

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### ESTUDO HIDROLÓGICO E DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO ACARAPE DO MEIO

*Paula Nobre de Andrade<sup>1</sup>; Italo Ruan Dantas Ferreira<sup>2</sup>; José Wémenson Rabelo Chaves<sup>3</sup>; John Kenedy de Araújo<sup>4</sup>; Maria Patricia Sales Castro<sup>5</sup> & Juliana Alencar Firmo de Araújo<sup>6</sup>*

**RESUMO** – Um dos grandes desafios da gestão ambiental é compatibilizar a preservação com os usos múltiplos, sendo fundamental o conhecimento dos fatores condicionantes das modificações das condições naturais dos reservatórios e respectiva bacia hidrográfica. O estudo das condições hidrológicas de reservatórios, proporciona o melhor manejo dos recursos hídricos, principalmente na região do Nordeste, na qual ocorrem longos períodos de estiagem. Este trabalho teve como objetivo avaliar as características morfométricas e morfológicas da bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio, localizado no município de Redenção, Ceará. Para a realização da caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica utilizou-se o software AutoCAD, no qual obteve-se as delimitações das áreas, dos perímetros e dos comprimentos axiais da bacia. Os dados de precipitações, correspondente as séries históricas foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas (ANA). Para a caracterização do parâmetro cota-área-volume neste trabalho utilizou a ficha técnica da barragem selecionada no Atlas Eletrônico. Para o estudo da série histórica pluviométrica, utilizou-se o software Excel para Precipitação para o período de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos. A partir do resultado de fator de forma e coeficiente de compacidade identificou-se que a bacia hidrográfica é mais alongada e com propensão média a enchente.

**ABSTRACT** – One of the great challenges of environmental management is to reconcile preservation with multiple uses, being fundamental knowledge of the factors conditioning the changes in the natural conditions of the reservoirs and the respective watershed. The study of hydrological conditions of reservoirs provides the best management of water resources, especially in the Northeast region, where long periods of drought occur. The objective of this work was to evaluate the morphometric and morphological characteristics of the hydrographic basin of the Acarape do Meio reservoir, located in the municipality of Redenção, Ceará. To perform the physiographic characterization of the river basin, the software AutoCAD was used, in which the delimitations of the areas, the perimeters and the axial lengths of the basin were obtained. The precipitation data, corresponding to the historical series were obtained from the National Water Agency (ANA) website. For the characterization of the dimension-area-volume parameter in this work, the technical data of the dam selected in the Electronic Atlas was used. For the study of the historical rainfall series, the Excel software for Precipitation was used for the return period of 1,000 and 10,000 years. From the result of form factor and compactness coefficient it was identified that the hydrographic basin is more elongated and with average propensity to flood.

1) Professora do Curso de Eng. Civil do Centro Universitário Christus, Av. Dom Luís, 911, Fortaleza, Ceará, paulanobreandrade@gmail.com

2) Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC), italo.ruan70@gmail.com

3) Graduando em Engenharia Civil – Faculdade CISNE, wemensonrabelo@gmail.com

4) Professor do Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC), kenedy@ufc.br

5) Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil – Recursos Hídricos (UFC), patricia.sales@gmail.com

6) Professora do Curso de Eng. Civil do Centro Universitário Christus, judiaraujo@yahoo.com.br

**Palavras-Chave** – Morfometria, bacia hidrográfica, estudo hidrológico.

## INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são de importância econômica e estratégica para o desenvolvimento regional. O problema da escassez e excesso de água vem se agravando ao longo do tempo e o estudo das bacias hidrográficas por meio de monitoramento e modelagem torna-se essencial para o planejamento, gerenciamento e uso deste recurso.

O Nordeste brasileiro destaca-se quanto ao tema da indisponibilidade hídrica, por apresentar balanço hídrico negativo, inclusive, em algumas regiões a evaporação é o dobro da precipitação. O aumento pela demanda por esse recurso natural, com a consequente deterioração dos ecossistemas aquáticos, tem ocasionado a escassez da qualidade em outras regiões do país.

A gestão dos recursos hídricos no estado do Ceará tem avançado ao longo dos anos, sendo a modelagem computacional uma das ferramentas que está sendo inserida no modelo do gerenciamento dos sistemas hídricos. Além da modelagem, faz-se uso da geotecnologia para processamento de imagem. Dentre os vários açudes monitorados pela companhia, o açude Acarape do Meio foi escolhido devido a sua importância estratégica em atender parte da demanda dos usos múltiplos da cidade de Fortaleza.

O açude Acarape do Meio localiza-se na zona rural do município de Redenção localizada nas coordenadas geográficas 523.593 E e 9.536.618 N, município esse que conta com uma população de 26 426 habitantes. A sede do município tem população estimada em 15.134 habitantes, no entanto, fica localizada fora da bacia hidrográfica, jusante do reservatório. A densidade demográfica é de 117,09 hab./km<sup>2</sup> (IPECE, 2012). A Figura 1 mostra a bacia do reservatório a ser estudada.



Figura 1 - Bacia hidrográfica a ser analisada. Fonte: Cogerh,2018.

O Índice de Desenvolvimento Municipal (IDM) para o município de Redenção foi de 29, referente ao ano de 2010, ou seja, dentre os 184 municípios do estado do Ceará avaliados, Redenção ficou numa colocação razoável. Os proprietários rurais são formados principalmente por pequenos e

médios produtores. As culturas de subsistência mais representativas da região é o feijão, milho, arroz, em análogo a criação de bovinos, suínos, caprinos. (IPECE, 2012).

A bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio - CE apresenta porte médio, com área de drenagem de 210 km<sup>2</sup>, subdividida em quatro sub-bacias hidrográficas como pode ser visto na Figura 2, sendo que a principal contribuição é proveniente da sub-bacia do rio Pacoti (154,26 km<sup>2</sup>) e as demais do aporte das sub-bacias do rio Canabrava (21,31 km<sup>2</sup>), riacho Brenha (16,15 km<sup>2</sup>) e riacho Calção (6,69 km<sup>2</sup>).

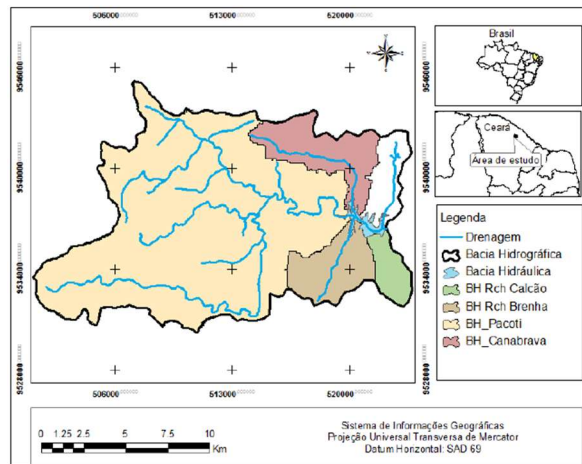


Figura 2 - Bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio e seus afluentes. Fonte: Cogerh, 2018.

A bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio abrange áreas dos municípios de Guaramiranga (6,75%), Pacoti (45,30%), Palmácia (21,81%), Mulungu (2,72%) e Redenção (23,43%). Nesse último município se localiza o referido açude, cuja unidade hidrográfica encontra-se nas Bacias da Região Metropolitana. O rio Pacoti é o principal afluente, cuja nascente está inserida no município de Guaramiranga-CE. Além deste, a rede de drenagem compõe-se do rio Canabrava, riachos Brenha, Calção e demais canais fluviais. Suas obras foram concluídas no ano de 1924 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS,1977).

A região apresenta clima, de acordo com a classificação de Köppen, do tipo Amw' tropical chuvoso de monção, localizada em relevo acidentado, onde ocorrem chuvas orográficas com índices pluviométricos superiores a 1.400 mm. A temperatura média é de 25° C, atingindo valores inferiores a 22° C no ápice da Serra de Baturité e o número de horas de insolação varia de 2.650 a 3.000 horas/ano e a altura média anual de evaporação é de 562 mm (CEARÁ, 2018).

A vegetação dominante na região abrange três principais formações: caatinga arbustiva densa, floresta subcaducifólia tropical pluvial e floresta subperenifólia tropical pluvio-nebular. Já os principais grupos de solos são os Aluviais, Planossolo solódico, Podzólico vermelho-amarelo e Bruno não-cálcico (CEARÁ, 2018).

O principal objetivo de sua construção, segundo DNOCS (1977), seria o abastecimento da cidade de Fortaleza, que possuía, na época, uma população de 100.000 habitantes. Nos dias de hoje o referido reservatório continua sendo de importância estratégica, pois abastece com água bruta o Distrito Industrial de Maracanaú, e as cidades de Pacatuba, Guaiuba, Maranguape, Redenção, Acarape, Barreira e o distrito de Antônio Diogo. Este trabalho teve como objetivo determinar e analisar as características morfométricas e morfológicas da bacia hidrográfica que contribui para o Açude Acarape do Meio, no município de Redenção, Ceará.

A água é um dos elementos físicos mais importantes na composição da paisagem terrestre, interferindo na fauna e flora, e interagindo com os demais elementos da natureza e seu meio. Segundo United States Federal Council of Science and Technology citado por Tucci (1997), "a hidrologia é a ciência que trata da água da terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas relações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida."

Para Silveira e Tucci (1997), o estudo dos recursos hídricos implica em conhecimento do ciclo hidrológico, seus componentes e as relações entre eles. O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e a rotação terrestre.

O ciclo hidrológico, que é tema principal da hidrologia, envolve diversos processos hidrológicos. A condensação, precipitação, evapotranspiração, infiltração e percolação são exemplos de processos verticais, o escoamento superficial e subsuperficial são exemplos de processos horizontais (KOBAYAMA, 1999).

O Nordeste brasileiro é caracterizado por baixos índices de precipitação e elevados de evaporação, que constituem um dos fatores responsáveis pela escassez hídrica da região. Devido às peculiaridades geológicas do Nordeste, onde predominam os solos rasos sobre rochas cristalinas, que são praticamente impermeáveis, os reservatórios superficiais tem composto a maior fonte de recursos hídricos nessa região (CAMPOS et al., 2015).

Segundo Fontes et al. (2003), a gestão de recursos hídricos, refere-se aos procedimentos relativos a tentativa de equacionar e resolver a questão da água e otimização de seu uso. Uma gestão eficiente deve considerar o percurso da água no meio ambiente e as variáveis que constituem o ciclo hidrológico, como evaporação, evapotranspiração, pluviosidade, infiltração, percolação entre outras. Ao longo dos anos as retiradas por perdas naturais de água em reservatórios, que consistem em sua maioria na infiltração e evaporação, têm apresentado um volume considerável. Assim o conhecimento dos volumes relacionados à essas retiradas naturais apresentam relevante influência na determinação do volume disponível dos reservatórios para os diversos usos.

As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação do seu comportamento hidrológico, pois, ao se estabelecerem relações e comparações entre

tais características e os dados hidrológicos conhecidos, podem-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em locais nos quais faltem dados (PIMENTEL DA SILVA, 2015).

Os açudes têm uma grande importância econômica e social no semiárido do Nordeste do Brasil, pois nos períodos de estiagem as atividades humanas que dependem dos mananciais ficam comprometidas pela escassez dos recursos hídricos (CEBALLOS, 1995). A distribuição vertical de vazões tributárias dos açudes é fortemente influenciada pela compatibilidade entre as densidades das águas afluentes e os perfis verticais de densidade do lago e açude; pois, as águas mais densas tenderão a se localizar nas camadas mais profundas, enquanto que águas com baixas densidades relativas serão distribuídas nas camadas próximas à superfície, ocasionando a distribuição vertical das vazões tributárias, através de regiões estratificadas da coluna d'água (IBAMA, 2005).

Os reservatórios resultam da construção de estruturas de engenharia para represar um rio e criar uma bacia artificial com finalidades de múltiplos usos: controle de enchentes, navegação, recreação, geração de energia elétrica, abastecimento de água (MARTIN e MCCUTCHEON, 1998).

Segundo, Christofolletti (1970), a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto de planejamento dos recursos hídricos. Para isso, é necessário expressar quantitativamente, todas as características de forma, de processos e de suas inter-relações. É importante ressaltar que nenhum desses índices, isoladamente, deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal (Tonello, 2005).

## **METODOLOGIA**

A partir de análise feitas sobre o açude Acarape do Meio, com a intenção de definir sua importância para a população local, como para região da grande Fortaleza. O documento cartográfico utilizado foi a carta planialtimétrica da Sudene/DSG de Baturité, em formato digital, na escala de 1:100.000. Com o auxílio do software AutoCAD 2014 delimitou-se a bacia hidrográfica do açude, do mesmo obteve-se os dados primários de área, perímetro, comprimento do rio, talvegue e delimitação da foz, como mostra a Figura 3.

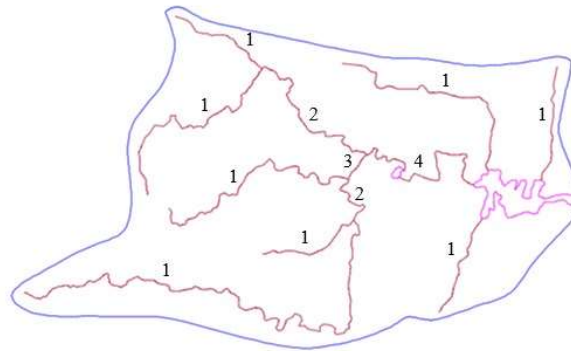


Figura 3 –Delimitação através do software AutoCAD. Fonte: Autores, 2018.

Para a caracterização do parâmetro cota-área-volume neste trabalho utilizou a ficha técnica da barragem selecionada no Atlas Eletrônico, conforme a Figura 2 abaixo. Visto que esse fator é de importância para a análise do acúmulo e cheia na bacia.

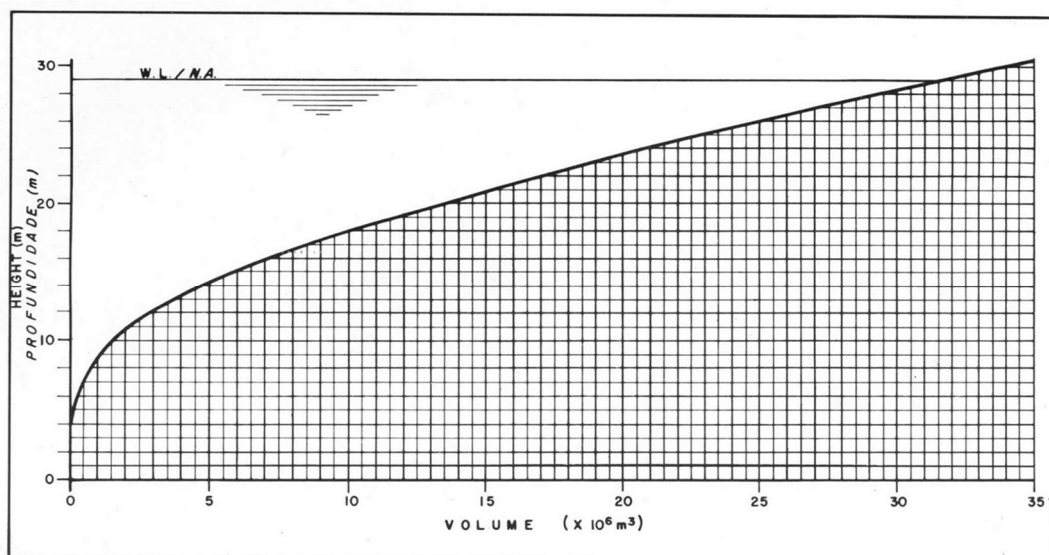


Figura 4- Curva de cota x área e cota x volume. Fonte: Atlas Eletrônico. 2018

Os Dados referentes a umidade relativa, insolação, direção e velocidade do vento, correspondem ao período 1980 a 2015 conforme as Figuras 5,6,7 e 8 respectivamente. Obteve-se os dados através da plataforma de coletas de dados automática no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado no município de Guaramiranga, coordenadas UTM: 9.529.009 N, 507.668 E. Devido à falta de dados climatológicos do município de Redenção, no qual encontra-se o açude, optou-se por utilizar dados de uma estação no município de Guaramiranga-Ceará.

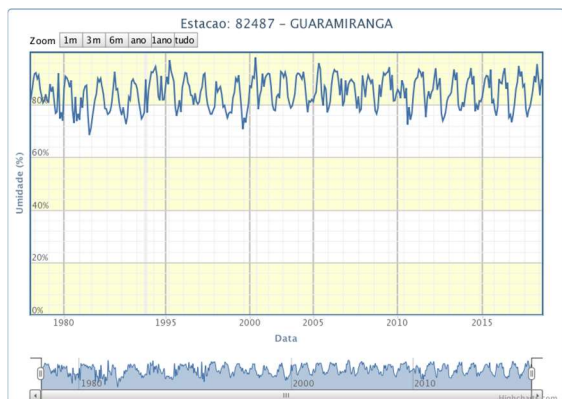


Figura 5 – Umidade relativa

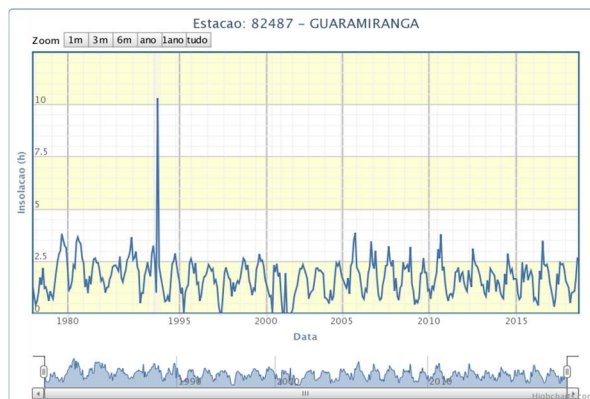


Figura 6- Insolação

A plataforma, de onde foram obtidos os valores de direção e velocidade dos ventos, fica a uma distância aproximada de 16 km da bacia hidráulica do açude Acarape do Meio. As Figuras 7 e 8 evidencia os dados obtido na plataforma do INMET.

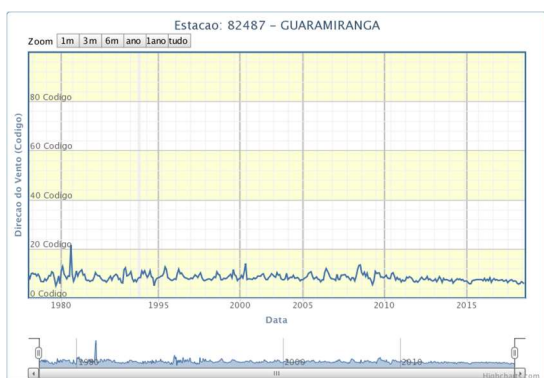


Figura 7 – Direção dos ventos



Figura 8 – Velocidade dos ventos (m/s)

Os dados de precipitações foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas (ANA). A estação empregada é a 438005, no município de Redenção. A série histórica pluviométrica foi manipulada no software Excel, como mostra a Figura 9.

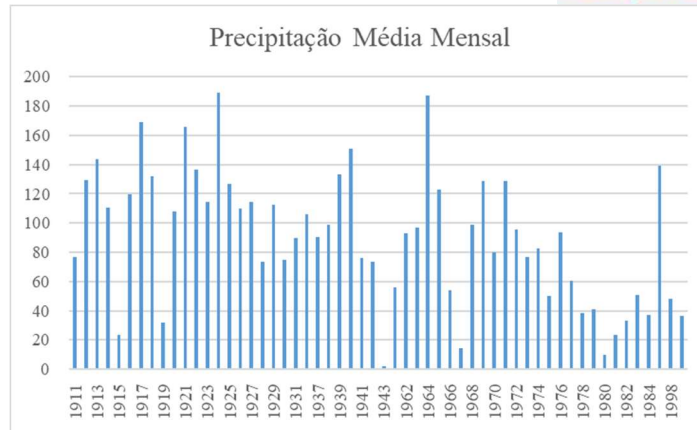


Figura 9- Precipitação média mensal no período de 1911 a 1998.

Para o cálculo das precipitações máximas para períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, aplicou-se a distribuição de Probabilidades de Extremos Tipo I (distribuição Gumbel) ou a Distribuição Log-Normal.

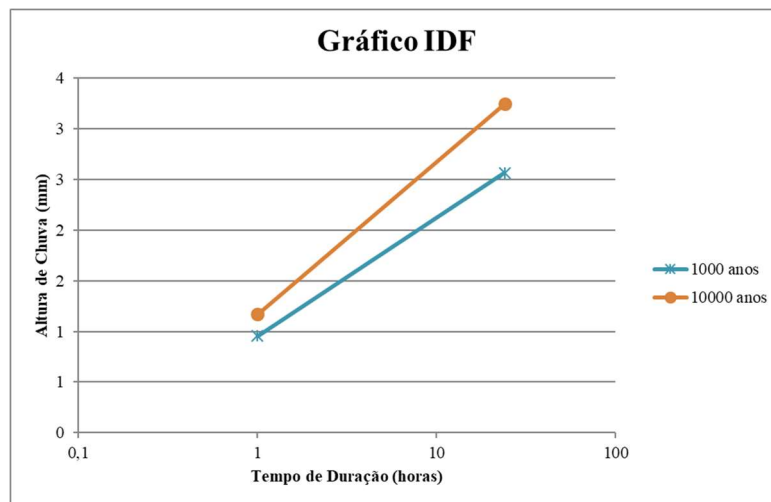


Figura 10- Precipitação para o retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos.

A Figura 10 tem o objetivo de mostrar a precipitação para o retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando-se os resultados obtidos no software AutoCAD 2014 com a ficha técnica da barragem disponibilizada no Atlas Eletrônico, constata-se uma divergência de valores, pode-se evidenciar que esta diferença é causada pela imprecisão na delimitação da bacia.

A partir dos resultados do software AutoCAD 2014, determinou-se os dados morfométricos primários da bacia hidrográfica: área, perímetro, comprimento do rio principal, sinuosidade do rio principal, curva hipsométrica e declividades, como mostra a Tabela 1. Através dos valores da área, perímetro, comprimento axial da bacia calculou-se o fator de forma, coeficiente de compacidade.



Ainda de acordo com a Tabela 1 a área de drenagem do açude Acarape do Meio apresenta características de uma bacia alongada, já que o resultado do fator forma foi 0,382 e relacionando com o coeficiente de compacidade de 1,25, a forma da bacia tem propensão mediana a enchente. Segundo Pimentel da Silva (2015), uma bacia estreita e longa, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão.

Tabela 1 – Valores morfométricos da bacia hidrográfica obtido no software AutoCAD 2014.

Bacia Hidrográfica	
Área	189,75 km <sup>2</sup>
Perímetro	61,385 km
Fator de forma	0,382
Índice de compacidade	1,25
Rio	
Definição do rio principal	
Comprimento do rio principal	35,44 km
Sinuosidade do rio principal	61%
Rede Fluvial	
Ordem do rio	3°
Densidade de drenagem	0,475

A precipitação do município de Redenção é em média 1.737,5 mm. No entanto, os anos de 1915,1919,1943,1965 e 1980 foram considerados seco, portanto se registrou precipitação abaixo de 40 mm anuais. Devido os longos períodos de estiagem consecutivos que atinge a região do semiárido, afetando diretamente os reservatórios, visto que a precipitação é principal fonte de reposição hídrica.

A umidade relativa nos últimos anos teve uma frequência média de 70% a 90%, sendo essa percentagem acima da média da grande maioria das cidades do estado, o causado desse disparate é sua localização topográfica, visto que se localiza em uma zona de elevada atitude.

A incidência de raios solares é um dos parâmetros que influencia na perda do espelho d'água em forma de vapor. Regiões áridas sofrem de elevada taxa de evaporação. De acordo com a Figura 7 a insolação observada apresenta uma frequência em torno de 2 a 4 h.

A partir da visualização da Figura 8, pode-se inferir que as velocidades dos ventos para o período de 1980 a 2015, predominantes na área de estudo são frequentes no intervalo de 3 a 4 m/s. Em suma, em ambientes rasos os ventos favorecem os processos de mistura da coluna de água, o contrário ocorre em zonas mais profundas. O aporte das vazões afluentes, a presença de variáveis climatológicas como ventos, radiação solar e a compartimentação morfométrica são os principais fatores que alteram o comportamento da hidrodinâmico dos açudes.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a verificação das variáveis hidrológicas é necessário levar em consideração as particularidades de um reservatório, tendo em vista que fatores como clima, precipitação média, índices de evaporação interferem diretamente em sua oferta hídrica. Com isso percebe-se a importância da avaliação desses fatores na análise dos dados hidrológicos das Bacias do Semiárido.

A partir do resultado de fator de forma e coeficiente de compacidade identificaram que a bacia hidrográfica é mais alongada e com propensão média a enchente. O desenvolvimento do volume em formato mais semelhante ao U, indica reservatório mais suscetível a ação dos ventos e a processo de eutrofização.

Tendo em vista a dificuldade encontrada nesta pesquisa quanto à ausência de dados hidroclimatológicos na área de estudo, sugere-se que os órgãos públicos responsáveis pelo monitoramento dos recursos hídricos e climatológico efetivem propostas de um monitoramento eficaz e eficiente nas áreas de intervenções, como é o caso de diversas obras de açudagem existentes no estado do Ceará

## REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas. *Orientações para Atualização das Curvas Cota x Área x Volume*. Brasília, 2011.
- CAMPOS, J.N.B et al. *Sobre a eficiência de pequenos e grandes reservatórios*. 2015. Disponível em: <http://www.barramentos.ufc.br>. Acessado em 20/11/2018.
- CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH). *Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos e Meteorológicos do Ceará*. 2018. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/obras/index.asp>. Acesso: 21 nov. 2018.
- CEBALLOS, B. S. O. *Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de Ecossistemas Aquáticos do Trópico Semiárido*. São Paulo, SP. (Tese de Doutorado, Instituto de Ciências Biomédicas II – USP, SP). 192p. 1995.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1970, *Análise morfométrica de bacias hidrográficas no Planalto de Poços de Caldas*, Tese (Livre Docência), Universidade Estadual Paulista, Rio Claro 375f.
- DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca. *Arquivo Técnico. Processos do Açude Público Acarape do Meio*. Fortaleza, DNOCS, 1977.132 p.
- FONTES, A.S., OLIVEIRA, J.I.R., PINTO, Y.D. *A Evaporação Em Açudes No Semiárido Nordeste Do Brasil e a Gestão Das Águas* in Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003.
- IBAMA. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente. *Modelagem Matemática de Qualidade da Água AHE Paulistas*. Relatório Simulações. Maio 2005.

IPECE - *Perfil Básico Municipal de Redenção*. 2012. Disponível em: [http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil\\_basico/PBM\\_2012/Redencao.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/PBM_2012/Redencao.pdf). Acesso em: 20 novembro/2018.

KOBIYAMA, M. Manejo de bacias hidrográficas - Conceitos básicos. In: *Curso "Manejo de bacias hidrográficas sob a perspectiva florestal"*, Apostila, Curitiba: FUPEF, 1999. p.29-31.

MARTIN, J. L., MCCTUTCHEON, S. C. *Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modelaging*. 1998.

PIMENTEL DA SILVA, Luciene. *Hidrologia - Engenharia e Meio Ambiente*. Editora Elsevier – Campus, 2015.

SILVEIRA, A L L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora Universitária / Edusp / ABRH, 1997, 35-5 lp

TONELLO, K. C. 2005, *Análise Hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG*, Dissertação de Mestrado, UFV.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: ed. da Universidade/UFRGS. ABRH, 1997. 946p.