



**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-  
BRASILEIRA**

CINTHIA RACHEL BIBIANO DE ARAÚJO

**PROPAGAÇÃO DE CHEIA NA BACIA DO ACARAÚ: UM ESTUDO DE CASO PARA  
2009**

Acarape  
2017

**Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro- Brasileira  
Direção de Sistema Integrado de Bibliotecas da UNILAB (DSIBIUNI)  
Biblioteca Setorial Campus Liberdade  
Catalogação na fonte**

**Bibliotecário: Gleydson Rodrigues Santos – CRB-3 / 1219**

- 
- A688p Araújo, Cinthia Rachel Bibiano de.  
Propagação de cheia na Bacia do Acaraú: um estudo de caso para 2009 / Cinthia Rachel Bibiano de Araujo. - Acarape, 2017.  
68f : il.  
Monografia - Curso de Engenharia de Energias - Semestral, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2017.  
Orientador: Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira.  
Inclui figuras, tabelas e referências.
1. Bacias hidrográficas - Brasil, Nordeste. 2. Modelagem hidrográfica. I. Título.

CDD 627

---

CÍNTIA RACHEL BIBIANO DE ARAÚJO

**PROPAGAÇÃO DE CHEIA NA BACIA DO ACARAÚ: UM ESTUDO DE CASO  
PARA 2009**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 22/12/2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira (Orientador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profa. Dra. Silvia Helena Lima dos Santos

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



MSc. Victor Costa Porto

Pesquisador/Doutorando - Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus;  
A meu querido e amado esposo Mário Filho;  
Aos meus amados pais, Zideine e Josias.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permitiu viver tudo isso, não somente nestes anos como universitária, mas por ter me sustentado em todos os momentos da minha vida e ter se mostrado meu Salvador, Redentor e Pai.

Aos meus pais, Josias e Zideine, pelo amor, incentivo, apoio incondicional e por sempre acreditarem em mim. Agradeço a minha mãe em especial, pelo exemplo de guerreira, por se preocupar comigo sempre, principalmente nas noites que passei em claro, e por ser a melhor amiga que alguém poderia ter.

Ao meu amado esposo e companheiro Mário Filho, por me amar, por compreender o tempo que estive ausente e por ter me incentivar a continuar todas as vezes em que pensei em desisti.

Obrigada os meus irmãos, Isaac e Gabriel, pelo apoio e ajuda.

Meus agradecimentos aos meus queridos amigos/irmãos Eliane, Micael, Alan, Junior, Alison, Ellefson, Silvano e todos os outros amigos da Tuma 2012.2 do curso de Engenharia de Energias da UNILAB, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da minha vida e que vão continuar presentes em meu coração. Aos meus companheiros da Engene Jr., que me proporcionaram momentos de grande aprendizagem e vivência.

Agradeço a todos os meus amigos e irmãos da Igreja Evangélica Manancial pelo apoio e incentivo durante todo o curso e por entenderem a minha ausência em muitos momentos.

Ao meu orientador Cleiton Silveira, pelo suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos, e pela amizade. A todos os companheiros do nosso Grupo de Pesquisa em Clima e Planejamento Energético (CLIFE).

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente pelo ensino, mas também pela amizade. Em especial a Professora Ada pela amizade e pelo tempo de trabalho que compartilhamos na extensão no Grupo de Extensão e Pesquisa de Energias e Meio Ambiente (GPEMA).

A minha amada Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, ao seu corpo docente, direção e administração por ter me proporcionado a oportunidade de chegar hoje onde cheguei, ao crescimento intelectual e de vivência e à oportunidade de ter feito parte dessa grande conquista internacional que se chama UNILAB.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

“Em seu coração o homem planeja o seu caminho, mas o Senhor lhe dirige os passos.”

Provérbios 16:9

## RESUMO

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido com grande variabilidade temporal e espacial de chuvas. O Ceará é marcado por grandes prejuízos associados a eventos climáticos extremos, tanto secas como cheias. Estes provocam significativos impactos sociais e econômicos sobre a região (SOUZA FILHO e MOURA, 2006). O Estado do Ceará possui uma rede de reservatórios espalhada por todo o seu território (CAMPOS e STUDART, 2003). Um dos objetivos dessa rede é o armazenamento temporário das águas fluviais, uma medida de controle de vazões, que contribui para o retardo e amortecimento dos picos de escoamento superficial, de forma a minimizar os problemas das enchentes, à jusante da barragem. Essas medidas visam reduzir, nos períodos chuvosos da região, a ocorrência de enchentes e o transporte de água entre anos úmidos e secos. O objetivo é apresentar um estudo dos dados de cheia ocorrida na bacia rio Acaraú no período de abril de 2009 aplicando o *software* HEC-HMS na análise hidrológica das sub-bacias do Rio Acaraú e os impactos causados pela cheia de 2009 nas cidades, localizadas na região da bacia do Acaraú, por cinco sub-bacias que compõem a rede de drenagem: Araras, Ayres de Souza, Forquilha, Edson Queiroz e Acaraú Mirim. Foram utilizadas as séries históricas dos postos pluviométricos disponíveis no banco de dados da FUNCEME, localizados até 0.3 graus fora das sub-bacias. Os anos analisados referem-se a 31 séries de precipitação variando entre 42 e 15 anos. Em seguida, realizou-se a elaboração do modelo através do *software* HEC-HMS. Os resultados apontam a necessidade de se conhecer como o regime de precipitação influencia no nível dos reservatórios e conseqüentemente na vazão do rio. A identificação desta relação permite a identificação de áreas suscetíveis a inundação servindo de base a políticas públicas para gerenciamento de calamidades públicas. Desta forma, identificar padrões de variação ou/e melhorar as previsões destes eventos possibilita que medidas possam ser tomadas a fim de minimizar os impactos e tornar os hidrossistemas mais resilientes.

**Palavras-chave:** Modelagem hidrográfica, Previsão hidrológica, Gerenciamento de riscos, Propagação de cheias, Bacia hidrográfica do Acaraú.

## ABSTRACT

Northeast Brazil (NEB) presents semi-arid climate with great temporal and spatial variability of rainfall. Ceará is marked by heavy losses associated with extreme weather events, both dry and full. These cause significant social and economic impacts on the region (SOUZA FILHO and MOURA, 2006). The State of Ceará has a network of reservoirs spread throughout its territory (CAMPOS and STUDART, 2003). One of the objectives of this network is the temporary storage of fluvial waters, a measure of flow control, which contributes to the delay and damping of the surface runoff peaks, in order to minimize flood problems, downstream of the dam. These measures aim to reduce the occurrence of floods and the transportation of water between wet and dry years in the rainy periods of the region. The objective of this study was to present a study of flood data in the Acaraú river basin in the period of April 2009, applying the HEC-HMS software in the hydrologic analysis of the Acaraú River sub-basins and the impact caused by the 2009 flood in the cities located in the region of the Acaraú basin, by five sub-basins that make up the drainage network: Araras, Ayres de Souza, Forquilha, Edson Queiroz and Acaraú Mirim. The historical series of the pluviometric stations available in the FUNCEME database, located up to 0.3 degrees outside the sub-basins, were used. The analyzed years refer to 31 series of precipitation ranging from 42 to 15 years. Then, the model was elaborated using HEC-HMS software. The results indicate the need to know how the precipitation regime influences the level of the reservoirs and consequently the flow of the river. The identification of this relationship allows the identification of areas susceptible to flooding, serving as the basis for public policies for the management of public calamities. In this way, identifying patterns of variation or / and improving predictions of these events enables measures to be taken to minimize impacts and make hydrosystems more resilient.

**Key words:** Hydrological modeling, Hydrological forecasting, Risk management, Flood propagation, Acaraú watershed

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Zona de Convergência Inter Tropical no começo de 2009 no Brasil.....	22
<b>Figura 2-</b> Enchente de 1974. Praça Dr. José Saboya, antiga Praça do Mercado. ....	24
<b>Figura 3-</b> Enchente de 1974.....	25
<b>Figura 4 -</b> Enchente de 1974, Praça "Coluna da Hora" .....	25
<b>Figura 5 –</b> Museu de Arte Contemporânea de Sobral (Madi).....	26
<b>Figura 6 –</b> Margem esquerda do Rio Acaraú na cidade de Sobral.....	27
<b>Figura 7 -</b> Esquema de descrição da metodologia .....	28
<b>Figura 8 -</b> Rede de Drenagem da Bacia do Acaraú.....	29
<b>Figura 9 –</b> Reservatório do açude Araras.....	30
<b>Figura 10 -</b> Açude Araras.....	31
<b>Figura 11 -</b> Reservatório Acaraú Mirim.....	31
<b>Figura 12 -</b> Açude Acaraú Mirim.....	32
<b>Figura 13 -</b> Reservatório Ayres de Souza .....	33
<b>Figura 14 -</b> Açude Ayres de Souza. ....	33
<b>Figura 15 -</b> Açude Edson Queiroz .....	34
<b>Figura 16 -</b> Açude Serrote.....	35
<b>Figura 17 -</b> Açude Forquilha.....	36
<b>Figura 18 -</b> Açude Forquilha.....	36
<b>Figura 19 -</b> Relevo do mapa do Ceará. Região correspondente a Bacia do Acaraú. ....	37
<b>Figura 20 -</b> Altitude Região norte do estado do Ceará.....	38
<b>Figura 21 -</b> Coeficientes de intensidade associados às isozonas.....	39
<b>Figura 22 -</b> Coeficientes de intensidade associados às isozonas.....	40
<b>Figura 23 -</b> Reservatórios e Rios da Bacia do Acaraú .....	47
<b>Figura 24 -</b> Diagrama de influência de chuvas intensas em áreas urbanas. ....	55

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Postos pluviométricos utilizados para séries históricas de precipitação .....	41
<b>Tabela 2</b> - Dados da Bacia .....	48
<b>Tabela 3</b> – Dados de calibração da vazão no HEC-HMS para a precipitação máxima de Abril de 2009.....	49

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Série de precipitação anual dos postos pluviométricos da bacia do Rio Acaraú.....	48
<b>Gráfico 2</b> - Hidrograma Final da Subbacia Araras.....	50
<b>Gráfico 3</b> - Hidrograma Final da Subbacia Edson Queiroz. ....	51
<b>Gráfico 4</b> - Hidrograma Final da Subbacia Acaraú Mirim. ....	52
<b>Gráfico 5</b> - Hidrograma Final da Subbacia Ayres de Souza. ....	52
<b>Gráfico 6</b> - Hidrograma Final da Subbacia Forquilha.....	53
<b>Gráfico 7</b> - Hidrogramas Finais de Influência.....	54
<b>Gráfico 8</b> - Hidrograma Final Resultante.....	54

## LISTA DE SIGLAS

NEB - Nordeste do Brasil

HEC HMS - *Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System*

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

SUDEDEC - Superintendência de Desenvolvimento do Ceará

MADI - Museu de Arte Contemporânea de Sobral

COGERH - Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas.

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

TRMM - Missão de Medição de Precipitação Tropical

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1 MODELAGEM .....	17
2.2 CLASSIFICAÇÕES DOS MODELOS.....	18
2.3 INUNDAÇÕES .....	19
2.4 HEC-HMS .....	20
2.5 ANOMALIAS CLIMÁTICAS E SUAS INFLUÊNCIAS.....	21
2.6 REGISTRO HISTÓRICO DE CHEIAS NA BACIA DO ACARAÚ .....	23
2.6.1 Enchente de 1974 .....	24
2.6.2 Enchente de 2009 .....	26
3. METODOLOGIA.....	28
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA .....	28
3.1.1 Região de Estudo .....	28
3.1.2 Sub-bacias .....	30
3.2 RELEVO DA BACIA .....	37
3.3 ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS .....	38
3.4 PERÍODO DE ESTUDO.....	40
3.5 MODELAGEM HIDROLÓGICA .....	42
3.6 MODELAGEM HIDRÁULICA .....	44
3.7 PROPAGAÇÃO DE CHEIA EM RESERVATÓRIOS.....	46
4. RESULTADOS .....	47
4.1 DISCUSSÕES .....	55

5. CONCLUSÕES .....	57
REFERÊNCIAS.....	58

## 1. INTRODUÇÃO

A natureza apresenta eventos naturais de origem tanto da dinâmica interna, tectonismo, vulcanismos, entre outros, quanto da dinâmica externa da Terra como eventos hidrológicos e meteorológicos, por exemplo. Muitos desses eventos possuem energia suficiente para causar grandes transformações na paisagem ou desencadear desastres (REIS, 2014).

No Brasil parte dos desastres estão relacionados a eventos hidrometeorológicos e, por esta razão, é durante o período da quadra chuvosa de cada região que ocorrem eventos pluviométricos intensos e prolongados com a ocorrência de desastres. Em virtude das características climáticas e geomorfológicas e pela falta de planejamento para ocupações de bacias hidrográficas, os eventos extremos produzem, conseqüentemente, os dois processos mais frequentes e que mais causam desastres no país: as inundações e os movimentos gravitacionais de massa (REIS, 2014).

O desenvolvimento da infraestrutura de boa parte das cidades não acompanhou o crescimento demográfico que ao longo do tempo vem intensificando o grau de urbanização em áreas ribeirinhas, principalmente em regiões que sofrem com a seca ou longos períodos de estiagem, expondo a população à ocorrência de desastres ambientais e/ou prejuízos econômicos (TUCCI, 2012). Desta forma, identificar padrões de variação e melhorar as previsões destes eventos possibilita que medidas possam ser tomadas a fim de minimizar os impactos e tornar os hidrossistemas mais resilientes. De fato, com o desenvolvimento urbano, as alterações hidrológicas correspondentes são inevitavelmente observadas como: aumento considerável nos volumes escoados e alterações nos hidrogramas de cheias, principalmente devido ao crescimento de áreas impermeáveis (BARBOSA, 2006).

O volume que antes escoava lentamente através da superfície do solo e que era retido pela vegetação ou tinha sua velocidade reduzida pela própria rugosidade do solo, agora, com a urbanização, passa a escoar através de canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções, gerando um maior custo de manutenção para redução dos picos de vazão (MATOS, 2014).

A utilização de modelos hidrológicos e hidráulicos representa uma ferramenta fundamental no processo de mapeamento de planícies inundáveis. O mapeamento dessas áreas depende do estudo hidrológico da região e à disponibilidade de informações locais. O mapeamento de áreas inundáveis representa uma ferramenta importante para direcionamento das expansões urbanas e a ordenação do uso e ocupação do solo, pois dispendo-se do zoneamento dessas áreas, pode-se delimitá-las e designá-las para usos adequados (FIGUEIREDO, 2003).

O Nordeste do Brasil (NEB) apresenta clima semiárido com grande variabilidade temporal e espacial de chuvas. O Ceará é marcado por prejuízos associados a eventos climáticos extremos, tanto secas como cheias. Estes provocam significativos impactos sociais e econômicos sobre a região (SOUZA FILHO e MOURA, 2006).

O Estado do Ceará possui uma rede de reservatórios espalhada por todo o seu território (CAMPOS e STUDART, 2003). Um dos objetivos dessa rede é o armazenamento temporário das águas fluviais, uma medida de controle de vazões, que contribui para o retardo e amortecimento dos picos de escoamento superficial, de forma a minimizar os problemas das enchentes, à jusante da barragem. Essas medidas visam reduzir, nos períodos chuvosos da região, a ocorrência de enchentes, o transporte da água no tempo da estação chuvosa para a estação seca e o transporte de água entre anos úmidos e secos.

Entretanto, existe uma discussão em torno da operação de comportas de reservatórios em tempo real ou curtíssimo prazo e o estoque de água entre os períodos secos e úmidos do ano. Qual o volume de água que deve ser mantido nos reservatórios para períodos secos com vistas à garantia de abastecimento e a redução do risco de enchentes? Visto que ao redor da maioria dos grandes rios e canais hídricos do Ceará há grandes populações de cidades interioranas. Faz-se necessário, portanto, a busca por ferramentas tecnológicas que possibilitem a previsão de riscos e consequências de grandes inundações resultantes de eventos naturais.

Segundo Reis (2014), é necessária a ampliação da capacidade preventiva para atenuar os efeitos dos extremos climáticos na população. Os sistemas de monitoramento e alerta com antecedência são fundamentais para a redução dos riscos. Neste sentido o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações é um recurso importante para a análise e compreensão de eventos extremos de cheias e auxilia na tomada de decisões para mitigar os impactos associados.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Devido à falta de planejamento quanto ao crescimento das cidades a ocupação do homem em áreas de risco como encostas, margens de rios e várzeas têm sido cada vez mais frequente. O problema se agrava em áreas que estão sendo urbanizadas onde o processo de expansão é necessário mas muitas vezes não é adequado. O Ceará, como outros estados do Nordeste, caracteriza-se pela ocupação da população nessas áreas, principalmente devido aos longos períodos de estiagem, fazendo com que famílias desloquem-se regiões próximas a rios, riachos e/ou açudes. Neste sentido, é

imprescindível o estudo e compreensão destes eventos buscando mitigar os impactos causados, principalmente a população, em consequência de inundações.

A bacia do Acaraú fica situada na região norte do Estado do Ceará, sendo ampla em seu alto curso e estreitando-se próximo à costa. Drenada exclusivamente pelo rio Acaraú, o qual nasce na serra da Mata em cotas superiores a 800 m, a bacia do Acaraú desenvolve-se no sentido sul-norte, com aproximadamente 315 km de extensão, com uma capacidade total de acumulação de 14.266 hm<sup>3</sup> e contendo 298 km de trechos de cursos d'água perenizados artificialmente (COGERH, 2001).

Inundações afetaram significativamente as cidades vizinhas do leito do rio Acaraú, no norte do estado do Ceará. De 2000 a 2010, as inundações intensificaram-se e afetaram áreas maiores devido à urbanização da planície de inundação do rio. Dois fatores aumentam as inundações no vale do Acaraú: a contribuição de grandes descargas geradas por chuvas intensas na serra da Ibiapaba e a forma aproximadamente circular da bacia afluenta, o que aumenta o potencial de formação de inundação. O problema é mais grave nas grandes cidades, como Sobral e Groaíras, perto da confluência do Groaíras, Jacurutu, Macacos, Jaibaras e rios Acaraú. Nestas áreas, o rio Acaraú torna-se mais estreito, com uma capacidade hidráulica inferior. Assim, o potencial de inundação em áreas urbanas próximas aumenta (CABRAL et al., 2016).

Devido ao histórico de eventos extremos que ocorreram na Bacia do Acaraú e conseqüentemente a enchentes no Rio Acaraú, o presente trabalho faz-se necessário na busca por compreender esses eventos e seus impactos na região, bem como no apontamento de alternativas que possam diminuir os impactos causados, buscando alternativas para solucioná-los.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Avaliação dos dados de cheia ocorrida na bacia rio Acaraú no período de abril de 2009 usando o programa HEC-HMS, bem como analisar através do *software* os impactos causados na região devido a este evento.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- 1) Integrar diversas fontes de dados, disponíveis em órgãos e instituições de gestão e pesquisa, para simular um cenário de chuva extrema baseado em parâmetros reais da bacia em estudo.
- 2) Validar o modelo hidrológico HEC-HMS;

3) Apontar impactos causados na região e sugerir alternativas de prevenção e que contribuam para mitigar impactos causados por eventos extremos;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MODELAGEM

Um modelo é uma representação simplificada de algum objeto ou sistema, geralmente expresso por meio de equações matemáticas e tem como objetivo obter resultados, através de simulação, que ajudem a entender o objeto de estudo. O modelo é o meio pelo qual se consegue obter resultados que ajudam na compreensão no problema e na criação de possíveis soluções (LEITÃO, 2014).

O uso de modelos em sistemas computacionais através de simulações pode ser utilizado para vários propósitos. Alguns exemplos que podem ser citados de uso hidrológico são: planejamento de obras de barragem, dimensionamento de elementos hidráulicos, monitoramento de rios e reservatórios, hidrogramas de projeto, estimativa de disponibilidade hídrica de uma bacia, previsão em tempo real de eventos hidrológicos críticos, simulação de impactos decorrentes das intervenções humanas, processo de tomada de decisão, entre outros.

Segundo Tucci (2004), para que um modelo seja eficaz e seus resultados confiáveis, o esforço para obtê-los deve ser mínimo. Por outro lado, um modelo é confiável quando os resultados podem ser calculados com determinado nível aceitável de precisão. No processo de simulação existem, normalmente, três fases: estimativa de parâmetros, verificação e previsão. A estimativa de parâmetros é a fase da simulação onde as variáveis que definem o problema devem ser determinadas. A verificação é a comparação dos resultados obtidos com os parâmetros estimados em relação a dados observados na realidade. Caso seja necessário, faz-se um ajuste de parâmetros de modo que o resultado do modelo se aproxime o máximo possível dos resultados observados. A fase de previsão é a fase em que um modelo, depois de ajustado e verificado, é utilizado para representar um evento desconhecido.

Os modelos hidrológicos são utilizados basicamente com dois propósitos: o de descrever o sistema em estudo, estabelecendo suas relações internas e fenômenos que nele ocorrem e, também, fazer previsões sobre o comportamento deste sistema em situações que não foram observadas. As principais aplicações da modelagem hidrológica estão relacionadas à previsão de vazões, sistemas de alertas de cheias, previsão de áreas de inundação, estimativas de alterações no ciclo hidrológico decorrentes de mudanças de uso e ocupação do solo, ou de alterações climáticas (BEVEN, 2005 *apud* MEIRA NETO, 2013).

O modelo hidrológico é uma ferramenta desenvolvida para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e prever condições diferentes das observadas. É usado em pesquisas de bacias hidrográficas para estruturar dados, estudar as respostas do local, selecionar e avaliar parâmetros, estudar a significância da variabilidade espacial e temporal das características físicas e determinar observações necessárias para encontrar um grau de precisão em um período específico de tempo (DE COURSEY, 1985 *apud* BUCHIANERI, 2004). É utilizado também para antecipar os eventos e representar o impacto da urbanização de uma bacia antes que ele ocorra, e que medidas preventivas podem ser tomadas. Pode ser utilizada para previsão de uma enchente em tempo real, ocorrência de eventos extremos estatisticamente possíveis, impactos da alteração de um rio como derivações e construções de barragens (BARBOSA, 2006).

## 2.2 CLASSIFICAÇÕES DOS MODELOS

Alguns critérios classificam os modelos. Os conceitos a seguir são descritos por Tucci (2004). Os modelos são classificados quanto à linearidade, ele pode ser classificado como linear ou não linear. Um modelo é linear quando satisfaz os princípios da superposição e homogeneidade. No princípio da superposição o resultado da entrada deve-se ser igual à soma dessas saídas. Já no princípio da homogeneidade estabelece que para um determinado sistema uma entrada com valor proporcional resultará em uma saída igualmente proporcional. Quando não atendem a esses dois princípios eles são classificados como não linear.

Quanto ao tipo de variáveis utilizadas na modelagem, eles podem ser, estocásticos ou determinísticos. Um modelo é estocástico se a variável utilizada incorpora a chance de ocorrência e o conceito de probabilidade é introduzido no modelo. Se os processos no modelo seguem uma lei definida, o modelo é dito determinístico.

Com relação a derivação das relações serem empíricas ou conceituais. Um modelo é dito conceitual quando as equações utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos. Nos modelos conceituais a sua formulação pode ser derivada analiticamente através de leis fundamentais da física ou matemática. Por outro lado, um modelo é dito empírico quando ele é obtido através de ajuste de equações e parâmetros para dados observados em campo. Assim, as equações são ajustadas para melhor se adequar aos dados observados, mas guardam uma estrita relação com os processos físicos envolvidos.

E quanto a existências de relações espaciais que podem ser concentradas ou distribuídas. Um modelo é concentrado quando não leva em consideração a variabilidade espacial nas suas

equações e, geralmente, utilizam somente o tempo como variável independente. Por outro lado, um modelo é dito distribuído quando as variáveis e parâmetros do modelo dependem do espaço e tempo.

### 2.3 INUNDAÇÕES

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados: Inundações de áreas ribeirinhas e inundações devido à urbanização (TUCCI, 2008). As inundações de áreas urbanizadas ocorrem, principalmente, pelo processo no qual o rio escoar pelo seu leito maior. Este tipo de enchente é decorrência do processo natural do ciclo hidrológico. Devido a população ocupar o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são frequentes ou, pode ocorrer devido a drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento, segundo Tucci (2008), desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

Os principais impactos sobre a população são:

- 1) Prejuízos de perdas materiais e humanas;
- 2) Interrupção da atividade econômica das áreas inundadas;
- 3) Contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outras;
- 4) Contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamentos entre outros.

A medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos:

- 1) Aumento das vazões máximas em até 7 vezes e da sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- 2) Aumento da produção de resíduos sólidos (lixo);
- 3) Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal<sup>1</sup> e pluvial e contaminação de aquíferos;

---

<sup>1</sup> Canalização pertencente ao sistema de esgotos sanitários (BRASIL, 2004. p. 04).

## 2.4 HEC-HMS

Os modelos de transformação chuva-vazão têm por objetivo estimar o deflúvio em um sistema de drenagem qualquer, gerado por um evento de chuva. Buscam reproduzir as fases do ciclo hidrológico entre a precipitação e o escoamento no ponto de interesse (KAISER, 2006).

Existe uma enorme variedade de tipos de modelos, desde modelos bastante simplificados, como o Método Racional, muito utilizado em projetos de drenagem para estimativas de vazão em pequenas bacias, até modelos com entradas distribuídas, que consideram a variabilidade espacial e temporal do evento chuvoso. Geralmente estes últimos modelos tentam representar a variação das características da bacia hidrográfica no espaço, e fazem balanços hídricos localizados, determinando parcelas de evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial e subsuperficial para cada unidade em estudo. Define-se um percurso para estes escoamentos até atingir uma calha de drenagem; daí, através de processos hidrodinâmicos, o escoamento é propagado até a seção de interesse. A necessidade de um levantamento exaustivo de dados é uma das maiores limitações à utilização de modelos mais complexos, o que leva à indagação de qual o aumento de precisão no resultado final que esta prática propicia (KAISER, 2006).

A modelação hidrológica é utilizada para atender as seguintes finalidades:

- Fornecer dados para projetos de engenharia. Seu uso é comum na extensão de séries de dados fluviométricos, uma vez que a disponibilidade de dados pluviométricos é maior que os fluviométricos.
- Simular vazões em cursos de água de bacias submetidas a intervenções, principalmente com enfoque nas enchentes em bacias urbanas.
- Prever vazões que subsidiem o gerenciamento de barragens e sistemas de alerta de cheias.
- Analisar o impacto de obras hidráulicas em cursos de água.
- Avaliar o impacto de intervenções antrópicas em bacias hidrográficas.
- Estudar, equacionar e reproduzir as diversas fases do ciclo hidrológico, objetivos inerentes às atividades de pesquisa.

Segundo LINSLEY (1981 *apud* KAISER, 2006), em 1851 foi publicado na revista técnica do Instituto de Engenharia Civil da Irlanda, por Mulvaney, o que hoje é conhecido por Fórmula Racional, o primeiro modelo hidrológico registrado na literatura. A ela seguiram-se várias outras variações desta fórmula pioneira. Este mesmo autor afirma que as bases conceituais dos atuais modelos hidrológicos foram, em grande parte, explicitadas no início do século XX. A modelação

propriamente dita surgiu a partir da segunda metade daquele século e teve um rápido desenvolvimento em função dos grandes avanços na informática.

Como suporte para compreender o comportamento da bacia de estudo foi utilizada a ferramenta HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System*). O HEC-HMS é um software, de domínio público, que inclui uma variedade de modelos, também chamado multimodelo, oferecendo várias equações para modelar os processos hidrológicos de uma bacia. Assim, como exemplo, para transformar a chuva total em chuva efetiva, o HEC-HMS nos permite utilizar, entre outros, o modelo taxa inicial e constante (*Initial and Constant*) e o método do SCS (*Soil Conservation Service*) (CAMPOS, 2009). O HEC-HMS é um programa que pode ser adaptado a um sistema de interesse, através de mudanças nos dados em um banco de dados ou alterações nos parâmetros, nas condições de contorno e nas condições de entrada iniciais (CAMPOS, 2009).

O modelo hidrológico HEC-HMS é capaz de simular os processos de transformação chuva-vazão em redes de bacias hidrográficas, podendo incorporar elementos tais como sub-bacias, trechos de rios, junções, reservatórios, desvios, fontes de vazão e sumidouros (USACE, 2010). O modelo tem grande aceitação em estudos hidrológicos tendo possibilidade de realizar avaliação de cheias em grandes e pequenas bacias, tanto naturais quanto urbanas, pois incorpora uma característica concentrada, qual seja a pluviometria, distribuindo seus efeitos pelas várias células de simulação definidas por subdivisões da bacia em estudo (CONORATH, 2012). O programa foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (*US Army Corps of Engineers*) para Modelagem de bacias hidrográficas para eventos de chuvas com aplicações em estudos de cheias.

## **2.5 ANOMALIAS CLIMÁTICAS E SUAS INFLUÊNCIAS**

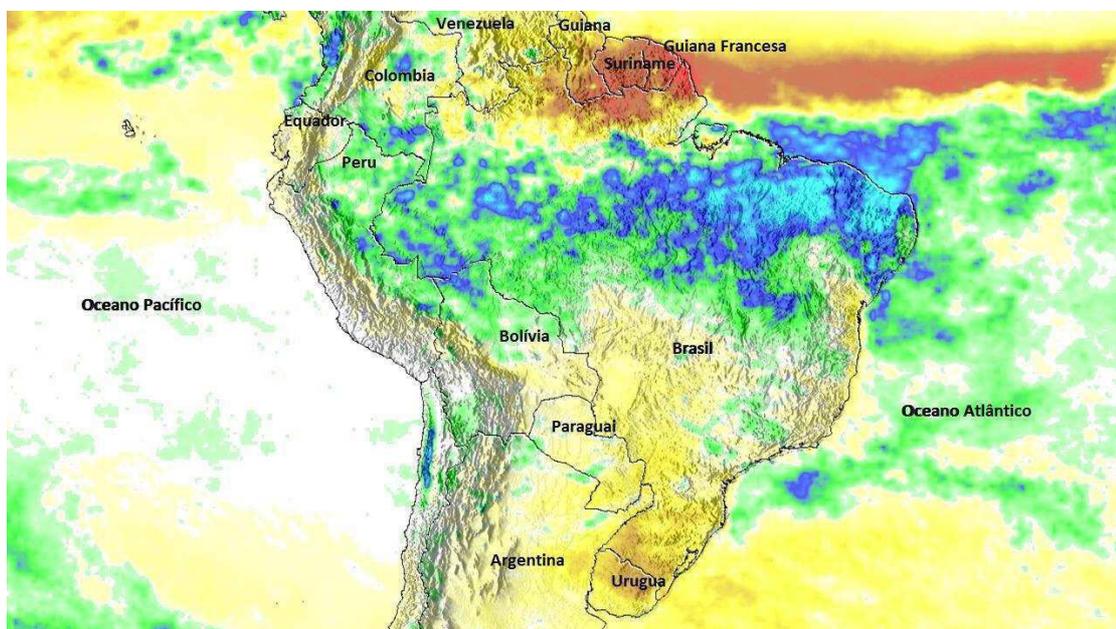
Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME, duas situações distintas marcaram a evolução térmica dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais no ano de 2009.

O nordeste brasileiro geralmente é bastante seco e tem uma temporada de verão úmida. Este padrão está intimamente ligado à migração sazonal de uma faixa de precipitação e tempestades que se desenvolve no globo perto do equador, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Esta faixa de chuva muda de norte para sul através do Equador, à medida que as estações mudam, trazendo um ciclo de períodos chuvosos e secos para os trópicos.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), é a região que circunda a Terra, perto do Equador, onde os ventos alísios dos Hemisférios Norte e Sul se reúnem. O sol intenso e a água quente do equador aquecem o ar na ZCIT, aumentando a sua umidade e tornando-o flutuante. Ajudado pela convergência dos ventos alísios, o ar flutuante sobe e ele se expande e esfria, liberando a umidade acumulada em uma quase perpétua série de tempestades. Mudanças sazonais na localização da ZCIT afetam drasticamente as chuvas. Mudanças de longo prazo na ZCIT podem resultar em secas severas ou inundações

Em janeiro de 2009, uma situação típica de La Niña predominava no Pacífico, com águas mais frias que o normal, enquanto no Atlântico, predominavam anomalias<sup>2</sup> positivas no setor norte da imagem, e em torno da média, abaixo do Equador. No Atlântico, a situação térmica evoluiu para um quadro associado à ocorrência de chuvas mais intensas no Nordeste do Brasil, com anomalias positivas de Temperatura Superficial do Mar (TSM), e negativas em torno da média no setor norte desta, característica que persistiu até maio de 2009. Essas características térmicas foram responsáveis pela descida e localização da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Figura 1, sobre o norte da região Nordeste, causando chuvas intensas nessa região, a qual se encontra inserida a Bacia do Acaraú.

**Figura 1-** Zona de Convergência Inter Tropical no começo de 2009 no Brasil.



Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards/view.php?id=38655&src=eorss-nh>

<sup>2</sup> Anomalia climática refere-se a uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade (Angelocci 2007, p.1).

A Figura 1 mostra as chuvas inusitadamente pesadas do satélite da Missão de Medição de Precipitação Tropical (TRMM) entre 12 de abril e 12 de maio de 2009. As áreas em que a precipitação foi maior do que o normal são azuis, enquanto as regiões mais secas do que normais são vermelhas. A característica mais proeminente da imagem é a grande banda leste-oeste de chuva muito pesada que se estende do Oceano Atlântico no Oriente às montanhas do norte dos Andes do Peru, Equador e Columbia no Oeste. Esta banda é um resultado direto da ZCIT. No entanto o ZCIT é um padrão de chuva normal, mas observa-se imediatamente ao norte da faixa em azul uma forte banda leste-oeste de chuvas abaixo do normal, mostrada em vermelho.

O padrão geral de anomalia mostra que o ZCIT permaneceu estacionado no nordeste do Brasil em vez de migrar para o norte em relação à Guiana Francesa, ao Suriname e à Guiana, como normalmente faria. Uma possível razão para esta mudança na ZCIT tem a ver com o que é conhecido como a Oscilação do Atlântico Norte (NAO). A oscilação descreve as mudanças nas forças relativas de duas pressões atmosféricas semi-permanentes sobre o Atlântico Norte: na região da Islândia e na região dos Açores. Quando o índice é positivo, os recursos de pressão são mais fortes.

Como resultado desse panorama meteorológico, segundo dados do Plano de Gerenciamento das águas da Bacia do Acaraú, o Ceará enfrentou um dos anos mais chuvosos de sua história. Segundo dados da Defesa Civil, em todo o Estado, quase 600 mil pessoas foram afetadas pelas enchentes, contabilizando 4.933 desabrigados, 16.259 desalojados e 20 mortos. A Bacia do Acaraú contabilizou 998 desabrigados, 3.018 desalojados e 4 mortos, afetando 135.169 pessoas. Em 2009 apenas um município da Bacia do Rio Acaraú (Alcântaras) não decretou Situação de Emergência devido às enchentes. Todos os açudes monitorados pela Cogerh sangraram. Duas cidades do Baixo Acaraú ficaram com o sistema de abastecimento de água comprometido. Os moradores de Marco e Bela Cruz ficaram sem água nas torneiras por mais de cinco dias devido às cheias do Rio Acaraú, que danificaram o sistema de bombeamento.

## **2.6 REGISTRO HISTÓRICO DE CHEIAS NA BACIA DO ACARAÚ**

A cidade de Sobral tem sido uma das cidades mais afetada com inundações quanto as enchentes ocorridas na bacia do Acaraú. Historicamente, as populações de diversos bairros da sede do município enfrentaram problemas relacionados às enchentes do rio Acaraú. De acordo com levantamento realizado em livros, documentos e jornais, as principais inundações e enchentes que atingiram a cidade ocorreram nos anos 1917, 1924, 1950, 1965, 1974 e 2009. Dentre os problemas

enfrentados pela população atingida destacam-se: a interrupção no fornecimento de água, retirada de moradores de suas casas, destruição de lavouras, perdas materiais, destruição de casas e de outras edificações (MONTEIRO, 2016).

O efeito das enchentes no médio curso do Acaraú é agravado nas proximidades da cidade de Sobral devido a confluência dos rios Groaíras, Jacurutu, dos Macacos e Jaibaras, com o rio Acaraú. Nesta área, o rio Acaraú tem um estreitamento de sua calha fluvial, resultando em inundações que atingem as áreas urbanizadas.

### 2.6.1 Enchente de 1974

Segundo Monteiro (2016) após a cheia de 1974, como mostram as Figuras 2, 3 e 4, foi que a cidade passou a receber maior atenção da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e da Superintendência de Desenvolvimento do Ceará (SUDEC), colaborando com os municípios para o melhoramento do planejamento urbano, incluindo projetos de infraestrutura como drenagem e saneamento básico.

**Figura 2-** Enchente de 1974. Praça Dr. José Saboya, antiga Praça do Mercado.



Fonte: <http://nnoosstaallggiiaa.blogspot.com.br/2010/07/sbral-na-enchente-de-1974.html>

**Figura 3-** Enchente de 1974



Fonte: <http://nnoosstaallggiiaa.blogspot.com.br/2010/07/sbral-na-enchente-de-1974.html>

**Figura 4 -** Enchente de 1974, Praça "Coluna da Hora"



Fonte: <http://historiadesobral.blogspot.com.br/2014/09/enchente-de-1974-em-sobral.html>

Na Figura 2, como descrito na legenda, observa-se a inundação da Praça Dr. José Saboya, devido a enchente ocorrida no ano de 1974. Outro ponto da cidade é destacados nas Figuras 3, entre o cruzamento da Avenida Dom José com Rua Domingos Olímpio, no Centro da cidade de Sobral, na margem esquerda do Rio Acaraú, onde hoje encontra-se uma grande quantidade de empreendimentos

comerciais. As Figuras 2, 3 e 4 descrevem a história da cidade de Sobral devido a enchente do Acaraú no ano de 1974. A região fotografada fica cerca de oito quadras da margem esquerda do Rio.

### 2.6.2 Enchente de 2009

Segundo reportagem feita pelo Jornal Estadão (2009) sobre os eventos de cheia ocorridos no Ceará no ano de 2009, a região norte do Estado foi a mais atingida. Em Sobral, um museu ficou submerso por causa da cheia do Rio Acaraú. O Museu de Arte Contemporânea de Sobral (Madi), na margem esquerda do Rio Acaraú, foi invadido pela enchente, Figura 5, o que segundo a prefeitura, comprometeu a estrutura do prédio.

**Figura 5** – Museu de Arte Contemporânea de Sobral (Madi).



Fonte: <http://www.osobralense.com.br/2016/10/foto-da-enchente-de-2009-em-sobral.html>

Em 2009 o leito do rio transbordou ultrapassando as limitações propostas pela urbanização da margem esquerda. Esta foi inundada, atingindo diversos prédios públicos recém construídos. A descaracterização da margem esquerda do rio devido a urbanização pode ter sido um fator que proporcionou a enchente do ano de 2009, Figura 6.

**Figura 6** – Margem esquerda do Rio Acaraú na cidade de Sobral.



Fonte: <https://www.panoramio.com/photo/124442718>

As enchentes referentes ao inverno de 2009 fizeram sangrar 53 dos 131 açudes monitorados pela Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos (COGERH). Forquilha, que fica no Norte, sangrou depois de 15 anos, atraindo muitos curiosos para conferir o espetáculo das águas transbordando. A bacia do Acaraú chegou a acumular 98% da capacidade de armazenamento, segundo a COGERH.

Segundo Melo (et al., 2010), o município de Sobral enfrentou em 2009 grandes problemas em decorrência das enchentes, onde várias áreas foram atingidas, incluindo sede e zona rural do município. De acordo com dados da Defesa Civil Municipal cerca de 4.860 pessoas foram afetadas por este evento até a primeira semana de maio do mesmo ano.

### 3. METODOLOGIA

A Figura 7 descreve por etapas a metodologia aplicada nesta pesquisa. A parte inicial descreve o levantamento de dados da Bacia Hidrográfica do Acaraú e de sua caracterização por meio de dados calculados através de parâmetros iniciais dispostos na literatura. A segunda parte descreve a modelagem hidrológica através da inserção de dados no *software* HEC-HMS, bem como sua calibração e a análise propagação de cheia referente ao evento de 2009.

**Figura 7** - Esquema de descrição da metodologia

#### Aquisição de Dados

- Pluviométricos - séries diárias dos postos
- Caracterização da Bacia
- Análise de Dados

#### Modelagem Hidrológica

- Validação do HEC-HMS com dados fluviométricos
- Simulação de um cenário de chuva extrema baseado em parâmetros reais da bacia em estudo.
- Obtenção do HU
- Propagação

Fonte: Autor

### 3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

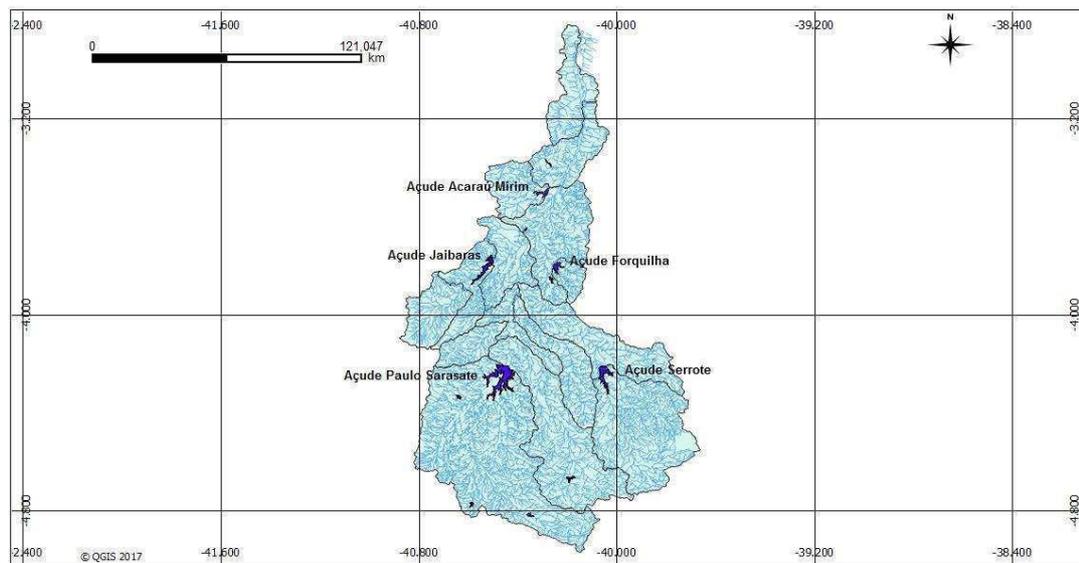
#### 3.1.1 Região de Estudo

A Bacia do Acaraú está situada na porção norte do estado do Ceará, com uma extensão de 320 km e limita-se a noroeste com a Bacia do Coreaú, a sudoeste com a Bacia do Poti Longá (Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús), a sudeste com a Bacia do Banabuiú, a leste com as bacias do Curú e Litoral, e ao norte com o Oceano Atlântico.

Ocupa uma área da ordem de 14.423 km<sup>2</sup>, que corresponde a 10% do território cearense. A bacia do Acaraú drena 28 municípios, 11 integralmente: Cariré, Catunda, Forquilha, Graça, Groaíras, Hidrolândia, Massapê, Pacujá, Pires Ferreira, Reriutaba e Varjota e os demais, parcialmente, Acaraú

(27,85%), Alcântara (19,48%), Bela Cruz (23,73%), Cruz (13,11%), Ibiapina (2,10%), Ipu (90,91%), Ipuéiras (31,04%), Marco (48,32%), Meruoca (83,84%), Monsenhor Tabosa (13,80%), Morrinhos (53,00%), Mucambo (71,38%), Nova Russas (92,40%), Santa Quitéria (96,84%), Santana do Acaraú (69,71%), Sobral (45,01%) e Tamboril (35,19%), conforme (CEARÁ, 2009).

**Figura 8 - Rede de Drenagem da Bacia do Acaraú**



**Legenda**

-  Reservatórios
-  Drenagem
-  Bacia Hidrográfica

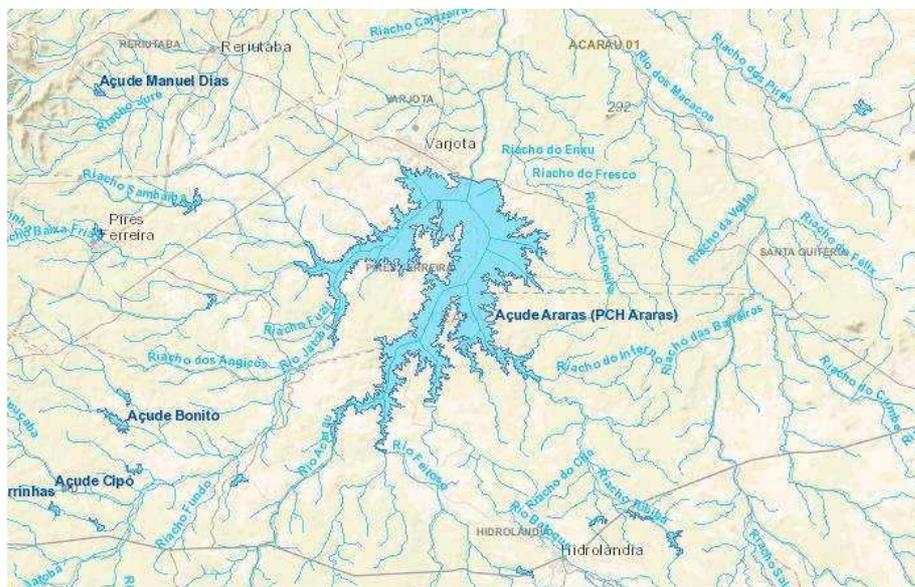
Fonte: Autor

O Rio Acaraú apresenta um desnível topográfico de cerca de 960 m em uma extensão aproximada de 315 km, desde suas cabeceiras na Serra das Matas, na região centro-oeste, até a sua foz no Oceano Atlântico, no Município de Acaraú. Conta com elevado índice de compacidade (1,85) e fator de forma reduzido (0,15). A drenagem apresenta um padrão dendrídico no alto e médio curso do Rio Acaraú, em virtude da bacia estar em sua maior parte assentada sobre rochas cristalinas, onde o escoamento superficial é bastante significativo. Em seu baixo curso, a área é drenada por sedimentos da Formação Barreiras, Paleodunas e Campos de Dunas.

### 3.1.2 Sub-bacias

Segundo dados do DNOCS (2017), o açude Araras, localizado no município de Reriutaba, data de 1958 e barra o Rio Acaraú em seu alto curso. A sua bacia hidrográfica cobre uma área de 3.520 km<sup>2</sup>. Tem como finalidades a perenização e controle das cheias do rio Acaraú, a irrigação de 14.000ha nas várzeas do mesmo rio, a piscicultura e o aproveitamento de culturas na área de montante. A sub-bacia do açude Araras, detentora da maior área, abrange 15 municípios. Ela, em sua maior extensão, abriga solos das classes Bruno Não-Cálcico e Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico. Levantamentos de campo realizados por Freitas (2003 *apud* FIGUEIRÊDO et al., 2007), mostraram que essa classe de solo possui alta erosão no Ceará.

**Figura 9** – Reservatório do açude Araras



Fonte: <http://portal1.snirh.gov.br/ana>

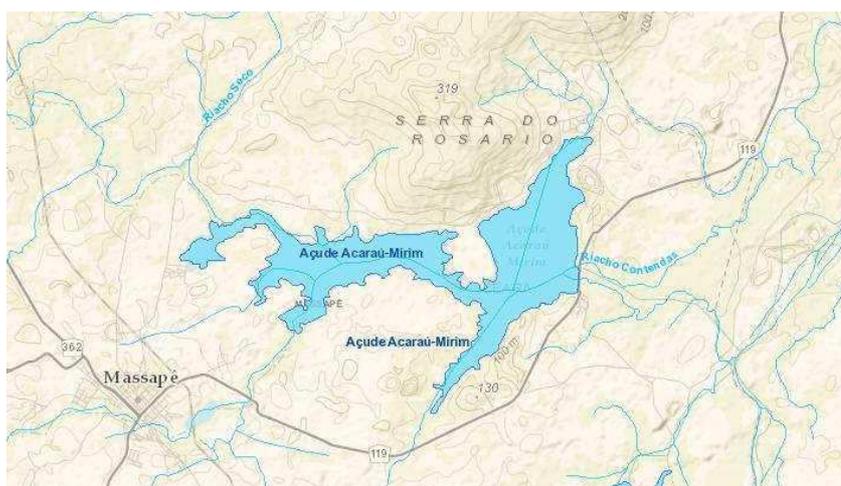
**Figura 10 - Açude Araras.**



Fonte: <http://hidro24horas.blogspot.com.br/2013/07/o-acude-araras-que-hoje-tem-375-do-seu.html#.WiqOxtKnHIU>

Segundo DNOCS (2017), o Acaraú Mirim, da bacia do Acaraú, onde barra o rio de mesmo nome, está localizado no município de Massapê, e tem capacidade máxima de 52.768.000 metros cúbicos, sendo responsável pelo abastecimento de Massapê, dos distritos de Mumbaba e de Ipaguassu-Mirim, além de perenizar 16 km de rio, possibilitando a irrigação de 200 ha de terras em suas margens.

**Figura 11 - Reservatório Acaraú Mirim**



Fonte: <http://portal1.snirh.gov.br/ana>

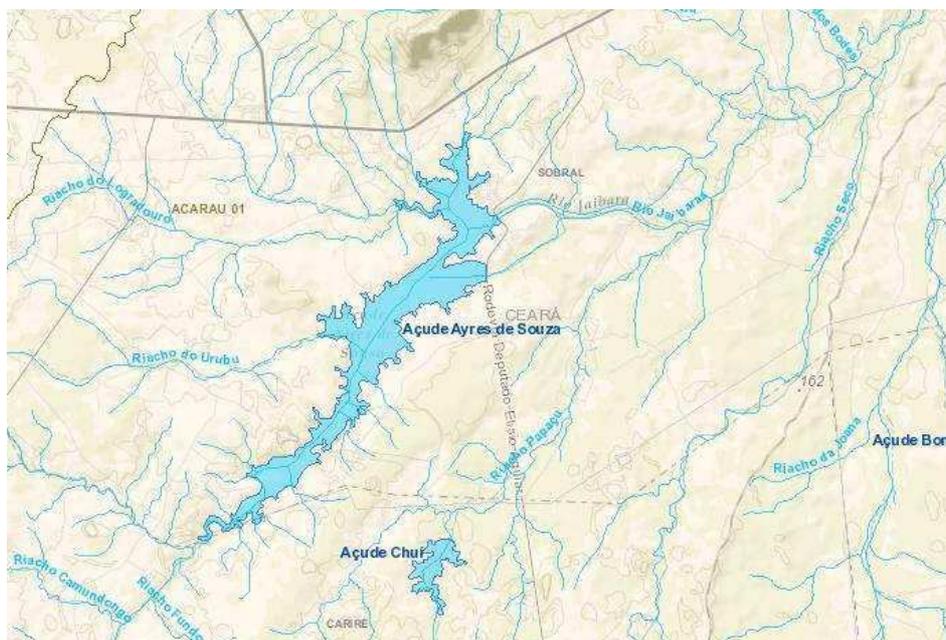
**Figura 12 - Açude Acaraú Mirim.**



Fonte: <http://forquilhaontemhojeesempre.blogspot.com.br/2013/11/acude-acarau-mirim-em-massape-tem-sua.html>

O Ayres de Souza, localizado em Sobral, é datado de 1936 (DNOCS, 2017). O Ayres de Souza barra o rio Jaibaras, sendo suas águas utilizadas na irrigação, criação de tilápia em gaiolas e no abastecimento de vários municípios, dentre eles Sobral, o maior município da região. Na sub-bacia do Jaibaras predominam solos Litólicos, Podzólicos e Latossolos, com vulnerabilidade média, alta e alta à erosão, respectivamente. Segundo Figueirêdo (et al., 2007), na região do Jaibaras, predominam as áreas recobertas com mata ciliar e vegetação densa úmida nas vertentes do planalto da Ibiapaba e da serra da Meruoca. Essa sub-bacia possui 16% de sua área com solo exposto, com alta vulnerabilidade à ação das chuvas, que transportam sedimentos para as áreas baixas da sub-bacia, no caso, o açude Jaibaras.

**Figura 13 - Reservatório Ayres de Souza**



Fonte: <http://portal1.snirh.gov.br/ana>

**Figura 14 - Açude Ayres de Souza.**



Fonte: <http://blogsobralcultural.blogspot.com.br/2015/07/cagece-lanca-campanha-contra.html>

A barragem Edson Queiroz, também conhecido como Serrote, está localizada no município de Santa Quitéria, está localizado no município de Santa Quitéria na parte alta da bacia do Acaraú, datando de 1987 o término de sua construção (DNOCS, 2017). Represa as água do rio Groaíras, afluente do Rio Acaraú na parte alta da bacia. A barragem Edson Queiroz também faz parte do Plano Diretor de Desenvolvimento do Vale do Acaraú. Tem como finalidades complementares o controle de enchentes do rio Acaraú, o abastecimento d'água ao complexo minero-industrial de urânio que está sendo implantado no município vizinho de Itataia, a perenização do rio Acaraú e a piscicultura. Na



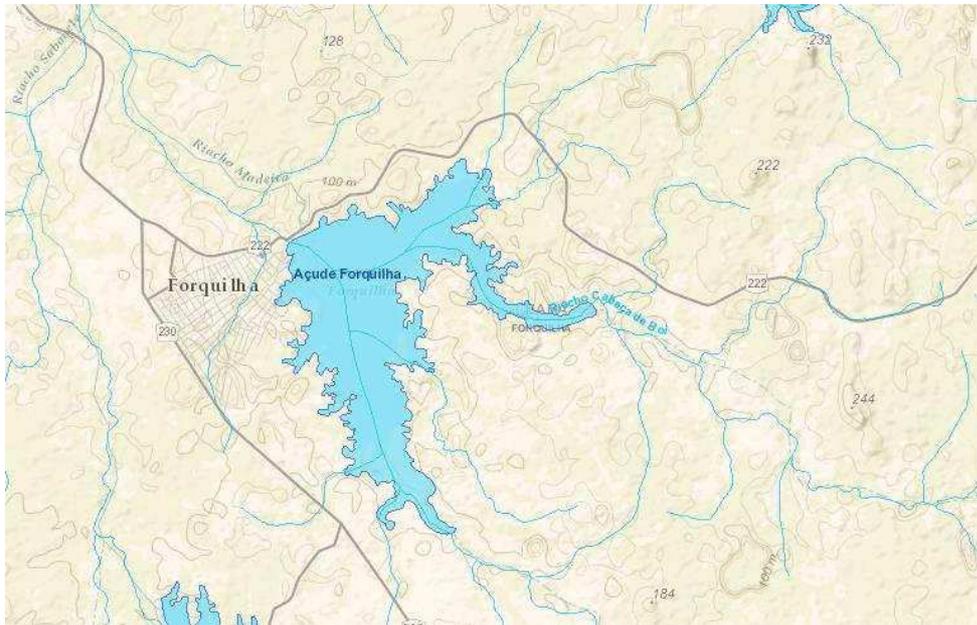
**Figura 16 - Açude Serrote.**



Fonte: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/barragens/Barragem%20do%20Ceara/serrote.htm>

Segundo site do DNOCS (2017), a Irrigação do Perímetro Irrigado Forquilha é processada através da água represada na barragem de terra sobre o Rio Madeira, construída em 1921. O Açude Público Federal Forquilha permite a regularização das contribuições naturais de uma Bacia Hidrográfica de 230 km<sup>2</sup>. Sua capacidade máxima é de 50.132.000 m<sup>3</sup>, correspondendo a uma altura d'água, explorável por gravidade de apenas 5,0 m, considerada pequena face à posição elevada da tomada atual.

**Figura 17 - Açude Forquilha**



Fonte: <http://portal1.snirh.gov.br/ana>

**Figura 18 - Açude Forquilha.**

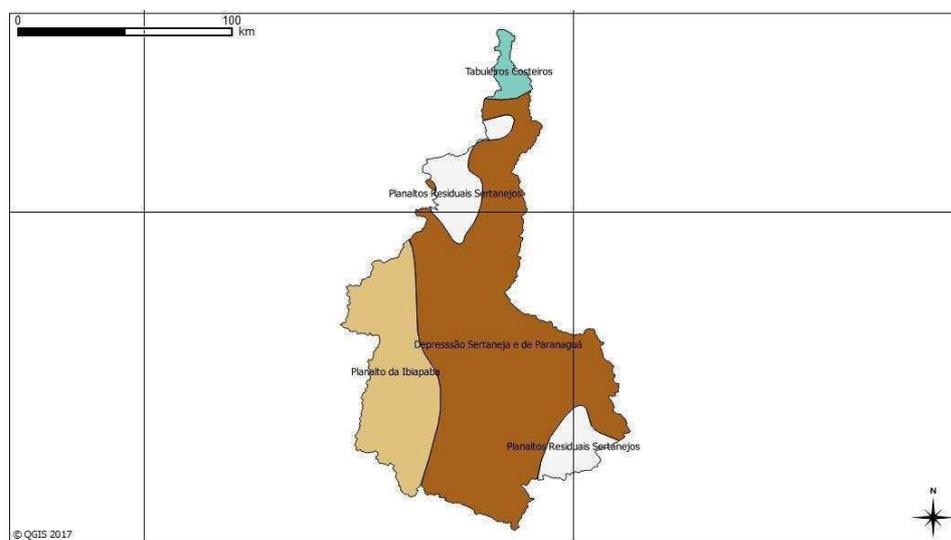


Fonte: <http://forquilhaontemhojeesempre.blogspot.com.br/2015/04/acude-publico-forquilha-dados.html>

### 3.2 RELEVO DA BACIA

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia (CARVALHO e SILVA, 2006).

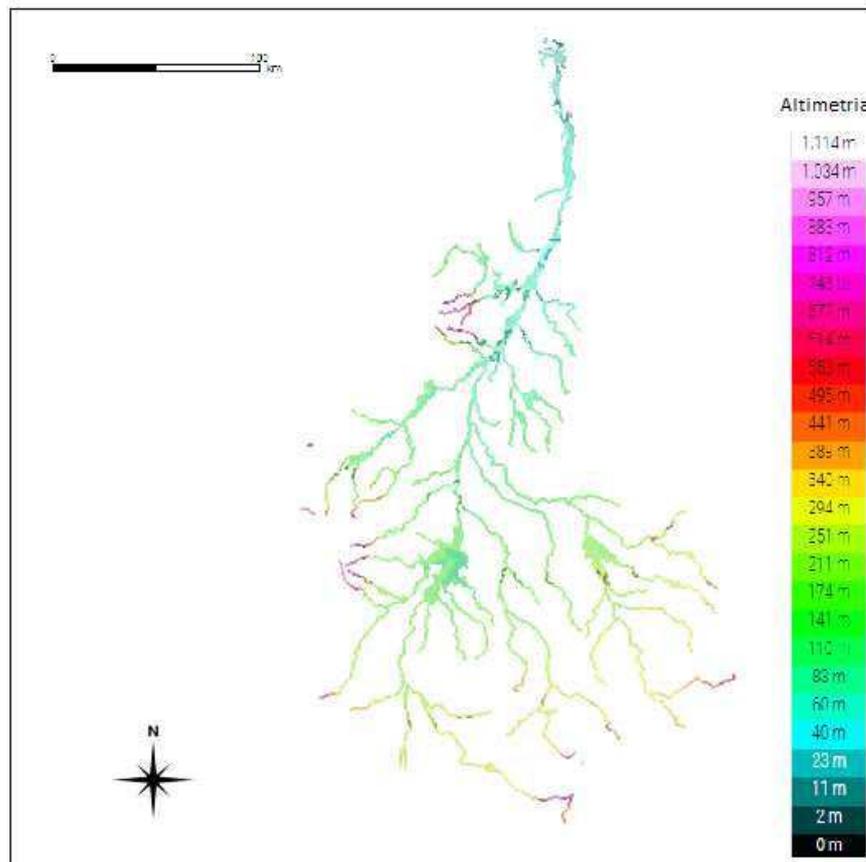
**Figura 19** - Relevo do mapa do Ceará. Região correspondente a Bacia do Acaraú.



Fonte: Autor

A Figura 19 descreve as características do relevo da bacia do Acaraú. A demarcação da Depressão Sertaneja é típica do Ceará, da região semi-árida do Nordeste, onde suas altitudes variam de 20 a 500 m. Possui ainda elevações residuais com altitudes de 500 a 800 m, que testemunham os ciclos de intensa erosão. Essa demarcação caracteriza a maior parte da região, principalmente a área que abrange o rio Acaraú.

**Figura 20 -** Altitude Região norte do estado do Ceará



Adaptado pelo Autor

Fonte: <http://pt-br.topographic-map.com/places/Cear%C3%A1-1337998/>

A Figura 20 mostra a região norte do estado do Ceará e sua altitude, caracterizada pelas cores, onde a menor altitude corresponde a cor preta e a maior altitude a cor branca. A região central da imagem mostra a bacia do Acaraú e seus reservatório. Suas cores correspondem a altitudes entre 23m, na parte mais próxima da costa, e regiões mais rosadas que correspondem a valores entre 700 e 900m na parte inferior da figura.

### 3.3 ANÁLISE DAS CHUVAS INTENSAS

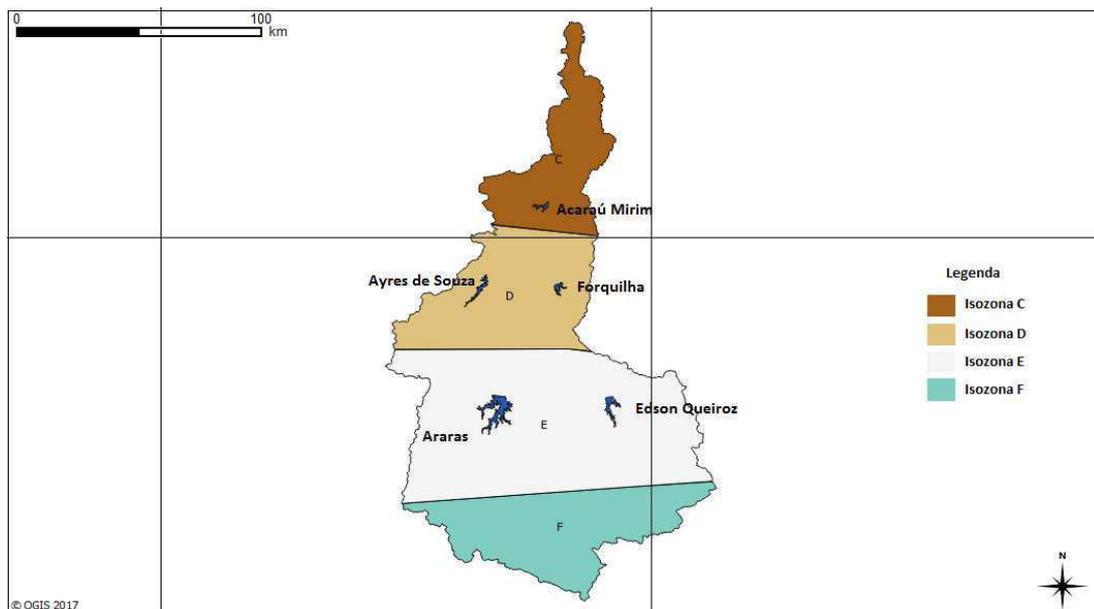
Para análises hidrológicas em geral, interessa não somente os valores de máxima precipitação observadas nas séries históricas, mas também prever, com base nos dados observados, as máximas precipitações que possam vir a ocorrer em um certo local com uma determinada frequência.

A análise de chuvas intensas estabelece a relação entre chuvas extremas e tempo de retorno. Para a análise das chuvas intensas da bacia utilizou-se dois métodos de determinação a Distribuição de Gumbel e o Método de Taborga.

Baseando-se no método de Gumbel, verificou-se a variação da intensidade com o período de retorno correspondente a série de intensidade máxima anual (mm/h) de precipitação observado.

O método de Taborga baseia-se na observação feita pelo Engenheiro José Jaime Torrico Taborga que em diferentes estações pluviográficas do Brasil, ao plotar as chuvas de 1 hora e 24 horas no papel de probabilidades de Hershfield e Wilson, constatou que havia uma tendência das semirretas, que relacionavam altura da chuva *versus* duração, interceptarem, ao serem prolongadas, um mesmo ponto no eixo das abcissas. Cada região que apresentava esta característica seria classificada como uma Isozona. Para este método então, fez-se necessário a identificação da isozona na qual a bacia estava localizada de acordo com o Figura 21.

**Figura 21** - Coeficientes de intensidade associados às isozonas.



Fonte: Autor

**Figura 22** - Coeficientes de intensidade associados às isozonas.

ZONA	PERÍODOS DE RETORNO EM ANOS											
	1 h/24 h Chuva										6 min/24 h	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5 - 50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,4	37,2	36,0	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Adaptado Torrico (1975)

Para o cálculo de desagregação levou-se em consideração que a chuva de 24 h corresponde a 1,1 da chuva de um dia e, em seguida, multiplicou-se os fatores percentuais, tabelados junto à literatura (Figura 22) para a determinação da lâmina de água. Para chuva de projeto foi utilizado a chuva horária desagregada por Taborga com intervalo de 15 minutos. Os dados utilizados foram empíricos de acordo com as séries históricas de precipitação de cada subbacia.

### 3.4 PERÍODO DE ESTUDO

Para a análise pluviométrica da bacia do Rio Acaraú foram utilizadas as séries históricas dos postos pluviométricos disponíveis no banco de dados da FUNCEME, localizados até 0.3 graus fora das sub-bacias. Realizou-se a média da precipitação através do Polígono de Thiessen.

O método de Thiessen assume que em qualquer ponto da bacia o valor da precipitação é igual à medida no posto pluviométrico mais próximo. Assim sendo o registro da altura em um dado posto é aplicado em outros pontos, desde que estes estejam até meia distância a outro posto. O polígono de Thiessen foi calculado no Python através dos shapes das subbacias.

Os anos analisados referem-se a trinta e uma séries de precipitação variando entre 42 e 15 anos. E o período de simulação a abril de 2009. As médias das máximas anuais

**Tabela 1 - Postos pluviométricos utilizados para séries históricas de precipitação**

<b>ID Postos Pluviométricos</b>	<b>Estação</b>	<b>Ano Inicial</b>	<b>Ano Final</b>	<b>Município</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
2	Acaraú	1974	2016	Acaraú	-2,88	-40,12
24	Bela Cruz	1981	2016	Bela Cruz	-3,05	-40,17
32	Carire	1974	2016	Carire	-3,95	-40,47
44	Cruz	1989	2016	Cruz	-2,93	-40,18
46	Forquilha	1980	2016	Forquilha	-3,8	-40,26
52	Groairas	1981	2016	Groairas	-3,92	-40,38
55	Hidrolândia	1979	2016	Hidrolândia	-4,42	-40,4
62	Ipú	1974	2016	Ipú	-4,32	-40,7
63	Ipueiras	1974	2016	Ipueiras	-4,53	-40,72
84	Marco	1980	2016	Marco	-3,15	-40,15
86	Massapê	1974	2016	Massapê	-3,53	-40,33
88	Meruoca	1979	2016	Meruoca	-3,55	-40,45
96	Morrinhos	1984	2016	Morrinhos	-3,23	-40,12
97	Mucambo	1974	2016	Mucambo	-3,9	-40,77
100	Nova Russas	1974	2016	Nova Russas	-4,72	-40,57
106	Pacujá	1981	2016	Pacujá	-3,98	-40,7
126	Reriutaba	1974	2016	Reriutaba	-4,15	-40,58
129	Santa Quitéria	1974	2016	Santa Quitéria	-4,33	-40,15
130	Santana do Acaraú	1974	2016	Santana do Acaraú	-3,47	-40,2
138	Sobral	1974	2016	Sobral	-3,7	-40,35
141	Tamboril	1979	2016	Tamboril	-4,83	-40,33
252	Pires Ferreira	1989	2016	Pires Ferreira	-4,25	-40,65
276	Amanaiara	1974	2016	Reriutaba	-4,05	-40,52
277	Graça	1983	2016	Graça	-4,05	-40,75
287	Catunda	1988	2016	Catunda	-4,67	-40,2
548	Flores	1990	2016	Ipú	-4,35	-40,56
629	Aranau	2001	2016	Acaraú	-2,82	-40,22
644	Trapia	2000	2016	Santa Quitéria	-4,19	-40,32

675	Raimundo Martins	2000	2016	Santa Quitéria	-4,65	-40,07
676	Betânia	2001	2016	Hidrolândia	-4,53	-40,32
682	América	2001	2016	Ipueiras	-4,44	-40,8

Fonte: Autor

As informações de evapotranspiração da bacia foram desconsideradas em consequência do efeito desprezível que esta variável tem em um período de simulação pequeno, em razão da velocidade do evento e das magnitudes da precipitação e evapotranspiração em uma cheia (TUCCI, 2005 *apud* BRITO 2017).

### 3.5 MODELAGEM HIDROLÓGICA

O primeiro passo adotado no *software* HEC-HMS foi à elaboração do modelo, que consiste na ligação de elementos que representam a bacia hidrográfica, onde posteriormente cada elemento é alimentado com dados que descrevem as características de cada sub-bacia. Os componentes utilizados para modelagem foram:

a) O gerenciador do modelo de bacia

Nesse gerenciador informamos ao programa a configuração da bacia hidrográfica no componente *basin models*, com uma ou mais subbacias e suas respectivas características físicas (CAMPOS, 2009).

b) O gerenciador do modelo meteorológico

No modelo meteorológico introduzimos os dados relativos às formas da chuva no componente *Meteorologic Models* (CAMPOS, 2009).

c) O gerenciador das especificações de controle

Neste gerenciar inseriu-se: a hora de início e do final dos cálculos dos processos hidrológicos e o intervalo de tempo a ser utilizado nos cálculos. Faz-se necessário especificar um intervalo de tempo maior do que o da chuva (*Control Specifications*) para permitir que toda a bacia possa contribuir no exutório, possibilitando a análise da recessão. O intervalo de cálculo (*Time Interval*) determina ao programa o intervalo a ser usado nos cálculos do hidrograma (CAMPOS, 2009).

d) O gerenciador dos dados das séries temporais

Nesse gerenciador informamos ao programa os dados das estações pluviométricas, estações fluviométricas, estações de níveis, evaporimétricas e outras em *Times-Series-Date*. É necessário que essas estações estejam associadas aos processos hidrológicos colocados nos outros gerenciadores (CAMPOS, 2009). Utilizamos os valores de precipitação horária desagregadas por Taborga com intervalos de 15 mim em cada bloco.

e) O gerenciador dos dados em pares

Nesse gerenciador informamos ao programa dados como curvas cota x volume de reservatórios, curvas cota x vazão, curvas dos hidrogramas unitários quando fornecidos pelo usuário e outros (CAMPOS, 2009). Os valores utilizados de Cota-Área-Volume estão no ANEXO 2.

Levaram-se como regra básica para a modelagem hidrológica princípios que regem a dinâmica do modelo, destacando assim, os seguintes componentes de entrada no HEC-HMS, o componente *basin model*, responsável pela definição dos aspectos físicos da bacia. Cada sub-bacia deve ser ligada a um elemento (*reach* ou *junction*), e assim também devem ser definidos os métodos de perda (*loss*) e de transformação da precipitação em vazão (*transform*), e a sua área de drenagem (CONORATH et al., 2012).

O método de perda utilizado foi o *Curce Number Loss*, ANEXO 1, e para a determinação da transformação de chuva em vazão, foi utilizado o método *SCS Unit Hydrograph*. Este consiste em uma aproximação de dados observados em pequenas bacias hidrográficas, onde foi elaborado um hidrograma de aplicação geral. Esse método utiliza como parâmetro de entrada o *Lag Time (Tlag)* de cada sub-bacia, que é o tempo que a água após ser precipitada, demora para alcançar o exutório da mesma (HEC-HMS, 2010). O valor de Tlag é obtido pela Equação 1:

$$Tlag = 0,6Tc \quad (1)$$

Onde Tc é tempo de concentração (min)

Para cálculo do Tc utilizou-se, baseando-se na área das Subbacias, o método de Temez (1978) e LNEC (1995). Esse método é recomendado pelo Instituto de Estradas de Portugal (IEP). É um método muito testado nas bacias hidrográficas da Espanha e é recomendado para bacias naturais de área até 3000km<sup>2</sup>. Ele relaciona o tempo de concentração à declividade média da bacia (S) e o comprimento percorrido pela gota de água mais distante (L) Eq.2:

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (2)$$

Após a determinação dos parâmetros de cada sub-bacia, deve-se fazer o mesmo para cada canal (*reach*), que é a ligação entre as sub-bacias. O canal é o que recebe a vazão de uma sub-bacia ou da junção (*junction*) de duas sub-bacias/canais. O programa disponibiliza alguns modelos de escoamento, que levam em conta diferentes métodos de amortecimento (*routing method*). Para o estudo em questão foi utilizado o Modelo Muskingun.

Nesta fase da modelagem, o software agrega todos os modelos sintetizados (*basin, meteorologic, control specifications, paired date*) a fim de executar as simulações de vazão propostas pelo usuário através dos dados inseridos. Assim, o HEC-HMS gera diversos resultados na forma de tabelas e gráficos, das seguintes variáveis: precipitação, perda por infiltração, escoamento superficial e vazão, com escalas temporais de até uma hora. Sendo que esses valores são atribuídos para cada elemento da bacia hidrográfica (*subbasin, junction e reach*).

Utilizou-se os dados disponibilizados no site da FUNCEME referentes a vazão das subbacias do Rio Acaraú, como mostra na Tabela 3, para calibração do HEC-HMS. Após a inserção dos dados de séries temporais, definição das características físicas da bacia hidrográfica, seleção do métodos de cálculo da precipitação na bacia, definição das especificações de controle no software, obteve-se os dados Calculados pelo HEC e comparou-os aos valores de Afluente e Efluente da FUNCEME.

### 3.6 MODELAGEM HIDRÁULICA

O caminhamento de cheias em rios, canais e reservatórios é um processo hidrológico no qual se dá o fenômeno da difusão, e resulta em atenuação das vazões de pico dos hidrogramas. Esse processo está muito presente na prática da Engenharia Hidrológica em estudos de reservatórios, de planícies de inundação, de diques de proteção e de estruturas em sistemas urbanos (CAMPOS, 2009)

O processo de propagação de vazão em cursos de água é geralmente representado com a utilização de um conjunto de duas equações, conhecidas como equações de Saint-Venant, ou equações de escoamento não permanente unidimensional. Os cálculos de propagação de ondas de cheias em rios são, normalmente, realizados utilizando soluções numéricas das equações de Saint-Venant ou equações de escoamento não permanente unidimensional (FAN et al., 2014).

Em modelos hidrológicos de transformação chuva-vazão que representam além do escoamento nos rios, os demais processos do ciclo hidrológico, é comum a utilização de técnicas simplificadas para representar a propagação de cheias em rios. Dos métodos de propagação estão

entre os mais utilizados o de onda cinemática e o método Muskingum-Cunge (FAN et al., 2014). Este último método será utilizado para a propagação na Bacia do Acaraú.

O modelo Muskingum-Cunge utiliza uma combinação da equação da continuidade com uma equação simplificada que relaciona o armazenamento com as vazões de entrada e de saída do sistema. Este consiste em assumir que uma ponderação entre a vazão de entrada e a vazão de saída é válida para representar a variação do armazenamento em um trecho:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq \quad (3)$$

sendo Q a vazão, t o tempo, x à distância ao longo do canal, q a vazão lateral, c a celeridade da onda e  $\mu$  a difusividade hidráulica.

$$\mu \frac{Q}{2BS_0} \quad (4)$$

B denota a largura da superfície do canal, Q a vazão e  $S_0$  a declividade do leito.

$$Q_{j+1}^{n+1} = C_0 Q_j^n + C_1 Q_j^{n+1} + C_2 Q_{j+1}^n + C_3 Q_L \quad (5)$$

$$C_0 = \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (7)$$

$$C_2 = \frac{2(1-X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (8)$$

$$C_3 = \frac{2\frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-X)} \quad (9)$$

O método Muskingum-Cunge é considerado uma solução aproximada da equação convectiva de difusão. Em consequência, o método incorpora os efeitos de atenuação de cheias. A solução da equação é feita por diferenças finitas.

Os parâmetros K e X consistem de valores de cálculo que são estimados a partir dos valores de vazão observados nos extremos de montante e jusante do trecho, o que nem sempre é conhecido.

O modelo Muskingum-Cunge permite contornar esse problema por meio de estimativas dos valores de  $K$  e  $X$  a partir das propriedades físicas do canal. Dessa forma, o software HEC-HMS recalcula-os para cada  $\Delta x$  e  $\Delta t$ . O software HEC-HMS calcula primeiramente o  $\Delta t$  como o mínimo dos seguintes valores: o valor especificado pelo usuário nas Control Specifications Manager para o passo temporal da modelagem; o tempo de percurso ao longo do trecho calculado; ou 1/20 do tempo de ascensão do hidrograma a montante do trecho (USACE, 2000).

### **3.7 PROPAGAÇÃO DE CHEIA EM RESERVATÓRIOS**

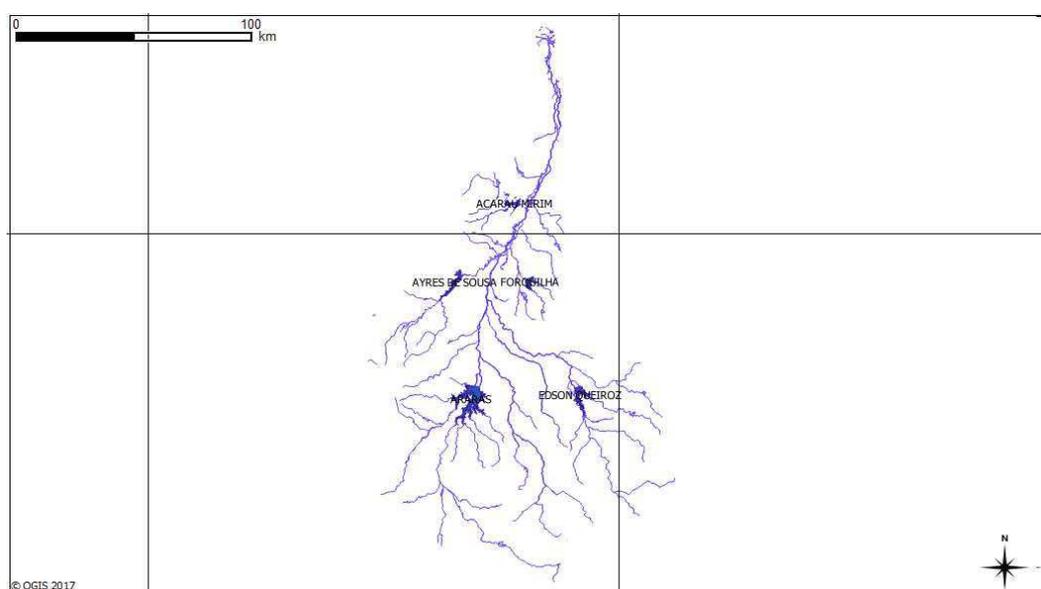
Após ou durante uma precipitação, em um evento de cheia, ocorre o deslocamento da onda de cheia no sentido da montante para jusante. Para esse deslocamento do hidrograma de cheia dá-se o nome de propagação. Durante este fenômeno ocorre o aumento do tempo de base e a diminuição da vazão máxima. Diz-se então que o hidrograma sofre um amortecimento, o mesmo é influenciado pelas características físicas do curso d'água, que são principalmente a capacidade de armazenamento, largura, profundidade e declividade dos cursos d'água (MARINS, 2004).

Segundo Tucci (*apud* Marins 2004), as séries hidrológicas de vazão são fundamentais para o estudo de propagação. No entanto, os modelos chuva-vazão pode estimar diferentes cenários das bacias hidrográficas e prever a ocorrência de cheias através da simulação do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão.

#### 4. RESULTADOS

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e suas ramificações. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Conforme localizou-se a Bacia do rio Acaraú, obteve-se a rede de drenagem dos reservatórios em questão e traçou-se a bacia, conforme demonstrado na Figura 23.

**Figura 23** - Reservatórios e Rios da Bacia do Acaraú



Fonte: Autor

A determinação dos dados confiáveis de uma bacia hidrográfica, no que diz respeito à informações preliminares para obtenção de dados refinados para uso em softwares, programas de previsão ou caracterização, é o maior desafio. Apesar do grande número de instituições responsáveis por compilar dados, caracterizar bacias e criar banco de dados de informações coerente e pertinentes, observou-se que o armazenamento desses dados, bem como a sua disposição, ocorre de maneira desorganizada e de difícil acesso. Em outras situações, observou-se que os dados divergiam em valores, o que dificultou mais ainda a definição da veracidade dos mesmos.

Para caracterizar uma bacia hidrográfica, bem como a rede de reservatórios e rios que compunham essa bacia, dados pertinentes como largura do rio principal, comprimento do rio principal, dimensionamento dos reservatório e das barragens, tipo de solo, uso e ocupação do solo,

precipitação, evapotranspiração, são de suma importância, visto que descrevem o tipo de bacia e seu comportamento quanto a escoamento, tempo de concentração, etc.

**Tabela 2-** Dados da Bacia

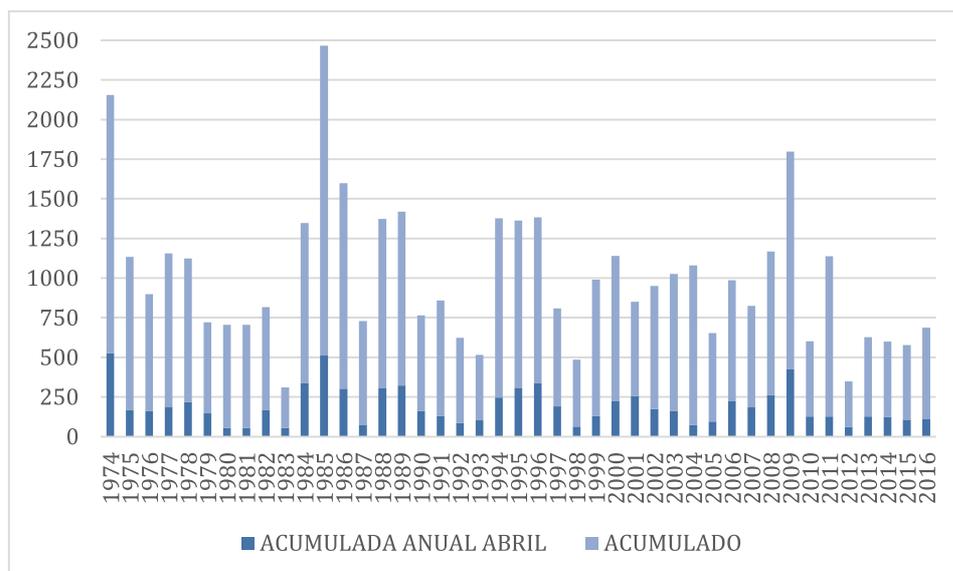
Dados	
Área da bacia (km <sup>2</sup> )	14423
Perímetro da bacia (km)	787,60
Comprimento da bacia paralelo ao rio principal (km)	320
Coefficiente de compacidade (K <sub>c</sub> )	1,85
Fator de forma (K <sub>f</sub> )	0,15

Fonte: Autor

A bacia hidrográfica do Acaraú é uma das maiores do estado do Ceará em área, ficando em quarto lugar, depois da bacia do Alto Jaguaribe, do Banabuiú e a Metropolitana de Fortaleza.

De acordo com os resultados, observa-se no Tabela 2 que os valores de coeficiente de compacidade e fator de forma são 1,85 e 0,15 respectivamente. Esses resultados indicam de acordo com a literatura uma área não muito sujeita a enchente, pois o  $K_c > 1,3$  e o  $K_f < 0,7$ , o que indicam que a bacia possui uma área alongada.

**Gráfico 1 -** Série de precipitação anual dos postos pluviométricos da bacia do Rio Acaraú.



Fonte: Autor

A precipitação máxima da região da Bacia do Rio Acaraú varia entre 500 mm e 1300 mm ao ano. Através da comparação entre as precipitações acumuladas dos anos de 1974 a 2006, Gráfico 1, observa-se um ciclo hidrológico que se repete, períodos de grande precipitação anual e períodos de baixa precipitação anual. Em marrom destaca-se a precipitação acumulada da região para o mês de abril de cada ano. Observa-se que os anos de 1974, 1985, 1986 e 2009 foram anos atípicos, nos quais a precipitação acumulada superou a média da região. Para os meses de abril podemos chegar à mesma conclusão, onde observamos uma precipitação considerável, diferente dos outros anos, chegando em 1974 e 1985 a 500 mm, e em 2009 uma precipitação que se aproxima deste valor.

No entanto, com relação ao ano de 1985, não há registros de enchentes na região, apesar de ser verificado através da série histórica de precipitação que foi o ano com maior pluviosidade. Esse fator pode ter se dado devido a erro nos dados de medição pluviométrica. Ou as chuvas ocorreram de forma mais esparsa que nos outros anos. A quantidade de chuva não é o único fator determinante da enchentes a intensidade das chuvas também é importante. Caso as chuvas ocorram em uma intensidade a qual a rede de drenagem e a porosidade do solo consigam dar vazão ao volume de chuvas a incidência de enchentes será menor.

Segundo dados do Plano de Gerenciamento das águas da Bacia do Acaraú, embora, quanto ao volume total escoado no primeiro semestre do ano, 2004 tenha sido um ano considerado normal, nesse ano específico, houve uma concentração das chuvas durante curtos espaços de tempo, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, saturando o solo e ocasionando grandes picos de cheia.

**Tabela 3** – Dados de calibração da vazão no HEC-HMS para a precipitação máxima de Abril de 2009.

<b>Açude</b>	<b>Período</b>	<b>Cota(m)</b>	<b>Afluente Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Efluente Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Calculados no HEC-HMS Afluente Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Calculados no HEC-HMS Efluente Máximo (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>EDSON QUEIROZ</b>	04/2009	201.60	275.24	144.81	532,8	439,3
<b>ARARAS</b>		154.42	1,041.93	821.33	984,8	734,1
<b>AYRES DE SOUZA</b>		96.22	289.88	223.28	178,9	97,6

<b>ACARAU MIRIM</b>		115.43	25.19	30.56	34	27,1
<b>FORQUIL HA</b>		112.67	49.34	40.55	45,8	43,9

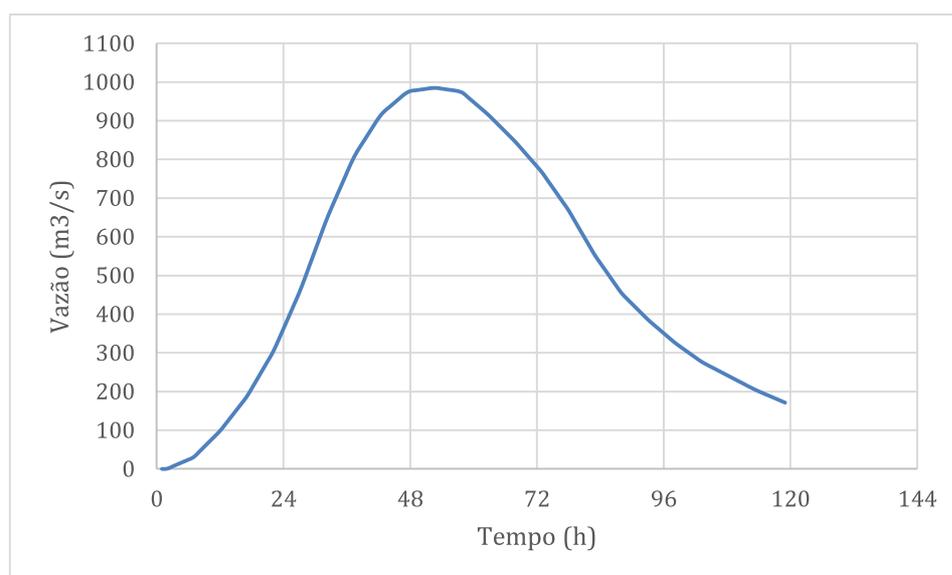
Fonte: Adaptado [http://www.funceme.br/produtos/script/acudes\\_e\\_rios/Sistema\\_alerta\\_acarau/](http://www.funceme.br/produtos/script/acudes_e_rios/Sistema_alerta_acarau/)

Observa-se que o software superestimou os valores da subbacia do Edson Queiroz, fazendo com que a propagação da mesma influenciasse mais do que o real na enchente do estudo. Em contrapartida os valores para a subbacia Ayres de Souza se mostraram significativamente inferiores aos valores disponibilizados para calibração. Para as outras três subbacias, consideramos que o programa foi de acordo com o esperado do valor real.

Neste sentido, entende-se que a precisão dos dados para calibração de softwares ou programas computacionais utilizados para previsões, é de suma importância. Principalmente no que diz respeito a uma bacia hidrográfica grande, como a em questão, onde os valores são acentuados e produzem impactos significativos no modelo.

O resultado dos Hidrogramas Finais a partir do software HEC-HMS estão dispostos nos Gráficos de 2 a 6. A translação é um processo cinemático no qual os elementos de água se movimentam em uma bacia hidrográfica, todos com a mesma velocidade, o que significa que a hidrógrafa translada-se sem modificação da sua forma.

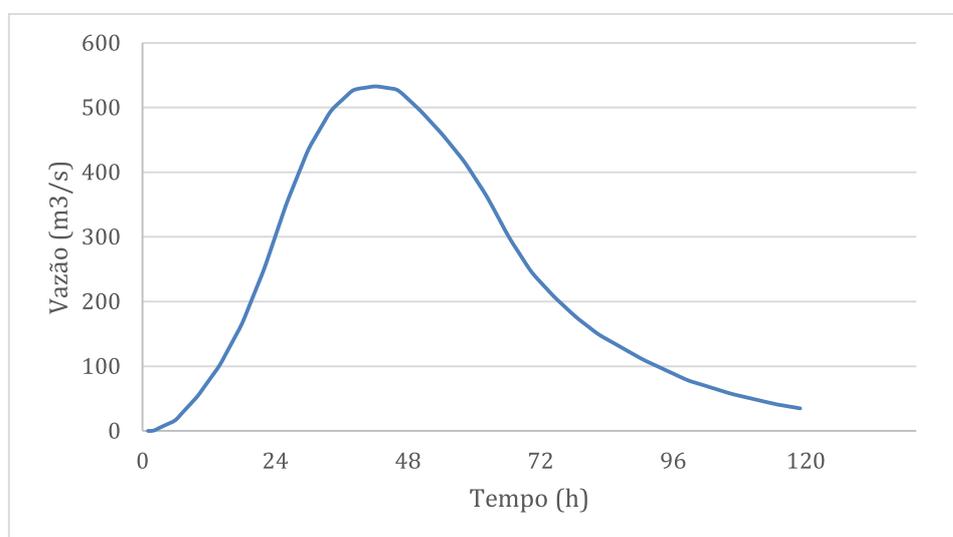
**Gráfico 2 - Hidrograma Final da Subbacia Araras.**



Fonte: Autor

O Gráfico 2 descreve o comportamento da vazão do Reservatório Araras. Observa-se que no tempo igual a zero a vazão inicial também é zero e a mesma cresce até atingir uma vazão de pico correspondente a 984,8 m<sup>3</sup>/s com um tempo de pico de 50 horas aproximadamente, ou seja, dois dias. A partir do Hidrograma da Subbacia Araras pode-se verificar o comportamento do escoamento dessa subbacia. Utilizou-se o Método SCS no HEC-HMS com o valor de precipitação de 21,04mm/h. O tempo do hidrograma chega a 120h. Esses valores de chuva-vazão, são calculados pelo software a partir dos dados de caracterização da subbacia inseridos inicialmente programa.

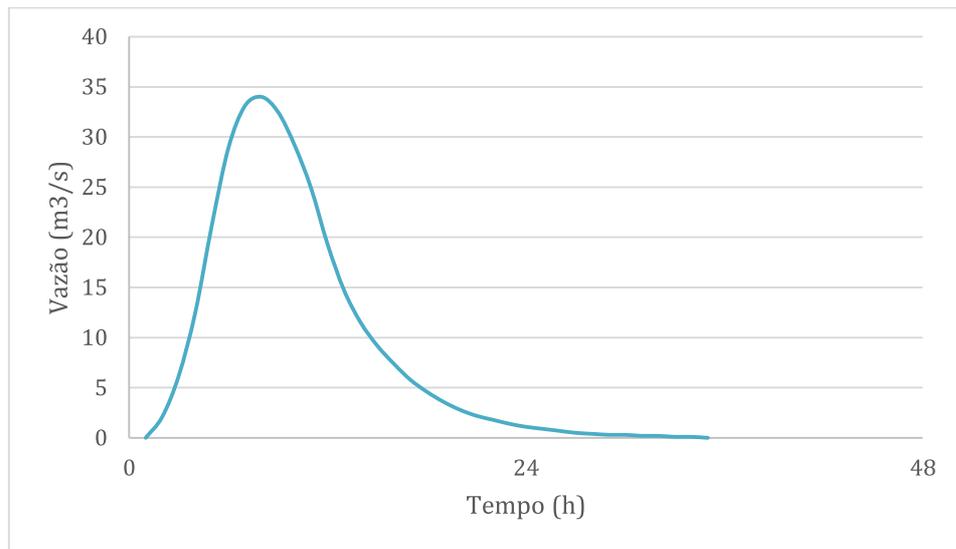
**Gráfico 3 - Hidrograma Final da Subbacia Edson Queiroz.**



Fonte: Autor

No Gráfico 3, referente a subbacia de Edson Queiroz, percebe-se um pico de vazão que ultrapassa 500m<sup>3</sup>/s no tempo de pico de quase 48 horas. Esse valor está superestimado, visto que não se aproxima dos dados fornecidos pela FUNCEME deste mesmo período, Abril/2009. Pode-se julgar esse erro o fato dos dados de caracterização da subbacia não terem sido tão refinados. A dificuldade quanto a disponibilidade de dados confiáveis fazem com que a calibração de determinados eventos não sejam adequados, fornecendo valores que extrapolam os reais. Para o calculo chuva-vazão utilizou-se a precipitação horária de 21,23mm.

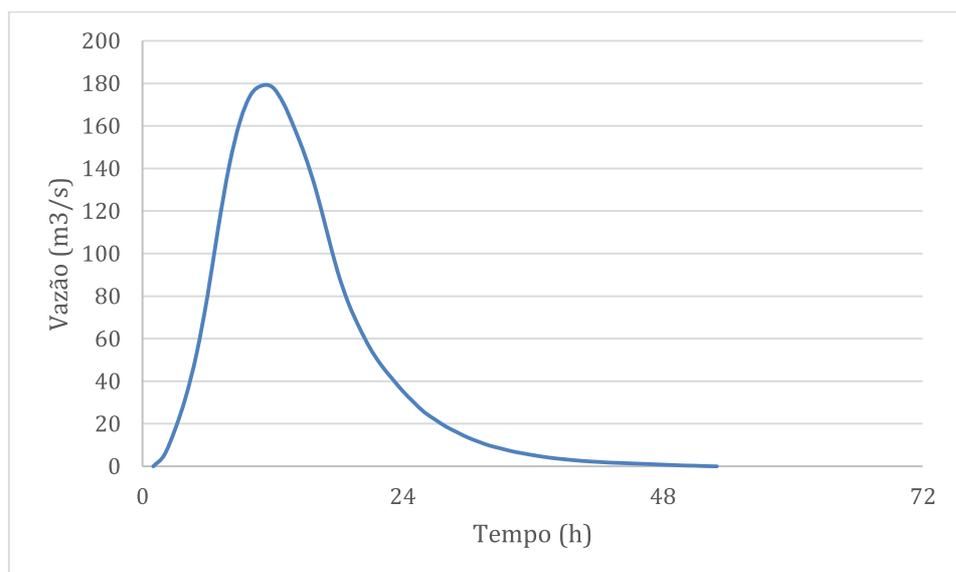
**Gráfico 4 - Hidrograma Final da Subbacia Acaraú Mirim.**



Fonte: Autor

O Gráfico 4 da subbacia do Acaraú Mirim se mostra com valores razoáveis e esperados. Com valores próximos dos fornecidos pela FUNCEME (Tabela 3), é possível constatar a confiabilidade dos dados e da calibração. Os valores de vazão de pico e de tempo de duração chegam a  $35\text{m}^3/\text{s}$  e um pouco mais de 24h, respectivamente. O valor horário de precipitação utilizado para o cálculo de transformação chuva-vazão foi de 15,93mm.

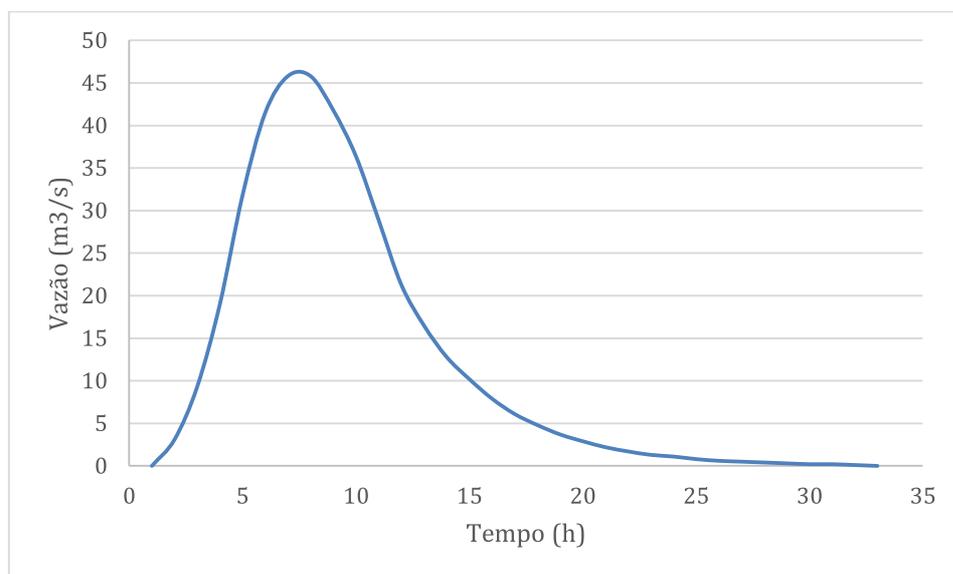
**Gráfico 5 - Hidrograma Final da Subbacia Ayres de Souza.**



Fonte: Autor

O Gráfico 5, da subbacia do Ayres de Souza, da mesma forma como no hidrograma anterior, do Acaraú Mirim, observa-se dados razoáveis e que podem ser considerados pertinentes para a subbacia Ayres de Souza. Das cinco bacias estudada ela é a que está em terceiro lugar no que se diz respeito a dimensão e influência na bacia do Acaraú. O pico de vazão, de acordo com o hidrograma chega a  $180\text{m}^3/\text{s}$  e um tempo de duração de 48 horas. E o valor de precipitação utilizado para o cálculo do hidrograma foi de 24,65mm.

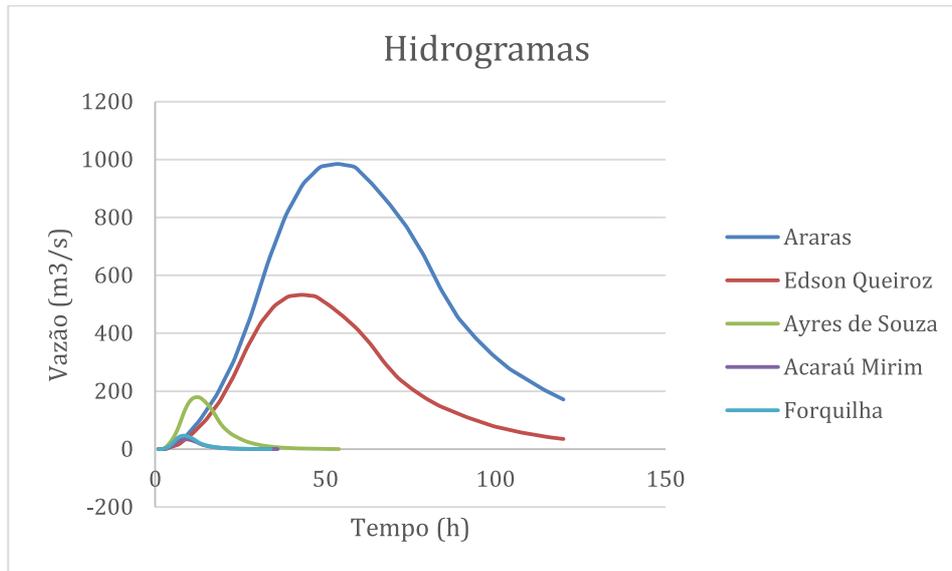
**Gráfico 6 - Hidrograma Final da Subbacia Forquilha.**



Fonte: Autor

O Gráfico 6 da subbacia de Forquilha, uma das menores da bacia do Acaraú, demonstra, entretanto, grande influência na bacia. A perenização do rio Acaraú se dá devido a vazão que chega no mesmo decorrente das subbacias (reservatórios) da região. O pico de vazão chega a  $45\text{m}^3/\text{s}$  com uma duração significativa de 20 horas aproximadamente. Para o cálculo de transformação de chuva-vazão foi utilizado o valor de 24,09 mm de precipitação.

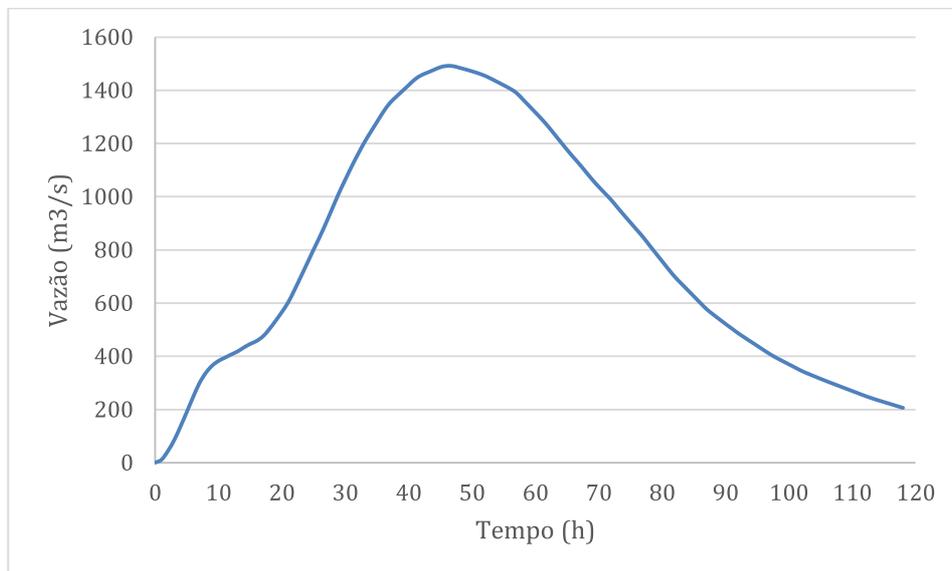
**Gráfico 7- Hidrogramas Finais de Influência**



Fonte: Autor

O Gráfico 7 apresenta influência de cada hidrograma baseado principalmente no período de escoamento e na sua vazão máxima. Observa-se que a subbacia do Araras é a mais influente na região, visto também que é a maior.

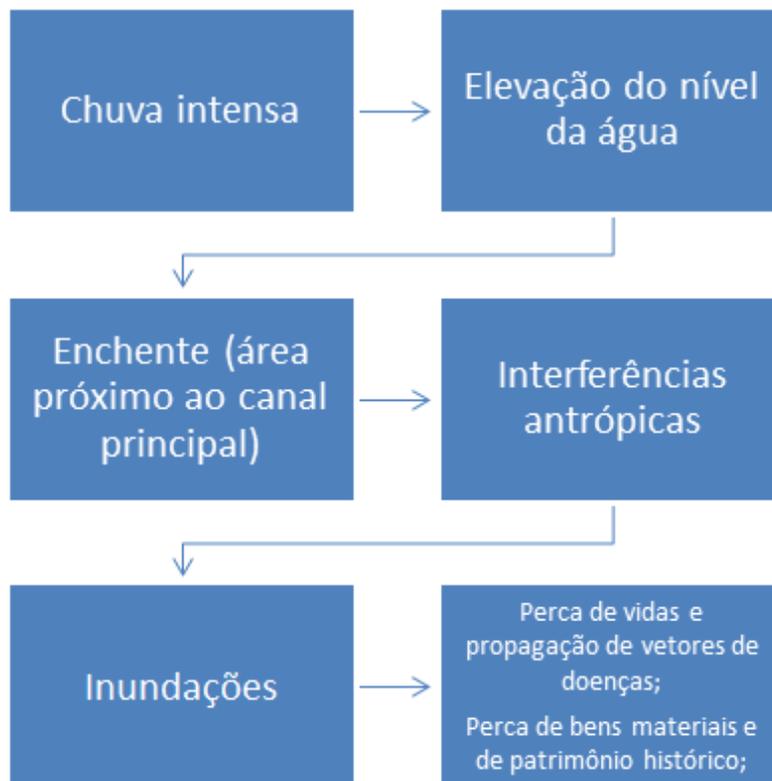
**Gráfico 8 - Hidrograma Final Resultante**



O Hidrograma Final Resultante, como mostrado no Gráfico 8, possui um escoamento de 120h, ou seja, um escoamento de aproximadamente 5 (cinco) dias com uma vazão de pico de 1500 m³/s. Este Hidrograma representa a influência da somatória das vazões de cada subbacia, bem como descreve o escoamento desse acumulado.

## 4.1 DISCUSSÕES

**Figura 24** - Diagrama de influência de chuvas intensas em áreas urbanas.



Fonte: Autor

A Figura 24 descreve os efeitos de um evento extremo de chuvas intensas. Observa-se que a elevação do nível da água não deve ser um fator preponderante para um evento de inundação. É comum em períodos de chuva que esse nível aumente, bem como alcance uma marca de cheia em torno do canal, ou áreas próximas ao mesmo, que podem ser consideradas aceitáveis.

Entretanto, quando associamos esses eventos a interferências antrópicas, observa-se que o mesmo tende a ter efeitos de inundação, ou seja, enchentes além de um limite aceitável como natural. Os riscos passam então a ser eminentes, podendo causar, como descritos no último quadro da Figura 24, sérias consequências e danos a população.

O estudo de propagação de cheia oferece uma alternativa para previsão, e consequentemente prevenção, de eventos extremos associados a chuvas intensas. O *software* HEC-HMS tem ferramentas que possibilitam este estudo, de uma maneira simples, visto que o programa é gratuito e tem fácil

manuseio, sendo disponibilizados tanto recursos para cálculos de propagação que requerem poucos dados e de fácil acesso, quanto recursos para cálculos mais precisos. No entanto, a precisão dos dados de previsão está associada principalmente a dados refinados, visto que, quanto maior o número de informações disponibilizadas e utilizadas no HEC, o mesmo retornará informações mais precisas e confiáveis.

## 5. CONCLUSÕES

Uma das principais problemáticas quanto aos eventos de cheia que ocorrem nas cidades dos Ceará, e em geral em cidades com clima semiárido e pouca estação chuvosa, é que durante o período da seca a população se aglomera próxima aos rios em busca de água, fazendo com que as áreas ribeirinhas sejam preenchidas por famílias. Após o períodos de estiagem e o retorno dos período das chuvas, o extremo muda, pois agora a população se vê afetada pela vazão dos rios e conseqüentemente o transbordamento dos canais afetando as margens que agora estão ocupadas por famílias.

Em 2004 houve na região da bacia do Acaraú inundações devido as altas precipitações que aumentaram a vazão dos reservatórios e conseqüentemente a vazão do Rio Acaraú. O mesmo ocorreu no ano de 2009, onde tivemos chuvas severas na região que afetaram tanto famílias ribeirinhas como locais mais afastados da margem do rio.

Apesar do Nordeste ser caracterizado pela seca é de suma importância analisarmos o ciclo hidrológico natural como um todo, pois também é possível observar eventos extremos de cheias. Tanto quanto um período severo de estiagem, os desastres causados por eventos com chuvas severas no Ceará tem causado impactos significativo tanto na população quanto na economia local. Conclui-se que é necessário, principalmente por parte do poder público e órgãos responsáveis, estudos voltados à previsão de desastres causados por eventos de chuvas intensas, bem como, investimento quanto a alertas de cheias buscando prevenir principalmente a população quanto a riscos de morte.

É importante ressaltar que todo rio passa por enchente e que nem toda inundação está associada a catástrofes. No entanto, quando ocorre o transbordamento do canal principal e o mesmo está associada a interferência antrópica o efeito da inundação podem trazer conseqüências econômicas e sociais drásticas.

O trabalho realizado permitiu caracterizar de forma geral um evento de cheias na bacia hidrográfica do rio Acaraú, no norte do estado do Ceará. A modelação hidrológica tem provado ser uma ferramenta útil na elaboração de planos de proteção e minimização do risco de cheias. Por outro lado, é imprescindível destacar que a modelação hidráulica, componente que complementa a modelação hidrológica no estudo de cheias, não foi elaborada devido à falta de dados disponíveis. Neste sentido o resultado deste trabalho é relevante quanto a sua contribuição para o conhecimento do risco de cheia. Traz também a perspectiva do uso do modelo pode ser facilmente adaptado para uma análise com maior detalhe no futuro.

## REFERÊNCIAS

ANGELOCCI, L. R.; CÉSAR, P.; VARIABILIDADE, ANOMALIA E MUDANÇA CLIMÁTICA. Sentelhas Material didático da disciplina LCE306 -Meteorologia Agrícola - Turmas 1,4,5 e 6 Departamento. de Ciências Exatas- setor de Agrometeorologia - ESAL/USP - 2007.

BARBOSA, F. D. A. D. R.; Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB/Francisco de Assis dos Reis Barbosa. João Pessoa, 116p. 2006.

BRASIL. DECRETO N. ° 9369/88. Código de Instalações Prediais de água e esgoto. Porto Alegre, RS, 03 Mar de 2004. Disponível em: [http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu\\_doc/cip9369-decreto.pdf](http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf). Acesso em: 7 de nov de 2017.

BRITO, T. R. D. R. L. D.; Modelagem hidrológica e hidráulica a partir de dados TRMM aplicada a análise de risco em áreas inundáveis: estudo de caso no município de Atalaia / Tainara Ramos da Rocha Lins de Brito. – 2017.

BUCHIANERI, V.C. Geração da série histórica de vazão por meio do modelo SMAP: subsídio para o plano de manejo da bacia do Rio Grande de Ubatuba. Piracicaba, 2004. 124p. Dissertação (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"). Universidade de São Paulo. 2004.

CABRAL, S. L.; CAMPOS, J. N. B.; TEIXEIRA, F. A. A.; SILVEIRA, C. S. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no Mapeamento de área de Inundação Urbana: aplicação à bacia do rio Granjeiro-CE. Geociências (São Paulo. Online), v. 35, p. 90-101, 2016.

CAMPOS, J. N. B. Lições em modelos e simulação hidrológica. Fortaleza: ASTEF/EXPRESSÃO GRÁFICA, 2009. 166p.

CAMPOS, N; STUDART, T. Gestão das águas: princípios e práticas. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da bacia do Acaraú / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza : INESP, 2009. 128p. : il. – (Coleção Cadernos Regionais do Pacto das Águas, v. 1)

COGERH. Programa de gerenciamento das águas territoriais. Fortaleza, 2001. Boletim técnico, Convênio COGERH/DNOCS.

\_\_\_\_\_. Estudos de regionalização de parâmetros de modelo hidrológico chuva-vazão, para as bacias totais e incrementais dos reservatórios monitorados pela COGERH. 2013. 24p.

CONORATH, G. D. ; OLIVEIRA, F.H. ; BERTONCINI, A. L. S. ; SANTO, M. A. D. . O Modelo Hidrológico HEC-HMS como Ferramenta ao Planejamento Urbano. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 2012, Belo Horizonte. Anais do XVII Encontro Nacional de Geógrafos, 2012.

DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. . Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br>. Acesso em: 9 de junho de. 2017.

ESTADÃO; Jornal o Estadão. Publicado em 05 Maio 2009 | 17h19. Disponível em <http://brasil.estadao.com.br/noticias/geral,nordeste-sofre-com-enchentes-e-sul-enfrenta-seca,365866>. Acessado no dia 06 de dez de 2017.

FIGUEIREDO, A. P. S.; Determinação da Mancha de Inundação do Município de Itajubá na Enchente de Janeiro / 2000. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1791 - 1794.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. D.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. D. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C.; Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. Artigo Técnico. Eng. sanit. ambient. Vulnerabilidade de reservatórios à eutrofização Vol.12 - Nº 4 - out/dez 2007, 399-409

KAISER, I. M.; Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos. São Carlos, 2006. 2v. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2006.

LEITÃO, F. T. P.; Modelagem Hidrológica Proposta de um Sistema Computacional Amigável para Modelagem Integrada de Processos Hidrológicos. Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Fortaleza – 2014

LIMA, G. C., SILVA, M. L. N., CURTI, N., SILVA, M. A. D., OLIVEIRA, A. H., AVANZI, J. C., FREITAS, D. A. F. D. Estimativa do potencial de recarga na sub-bacia das posses, extrema (mg), em

função dos atributos fisiográficos, pedológicos e topográficos. *Geociências*. (São Paulo), São Paulo, v. 32, n. 1, 2013.

LNEC. *Curso sobre drenagem de águas superficiais em vias de comunicação*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 16 e 17 de fevereiro, 1995.

MARINS, P. A.; Simulação Hidrológica do Reservatório do Vacacaí-Mirim/Santa Maria - RS utilizando o sistema IPHS1. Santa Maria – RS 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. 2004

MATOS, R. A.; Estudo de Caso sobre o Processo de Planejamento, Implantação e Controle dos Procedimentos Construtivos decorrentes do Sistema de Drenagem Urbana na Rua Leonildes Coelho do Município de São José - SC / por Remi Antonio Matos – Lages, Santa Catarina, 2014. 71 f.; 29 cm.

MEIRA NETO, A. A.; Ponderação bayesiana de modelos utilizando diferentes séries de precipitação aplicada à simulação chuva-vazão na Bacia do Ribeirão da Onça. São Carlos, São Paulo, 2013.

MELO, M. do S. de S., et. al. Estratégias adotadas pela secretaria da saúde e ação social

MONTEIRO, N. V. A.; AGUIAR NETO, R. A.; LIMA, J. W. S. d.; PAULA, D. P. D.; IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO A INUNDAÇÕES E ENCHENTES NA CIDADE DE SOBRAL, CEARÁ. *Revista Equador (UFPI)*, Vol. 5, Nº 4 (Edição Especial 3), 2016. p 2 - 22. Disponível em: <http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>.

REIS, J. B. C. D.; Monitoramento e alerta de inundação no Município de Itajubá (MG) através de modelos matemáticos. 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/755>

SILVA, E. R.; MODELAGEM INTEGRADA PARA CONTROLE DE CHEIAS, PREVISÃO E ALERTA DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO UNA EM PERNAMBUCO. Recife 2015.

SOUZA FILHO, F. A.; MOURA, A. D. Memórias do Seminário Natureza e Sociedade nos Semi-Áridos. 1. ed. Fortaleza: Fortaleza Banco do Nordeste do Brasil/Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2006.

TEMEZ, J.R. *Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales*. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12, 1978.

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas, Rio de Janeiro: Transcom, 1975, 120p.

TUCCI, C. E. M.; (Org.). Hidrologia – Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS/ Coleção ABRH Volume 4, 3a Edição, 2004. 943 p.

\_\_\_\_\_. Águas urbanas. estudos avançados 22 (63), p. 104. 2008.

USACE – HMS-Hydrologic Modeling System: Technical Reference Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2000, 157p.

\_\_\_\_\_. HMS-Hydrologic Modeling System: User's Manual, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2010, 157p.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – Valores de CN

Aguda	CN	Aguda	CN	Aguda	CN
Acarape do Melo	88,9	Forquilha	82,2	Premuoca	90,4
Acarau Mirim	85,4	Forquilha II	90,0	Quando	91,8
Adauto Bezerra	89,4	Frios	81,4	Quincoê	78,1
Amanary	88,7	Gangorra	80,9	Quitxabinha	80,7
Angicos	82,8	Gavião	77,1	Quixeramobim	85,8
Araçoiaba	86,1	General Sampaio	84,4	Realço	62,7
Araras	83,4	Gomes	83,6	Riachão	66,7
Amelroz II	82,8	Itapebussu	89,4	Riacho do Sangue	87,0
Arebita	85,0	Itaúna	80,8	Rivaldo de Carvalho	90,5
Atalho	83,3	Jaburu I	67,3	Rosário	85,4
Ayres de Souza	83,6	Jaburu II	83,2	S. Ant. de Aracat.	82,9
Baraburú	84,7	Jatobá	84,0	S. Ant. de Russas	76,2
Barra Velha	82,2	Jenipapeiro	85,0	S. Maria de Aracat.	83,4
Benguê	74,6	Jerimum	82,2	S. Pedro Timbaúba	81,5
Bonito	86,2	Joaquim Távora	82,5	Salão	82,8
Cachoeira	77,9	Lima Campos	85,4	Santa Maria	83,4
Canafistula	82,6	Macacos	83,8	Santo Antônio	79,0
Canoas	78,2	Madeiro	91,0	São Domingos	77,0
Capitão Mor	86,8	Malcozinhado	67,4	São José I	77,0
Caracas	80,7	Manoel Balbino	85,1	São José II	83,2
Carão	83,6	Martinópolis	87,7	São Mateus	82,3
Carmina	85,2	Mons. Tabosa	87,6	São Vicente	86,0
Carnaubal	74,9	Mundaú	89,2	Serafim Dias	81,6
Castanhão	82,7	Muquém	84,7	Sítios Novos	80,8
Castro	84,1	Nova Floresta	88,9	Sobral	87,9
Catucinzenta	71,9	Olho d'Água	85,8	Souza	80,3
Gauhipe	85,6	Orós	82,7	Sucesso	79,9
Caxitoré	88,0	Pacajus	79,8	Tatajuba	76,7
Cedro	86,7	Pacoti	83,7	Tejuquoca	84,7
Cipoada	81,6	Parambu	75,7	Thomas Osteme	85,4
Colina	77,1	Patos	83,8	Tigre	88,4
Cupim	83,8	Patu	80,1	Trapiá I	84,6
Curral Velho	77,0	Pau Preto	76,4	Trapiá II	72,5
Desterro	90,0	Pedras Brancas	82,8	Trapiá III	82,4
Diamante	80,3	Penedo	90,1	Trici	85,0
Do Coronel	91,0	Pentecoste	82,8	Trussu	84,4
Edson Queiroz	82,8	Pesqueiro	87,8	Tucunduba	81,6
Ema	79,0	Pirabibu	84,8	Ubalzinho	81,5
Estrema	83,4	Poço da Pedra	79,6	Valério	76,3
Faé	84,4	Poço do Barro	82,4	Varzea da Volta	88,0
Fantas de Sousa	81,1	Poço Verde	85,4	Varzea do Bol	84,1
Favelas	85,8	Pompeu Sobrinho	85,9	Velão	82,5
Fior do Campo	83,3	Retretama	80,1		
Fogareiro	85,9	Prazeres	69,5		

Fonte: COGERH, 2013

**ANEXO 2 - Cota-Área-Volume**

<b>AÇUDE</b>	<b>CÓD_Cogerh</b>	<b>COTA</b>	<b>VOLUME (m³)</b>	<b>AREA (km²)</b>
<b>Acaraú Mirim</b>	1	100	0	0
		101	420.000	0,54
		102	1.120.000	0,85
		103	2.150.000	1,21
		104	3.590.000	1,66
		105	5.480.000	2,13
		106	7.860.000	2,62
		106,5	9.500.000	2,85
		107	11.000.000	3,07
		108	14.400.000	3,27
		109	18.400.000	4,1
		110	22.600.000	4,7
		111	27.400.000	5,3
		112	33.200.000	5,7
		113	39.200.000	6,1
		114	45.400.000	6,78
		<b>Araras</b>	31	119,4
120	64.000			0,1
121	150000			0,42
122	600000			0,74
123	1200000			1,06
124	1.900.000			1,38
125	3.728.000			1,7
126	5.200.000			2,3
127	7.800.000			2,9

		128	10.900.000	3,5
		129	15.500.000	4,17
		130	20.015.000	5,33
		131	25.900.000	6,49
		132	32.800.000	7,68
		133	41.200.000	9,283
		134	52.000.000	10,886
		135	64.164.000	12,49
		136	80.000.000	15,175
		137	98.800.000	17,86
		138	117.900.000	20,545
		139	138.000.000	23,23
		140	158.000.000	25,915
		141	187.000.000	28,8
		142	215.000.000	32,44
		143	248.000.000	36,28
		144	288.000.000	40,12
		145	334.200.000	44,53
		146	392.400.000	48,94
		147	444.600.000	53,35
		148	502.000.000	59,903
		149	563.000.000	66,451
		150	629.094.000	73
		151	713.800.000	80,666
		152	789.875.000	88,332
		153	891.000.000	96
		154	970.000.000	104
		155	1.080.000.000	112,5
<b>Ayres de Sousa</b>	49	70,11	0	0
		70,5	4	2,88E-05
		71	42	0,00013

	71,5	139	0,000266
	72	451	0,00138
	72,5	2.302	0,006788
	73	7.525	0,014755
	73,5	17.498	0,025296
	74	33.226	0,038284
	74,5	56.945	0,057622
	75	91.854	0,083256
	75,5	142.896	0,122041
	76	215.445	0,170293
	76,5	317.230	0,237209
	77	457.688	0,325991
	77,5	648.048	0,439016
	78	902.924	0,597407
	78,5	1.251.872	0,785649
	79	1.703.196	0,996959
	79,5	2.265.118	1,248932
	80	2.967.691	1,547852
	80,5	3.832.218	1,882235
	81	4.861.276	2,210786
	81,5	6.056.576	2,552062
	82	7.419.856	2,884179
	82,5	8.948.893	3,216657
	83	10.644.130	3,539679
	83,5	12.492.266	3,83968
	84	14.486.369	4,131582
	84,5	16.629.233	4,428226
	85	18.925.025	4,743063
	85,5	21.390.115	5,056324
	86	23.986.228	5,357069
	86,5	26.742.334	5,673474

		87	29.664.094	6,004637
		87,5	32.754.697	6,347273
		88	36.027.166	6,697912
		88,5	39.459.667	6,997302
		89	43.044.449	7,330138
		89,5	46.773.798	7,581497
		90	50.625.833	7,826457
		90,11	51.489.700	7,880199
		90,5	54.700.000	8,22
		91	59.000.000	8,5
		91,5	63.300.000	8,8
		92	67.700.000	9,07
		92,5	72.200.000	9,35
		93	77.000.000	9,6
		93,5	82.000.000	9,85
		94	86.700.000	10,08
		94,5	91.900.000	10,28
		95	96.800.000	10,49
		96	107.000.000	10,83
		97	118.000.000	11,2
<b>Edson Queiroz</b>	5	175	0	0
		180	8.900.000	2,256
		185	27.700.000	5,256
		190	63.600.000	9,088
		195	125.000.000	15,472
		200	221.900.000	23,156
		201	254.000.000	24,86
		205	385.572.001	31,67293
<b>Forquilha</b>	51	98	0	0
		99	30.000	0,04
		100	120.000	0,13

	101	440.000	0,5
	102	1.130.000	0,84
	103	2.350.000	1,5
	104	4.250.000	2,12
	105	6.810.000	2,9
	106	10.170.000	3,75
	107	14.390.000	4,57
	108	19.490.000	5,47
	109	25.520.000	6,4
	110	32.430.000	7,25
	111	40.170.000	8,07
	112	50.130.000	9,23
	113	60.500.000	10,15

Fonte: [http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/graficos.php?cd\\_acude=47&status=1&objeto=acudes](http://atlas.srh.ce.gov.br/infra-estrutura/graficos.php?cd_acude=47&status=1&objeto=acudes)