. Há, porém, um limite para a regularização de vazões. Esse limite se dá quando novas obras de reservação hídrica não mais acrescem 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, os reservatórios muito pequenos e, frequentemente, os pequenos, além de não possuírem capacidade de realizar a regularização plurianual, acabam por reduzi-la, por reduzirem a afluência dos reservatórios plurianuais. Entretanto, a pequena açudagem produz, sim, 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.

Dessa 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 deles para a saturação da bacia, e a média e a grande açudagem devem ser avaliadas para identificar se o efeito cumulativo delas já levou à 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. Isso se dá devido à variabilidade das chuvas. De uma maneira geral, pode-se considerar que bacias hidrográficas com estoques de regularização plurianual superior a 3,0 vezes o potencial de escoamento da bacia encontram-se saturadas. Assim, o potencial de escoamento para a regularização plurianual é o potencial da bacia menos o efeito da pequena açudagem.

Neste trabalho, apresenta-se a metodologia para avaliação do grau de saturação de uma bacia e a aplica na Bacia do Rio Acaraú, buscando analisar a saturação em cada uma das suas oito sub-bacias.

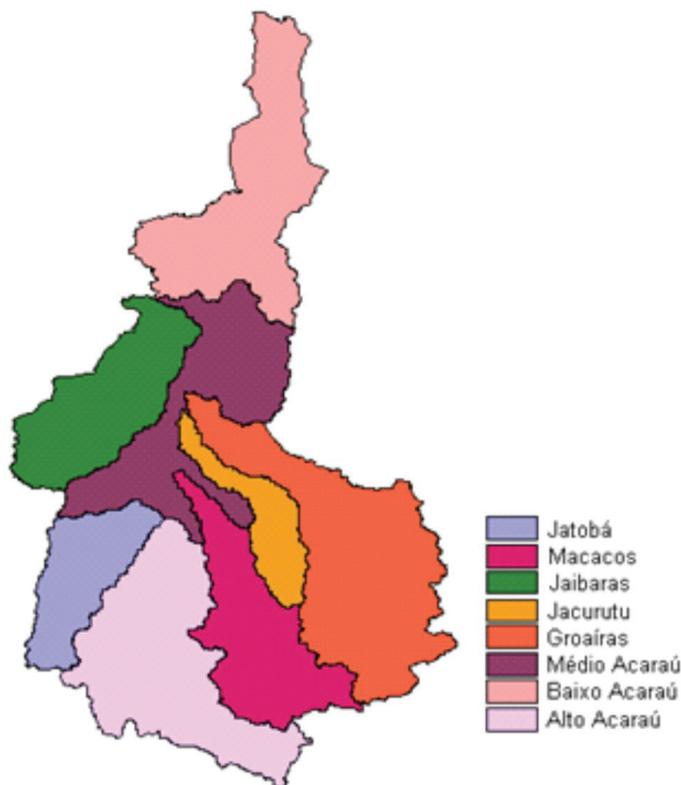
## 2 Caracterização da área de estudo

A Bacia do Acaraú está situada na porção noroeste do estado do Ceará e limita-se a noroeste com a Bacia do Coreaú, a sudoeste com a Bacia do Poti Longá, a sudeste com a Bacia do Banabuiú, a leste com as bacias do Curú e Litoral, e ao norte com o Oceano Atlântico (Figura 1).



Figura 1: Localização da Bacia do Acaraú em relação ao estado do Ceará.

Em termos hidrográficos, tem como principal coletor de drenagem o Rio Acaraú. Os principais afluentes do rio Acaraú são os rios Groaíras, dos Macacos, Jacurutu e Sabonete pela sua margem direita, e o rio Jaibaras pela sua margem esquerda (Figura 2).



**Figura 2:** Sub-bacias da região hidrográfica do Acaraú.

Para caracterizar o regime de chuvas a nível mensal e anual na Bacia do Acaraú, foram selecionados três postos pluviométricos: o do Acaraú, que representa a região litorânea; o da Meruoca, representando a região serrana; e o de Santa Quitéria, representando o semiárido.

As principais estatísticas das séries anuais são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características das precipitações anuais em Acaraú, Meruoca e Santa Quitéria

| Discriminação         | Acaraú | Meruoca | Santa Quitéria |
|-----------------------|--------|---------|----------------|
| Média (mm)            | 1130,2 | 1620    | 799,3          |
| Desvio Padrão (mm)    | 560,6  | 625,5   | 410,7          |
| Coef. de variação (%) | 49,6   | 38,6    | 51,4           |
| Precip. Máxima (mm)   | 2959   | 3794,5  | 2123,7         |
| Precip. Mínima (mm)   | 158,9  | 427     | 104            |

Fonte: SUDENE (1990)

### 3 Metodologia

A avaliação do grau de saturação em açudes da bacia do Acaraú iniciou-se com uma análise e classificação dos espelhos de água da bacia. Nessa classificação, avaliaram-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.

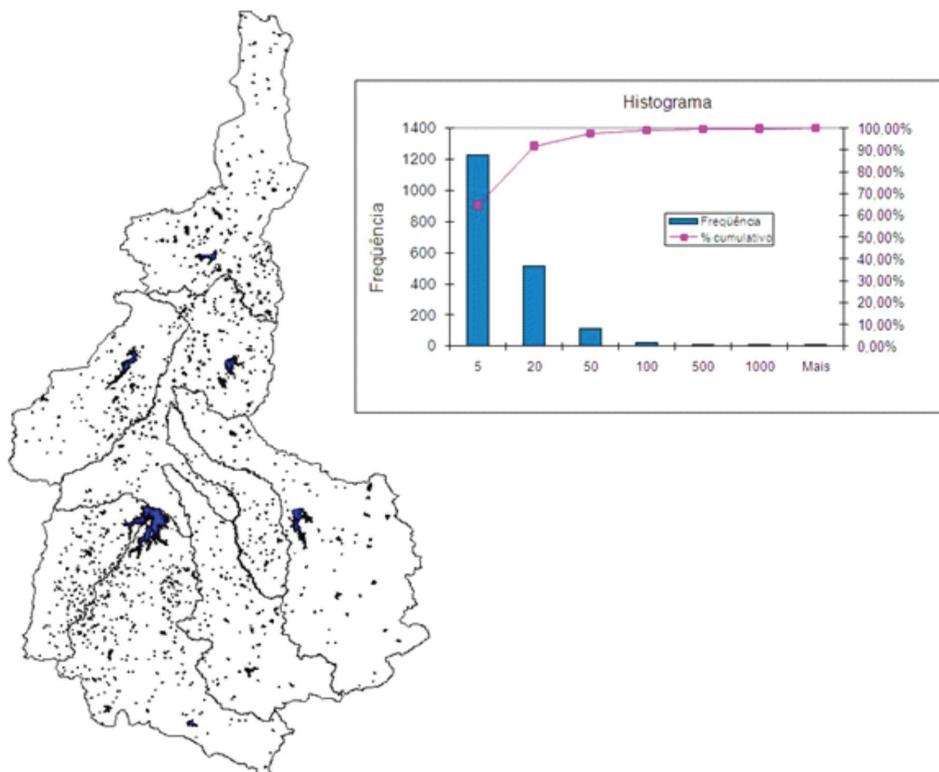
### 3.1 Avaliação dos espelhos d'água

A Bacia do Acaraú tem, segundo levantamento realizado pela FUNCEME, um total de 1.942 espelhos de água. A Figura 3 apresenta um esquema da distribuição desses lagos e seu histograma de frequência. Observa-se que 81% dos lagos têm menos de 10 hectares de área. A área total de espelho de água na bacia é de 501 km<sup>2</sup>. Considerando-se que a área da bacia é de 14.500 km<sup>2</sup>, tem-se que 3,5% da área da Bacia do Acaraú estão cobertas 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 na Bacia do Acaraú.

| Sub-Bacia                         | Área de Drenagem (km <sup>2</sup> ) | Número de Espelhos | Área Total de Espelho d'água (km <sup>2</sup> ) | Número de reservatórios por 100 Km <sup>2</sup> | Percentual de Área | Área Total de Espelhos > 50 ha | Percentual da área total coberta por Espelhos > 50 ha |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------|---|---|--------------------|--------------------------------|---|
| Macacos                           | 1634                                | 151                | 12,98   | 9,24  | 0,8%               | 9,28                           | 0,6%  |
| Jatobá                            | 1036                                | 223                | 79,76   | 21,52   | 7,7%               | 13,74                          | 1,3%  |
| Jabairas                          | 1573                                | 180                | 27,47   | 11,44   | 1,7%               | 10,20                          | 0,6%  |
| Jacurutu                          | 681                                 | 98                 | 5,97  | 14,39   | 0,9%               | 4,43                           | 0,7%  |
| Groaíras                          | 2837                                | 120                | 34,03   | 4,23  | 1,2%               | 8,36                           | 0,3%  |
| Alto Acaraú                       | 2484                                | 543                | 97,75   | 21,86   | 3,9%               | 19,91                          | 0,8%  |
| Médio Acaraú                      | 1940                                | 317                | 95,50   | 16,34   | 4,9%               | 23,67                          | 1,2%  |
| Baixo Acaraú                      | 2257                                | 223                | 34,26   | 9,88  | 1,5%               | 20,15                          | 0,9%  |
| <b>Toda a Região Hidrográfica</b> | <b>14442</b>                        | <b>1855</b>        | <b>387,72</b>                                   | <b>108,91</b>                                   | <b>2,7%</b>        | <b>109,74</b>                  | <b>0,8%</b>   |



**Figura 3:** Espelhos d'água e histograma da Bacia do Acaraú.

### 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 a razão entre o “comprimento médio das curvas equidistantes de 80m” e a “área entre as respectivas curvas”. O produto desse 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). Elas estão elencadas a seguir e 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 a 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 permitissem 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:

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

em que V = volume em m<sup>3</sup>; A = área do espelho d'água em hectares.

**Tabela 3:** Parâmetros da curva de regressão do 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, p. 197 (PERH, 1992).

### 3.2 Estimativa de volumes dos reservatórios na Bacia do Acaraú

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 a 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, de acordo com relevo e ordem do rio (hierarquia fluvial).

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



Figura 4: Zoneamento do relevo para a Bacia do Acaraú (Fonte: adaptada do PERH (1992)).

### 3.4 Classificação dos reservatórios quanto ao tamanho

Após a estimativa dos volumes dos reservatórios (pela Equação 1), eles 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  $1.396 \text{ hm}^3$ , estando a maior parte desse estoque nas sub-bacias do Groaíras, Jatobá e Alto Acaraú. As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam as estimativas para toda a região hidrográfica e para cada uma de suas sub-bacias. O reservatório Araras teve seu volume dividido entre a sub-bacia do Jatobá e o Alto Acaraú. A bacia, como um todo, tem seu histograma de reservatórios mostrados na Tabela 4. Observa-se, nessa tabela, que 97%

dos espelhos de água são aguadas ou reservatórios muito pequenos. O volume total deles é de aproximadamente 244 hm<sup>3</sup> em toda a bacia.

**Tabela 4:** Classificação dos reservatórios na Bacia Hidrográfica do Acaraú

| Bloco          | Frequência | % cumulativo |
|----------------|------------|--------------|
| Aguadas        | 1550       | 86.79%       |
| Muito Pequenos | 188        | 97.31%       |
| Pequenos       | 35         | 99.27%       |
| Médios         | 10         | 99.83%       |
| Grandes        | 3          | 100.00%      |

**Tabela 5:** Volume total dos reservatórios por tipo na Bacia Hidrográfica do Acaraú

| Sub-Bacias      | Estoque (hm <sup>3</sup> ) |
|-----------------|----------------------------|
| Aguadas         | 143.1                      |
| Muitos Pequenos | 101.2                      |
| Pequenos        | 58.1                       |
| Médios          | 112.3                      |
| Grandes         | 981.0                      |
| TOTAL           | 1395.6                     |

**Tabela 6:** Estimativa de volumes armazenados por sub-bacia

| Sub-Bacias         | Volume total (hm <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---------------------------------|
| Alto Acaraú        | 541                             |
| Baixo Acaraú       | 38                              |
| Groaíras           | 127                             |
| Jacurutu           | 14                              |
| Jaibaras           | 51                              |
| Jatobá             | 492                             |
| Macacos            | 37                              |
| Medio Acaraú       | 96                              |
| <b>TOTAL GERAL</b> | <b>1396</b>                     |

**Tabela 7:** Volume total acumulado em hm<sup>3</sup> nas oito sub-bacias na Bacia Hidrográfica do Acaraú

| Sub-Bacias      | Alto Acaraú | Baixo Acaraú | Groaíras | Jacurutu | Jaibaras | Jatobá | Macacos | Médio Acaraú |
|-----------------|-------------|--------------|----------|----------|----------|--------|---------|--------------|
| Aguadas         | 41.3        | 11.2         | 9.4      | 7.3      | 18.1     | 21.1   | 12.4    | 22.3         |
| Muitos Pequenos | 17.5        | 13.2         | 9.8      | 1.9      | 10.5     | 19.6   | 7.8     | 20.8         |
| Pequenos        | 10.2        | 8.5          | 10.5     | 4.3      | 7.4      | 2.0    | 6.7     | 8.4          |
| Médios          | 27.0        | 4.7          | 7.6      | -        | 14.6     | 4.2    | 9.6     | 44.6         |
| Grandes         | 445.5       | -            | 90.0     | -        | -        | 445.5  | -       | -            |
| TOTAL           | 541.5       | 37.6         | 127.2    | 13.5     | 50.7     | 492.4  | 36.5    | 96.2         |

#### 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 a vazão afluyente anual útil para a média e a grande açudagem. Essa 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:

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

em que V é o volume dos estoques de água e *Aflu* é a aflluência média anual.

O IGAS foi criado para realizar a avaliação da saturação dos reservatórios. Optou-se pelo índice em vez de uma simulação caso a caso do sistema de reservatório, por permitir uma comparação entre bacias hidrográficas e não estar sujeito às especificidades decorrentes da eficiência dos reservatórios individuais.

O cálculo da aflluência média anual foi realizado a partir da lâmina anual média escoada em cada município, conforme o PERH (1992). Os municípios que não existiam à época do Plano tiveram o valor do deflúvio estimado através de interpolação dos deflúvios dos municípios vizinhos. Dessa 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 às dos deflúvios para se calcular o IGAS. A Figura 5 mostra os deflúvios para cada sub-bacia da Região Hidrográfica do Acaraú.

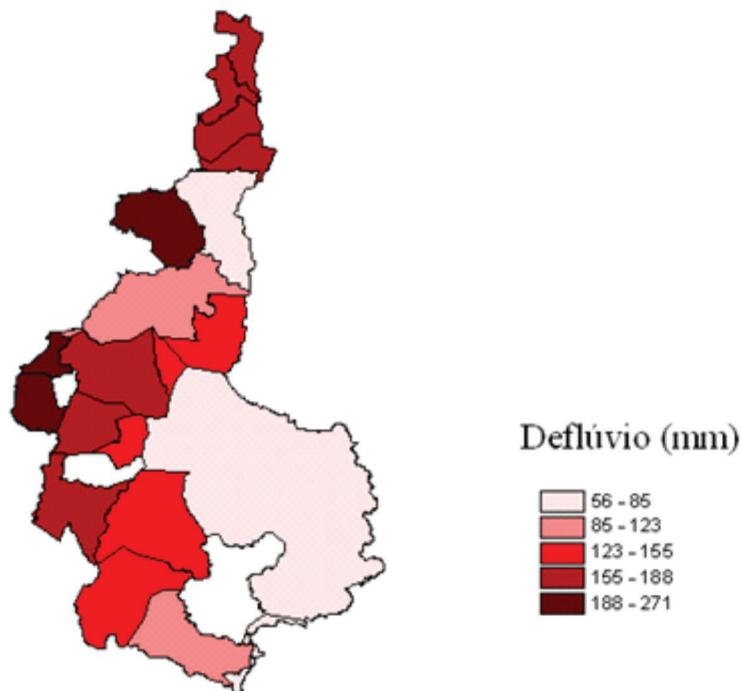
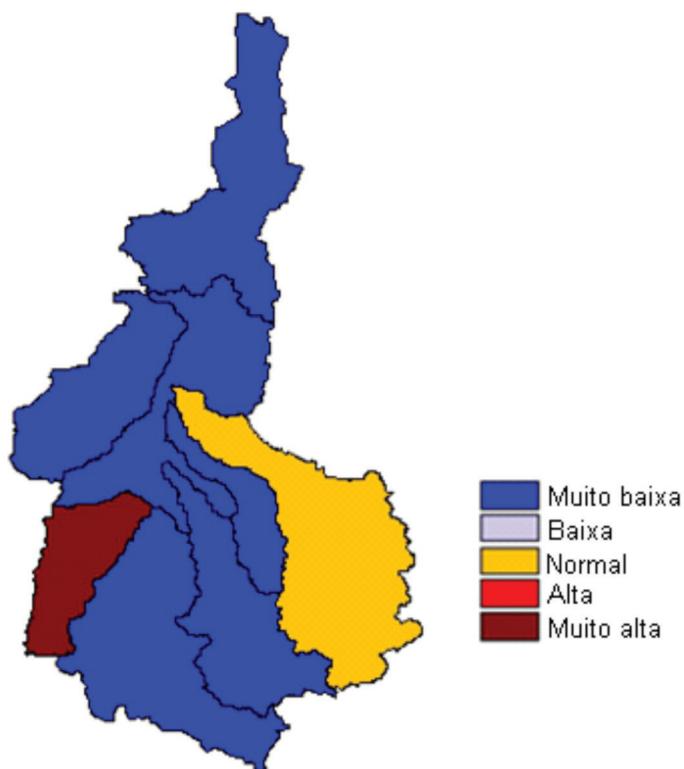


Figura 5: Deflúvios da Região Hidrográfica do Acaraú

Para o IGAS, definiram-se cinco 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  $3,0 \leq IGAS$

Esses níveis de saturação aplicados às sub-bacias da Região Hidrográfica do Acaraú são mostrados na Figura 6. Observa-se que a bacia do Jatobá possui grau de saturação muito alto, devido ao reservatório Ararás, o Groaíras encontra-se com índice de saturação normal e as demais bacias têm índice de saturação baixo.



**Figura 6:** Nível de saturação dos reservatórios de cada uma das sub-bacias da Região Hidrográfica do Acaraú.

## 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 à Bacia do Acaraú. Pode-se constatar, pelas simulações efetuadas em todas as sub-bacias do Acaraú, que não há uma quantidade significativa de pequena açudagem, com o IGAS indicando baixos níveis de saturação (área em azul). Nessas bacias, estão previstos os açudes Macacos II (Rio Macacos) e Jacurutu (Rio Jacurutu). O açude Taquara está sendo construído (Rio Taquara), o que vai alterar significativamente a saturação da bacia. A Bacia do Groaíras apresenta um índice normal (pela presença do Açude Edson Queiróz) e a Bacia Jatobá é a única a apresentar um índice alto, pois é fortemente influenciada pelo Açude Araras.

Essa baixa saturação se deve ainda ao tipo de relevo, uma vez que praticamente toda a bacia apresenta relevo do tipo 1, ou seja, muito suave.

## Referências

- BRASIL. Ministério da Integração Nacional; FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. *Levantamento dos espelhos de água com área acima de 5 hectares*. Fortaleza, 2007.
- 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. Secretaria dos Recursos Hídricos. *Plano Estadual de Recursos Hídricos*. Fortaleza, 1992.
- CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. *O estudo do impacto cumulativo das barragens do PROURB*. Fortaleza, 1995.

## **Sobre os autores**

### **Erika da Justa Teixeira Rocha**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Ceará. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE.

### **Ticiano Marinho de Carvalho Studart**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Ceará. Professora Adjunta da Universidade Federal do Ceará.

### **Renata Mendes Luna**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutora em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Ceará. Professora Adjunta da Universidade Federal do Ceará.

### **Francisco de Assis de Sousa Filho**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto da Universidade Federal do Ceará.