



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO ENGENHARIA CIVIL

MARIA ALICE BRITTO FEITOZA

MODELAGEM APLICADA AO PLANEJAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS:  
APRIMORAMENTO DE MODELO CONCEITUAL CHUVA-VAZÃO CONCENTRADO.

CARUARU

2019

MARIA ALICE BRITTO FEITOZA

MODELAGEM APLICADA AO PLANEJAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS:  
APRIMORAMENTO DE MODELO CONCEITUAL CHUVA-VAZÃO CONCENTRADO.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) elaborado  
como requisito parcial para conclusão do Curso de  
Engenharia Civil, Centro Acadêmico do Agreste -  
CAA, Universidade Federal de Pernambuco.

Área de concentração: Recursos Hídricos

**Orientador:** Prof. Dr. José Almir Cirilo

CARUARU

2019

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Simone Xavier - CRB/4 - 1242

F311m Feitoza, Maria Alice Britto.  
Modelagem aplicada ao planejamento dos recursos hídricos: aprimoramento de modelo conceitual chuva-Vazão concentrado. / Maria Alice Britto Feitoza. – 2019. 82 f. il. : 30 cm.

Orientador: José Almir Cirilo.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019.  
Inclui Referências.

1. Recursos hídricos. 2. Capibaribe, Rio (PE). 3. Bacias hidrográficas. 4. Engenharia hidráulica. I. Cirilo, José Almir (Orientador). II. Título.

CDD 620 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-001)

MARIA ALICE BRITTO FEITOZA

**MODELAGEM APLICADA AO PLANEJAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS:  
APRIMORAMENTO DE MODELO CONCEITUAL CHUVA-VAZÃO  
CONCENTRADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia Civil do Centro  
Acadêmico do Agreste - CAA, da  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,  
como requisito para a disciplina Trabalho de  
Conclusão de Curso II.

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca composta pelos professores abaixo, considera a aluna MARIA ALICE BRITTO  
FEITOZA APROVADA COM NOTA \_\_\_\_\_.

Caruaru, 14 de janeiro de 2019.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Almir Cirilo \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho \_\_\_\_\_

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Engenheiro Civil MSc. Fellipe Henrique Borba Alves \_\_\_\_\_

Companhia Pernambucana de Saneamento (Avaliador)

Prof. Dr. Elder Alpes de

Vasconcelos \_\_\_\_\_ Universidade Federal

de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico este trabalho aos meus pais e meu irmão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me permitir concluir mais uma etapa.

Aos meus pais, Maria do Carmo Britto e José Maria Feitoza, por estarem sempre ao meu lado, colocando a educação e bem estar dos filhos como prioridade. Agradeço por todo o suporte e sacrifícios que fizeram para que a realização dos nossos sonhos pudesse se tornar realidade. Admiro vocês profundamente, pela honestidade, amor, carinho e respeito. Sempre serei eternamente grata aos dois.

Ao meu irmão, Gabriel Britto Feitoza, que é uma pessoa com um grande coração, que pensa sempre nos outros, busca ser conforto em meio as angústias e dificuldades que a vida traz. Apesar dos conflitos, sei que é a minha companhia para toda a vida e sempre terá o meu amor incondicional.

Ao meu namorado, Airton César Tavares, por toda compreensão, paciência, amor e palavras de conforto em todos os momentos necessários. Por ser um bom companheiro na vida e na rotina da universidade.

Ao meu primo e amigo, Tácio Britto, por estar sempre presente, conselhos, amor, companheirismo e pela confiança. Você é uma pessoa admirável, que sempre vê o melhor das pessoas.

À minha amiga, Raquel Ferreira, por dividir os melhores e os piores momentos da graduação, por todas as risadas, ajuda e companheirismo no curso e na vida. Obrigada por estar sempre presente.

À minha Avó, Maria Lenita Britto, pelo apoio, carinho, torcida pelo meu futuro e por sempre ajudar para que seja o melhor possível.

Ao meu orientador, José Almir Cirilo, pela oportunidade e todo o conhecimento que adquiri. O senhor tem minha admiração como pessoa e como profissional.

À todos os meus amigos e colegas de faculdade, Jessé Pacheco, Sabrina Corrêa, Thaise Suanne, José Ailton, Lucas Caitano, Sabrina Simões, Wesley Miranda, Ana Feitosa, Mariana Azevedo e todos os outros, vocês fizeram com que o caminho fosse mais leve.

Aos professores do curso de Engenharia Civil por todos os conhecimentos transmitidos e conselhos para a vida profissional.

A todos os familiares e conhecidos que torcem pelo meu sucesso. Em especial a minha tia, Celina Feitoza, por todo carinho e atenção que se mantém desde a infância até hoje.

## RESUMO

O Campus Agreste Watershed Model (CAWM) é um modelo hidrológico em desenvolvimento, criado na Universidade Federal de Pernambuco. É um modelo concentrado que possui como principal característica a simplicidade e seu objetivo principal é o processo de regionalização, onde se torne possível a transferência de valores de parâmetros entre bacias distintas. Os dados de precipitação e vazão foram obtidos através do site da ANA e os de evapotranspiração do INMET. Após a obtenção dos mesmos foram realizados o tratamento dos dados, para isso sendo desenvolvidas rotinas de programação através da ferramenta de macros do programa Microsoft Office Excel, na linguagem computacional Visual Basic. Além disso foi utilizado o software livre QGIS para espacialização dos dados de chuva, geração da rede de rios e subdivisão da bacia, utilizando como base de dados espaciais o modelo digital de elevação do programa SRTM. As sub-bacias escolhidas para realizar as subdivisões se deram a partir dos postos fluviométricos em cinco estações, localizadas nos municípios de Limoeiro, Paudalho, São Lourenço da Mata e Toritama. A última etapa foi a calibração do modelo CAWM IV (versão 4). Essa calibração foi realizada através das escolhas dos grandes eventos de cheia, onde aos eventos que melhor se adequavam aos de cálculo foram escolhidos para realização da calibração dos quatro parâmetros do modelo. A boa qualidade dos ajustes, determinada pelos indicadores estatísticos coeficiente de determinação  $R^2$  e de Nash-Sutcliffe, indicaram para a maioria dos casos bons ajustes, o que qualifica o modelo para sua aplicação.

**Palavras-chave:** Modelo hidrológico. Calibração. Bacia do rio Capibaribe.

## ABSTRACT

The Campus Agreste Watershed Model (CAWM) is a hydrological model under development, created at the Federal University of Pernambuco. It is a process that has simplicity as main characteristic and its main process of regionalization, where it may be possible to transfer data from an input parameter in different basins. Correlation and flow data were obtained through the ANA website and the INMET evapotranspiration site. After the data was read the date of the Microsoft Office Excel, in the computational language Visual Basic. In addition, the free software QGIS was used for the spatialization of rainfall data, data network generation and river basin subdivision, using the spatial database as the SRTM digital elevation model. The sub-basins can be performed as subdivisions from the fluviometric stations at four gage stations, in the municipalities of Limoeiro, Paudalho, São Lourenço da Mata and Toritama. The last step was the CAWM IV model calibration (version 4). This calibration was performed through the selections of the large flood events, and the events that best fit were selected for the calculation of the four parameters of the model. The good quality of the adjustments, determined by the coefficient of determination  $R^2$  and Nash-Sutcliffe indicators, is indicated for most cases good adjustments, which qualifies the model for its application.

**Keywords:** Hydrological model. Calibration. Capibaribe river basin.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Representação do modelo CAWM I</b> .....	24
<b>Figura 2 - Representação do modelo CAWM II</b> .....	24
<b>Figura 3 - Representação do modelo CAWM III</b> .....	27
<b>Figura 4 - Representação do modelo CAWM IV</b> .....	29
<b>Figura 5 - Nomes das macros do primeiro arquivo</b> .....	30
<b>Figura 6 - Macros pertencentes ao terceiro arquivo</b> .....	31
<b>Figura 7 - Macros do quarto arquivo</b> .....	32
<b>Figura 8 - Sub-bacias e rede hidrográfica da bacia do Capibaribe</b> .....	34
<b>Figura 9 - Polígonos de Thiessen</b> .....	34
<b>Figura 10 - Raster de direção de fluxo para bacia do rio Capibaribe</b> .....	35
<b>Figura 11 - Raster de declividade para bacia do rio Capibaribe</b> .....	36
<b>Figura 12 - Raster de área de contribuição para bacia do rio Capibaribe</b> .....	36
<b>Figura 13 - Raster de rede de drenagem para bacia do rio Capibaribe</b> .....	36
<b>Figura 14 – Raster de área de contribuição para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro</b> .....	37
<b>Figura 15 - Raster de rede de drenagem para sub-bacia a partir do posto de Limoeiro</b> .....	37
<b>Figura 16 – Microbacias para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro</b> .....	38
<b>Figura 17 – Rede de Drenagem para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro</b> .....	38
<b>Figura 18 - Variação de hidrograma de acordo com valor de <math>Be</math> para evento de pico de cheia da sub-bacia do posto fluviométrico de Limoeiro</b> .....	39
<b>Figura 19 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (27/01/2004 a 27/03/2004)</b> .....	43
<b>Figura 20 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (28/06/1975 a 17/08/1975)</b> .....	43
<b>Figura 21 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (10/03/1992 a 29/04/1992)</b> .....	44
<b>Figura 22 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (28/06/1975 a 17/08/1975)</b> .....	44
<b>Figura 23 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (17/03/1977 a 14/11/1977)</b> .....	45
<b>Figura 24 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (02/02/1978 a 29/11/1978)</b> .....	45
<b>Figura 25 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (13/01/1975 a 09/11/1975)</b> .....	46
<b>Figura 26 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (23/03/1977 a 20/08/1977)</b> .....	46
<b>Figura 27 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (14/04/1969 a 11/09/1969)</b> .....	47
<b>Figura 28 - Ajuste para a sub-bacia de São Lourenço da Mata (08/11/2005 a 28/12/2005)</b> .....	47

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Cálculo do K para cada sub-bacia .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabela 2 - Parâmetros calibrados .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 3 - Coeficientes de Nash-Suttcliffe e de determinação R<sup>2</sup> .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 4 - Coeficientes de Nash-Suttcliffe de cada sub-bacia.....</b>	<b>48</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3</b>	<b>Apresentação do trabalho</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Modelos Hidrológicos</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Classificação dos modelos hidrológicos</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Modelos hidrológicos de referência</b> .....	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Geoprocessamento</b> .....	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Integração entre modelos hidrológicos e geoprocessamento</b> .....	<b>20</b>
<b>2.6</b>	<b>Bases de dados espaciais</b> .....	<b>21</b>
2.6.1	Projeto SRTM.....	21
2.6.2	Programa Pernambuco Tridimensional .....	22
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>CAWM</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Programas de pré-processamento dos dados hidrológicos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Dados hidrológicos</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Geração de parâmetros das sub-bacias a partir do MDE</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Calibração do CAWM IV</b> .....	<b>40</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>50</b>
	<b>APÊNDICE A – CÓDIGOS DE TRATAMENTO DE DADOS</b> .....	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso ou bem econômico que tem como características ser finita, vulnerável e necessária para a conservação da vida e do meio ambiente (BORSOI E TORRES, 1997). A água é importante para as mais diversas atividades, como usos consuntivos, irrigação, utilização em indústrias, navegação, dentre outras

O aumento da população global trouxe como consequência o aumento da utilização dos recursos hídricos e a necessidade de um melhor planejamento dos mesmos. Segundo Ganzeli e Goldenstein (1994), o planejamento dos recursos hídricos é complexo e abrange questões como desenvolvimento econômico, social e as questões ligadas ao uso e ocupação do solo.

Para que seja realizado o planejamento adequado do uso dos recursos hídricos são necessárias informações hidrológicas. Segundo Moraes et. al. (2003), entender o funcionamento dos processos hidrológicos é importante para a atuação da gestão dos recursos hídricos, para o desenvolvimento de estudos ambientais e para projetos de obras hidráulicas. Os processos hidrológicos dependem do tempo que a água fica retida nas várias partes da hidrosfera que afeta a disponibilidade hídrica, inundações, dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes.

Para que o planejamento dos recursos hídricos seja adequado, são necessários instrumentos que realizem a quantificação das disponibilidades dos mesmos. Para isso, são utilizados os modelos hidrológicos que são importantes mecanismos de suporte para que as quantificações sejam alcançadas (SILVA, 2002).

A modelagem matemática é utilizada como ferramenta para o aprimoramento do conhecimento a respeito dos fenômenos físicos e para serem previstos novos cenários (MORAES et. al. 2003). A modelagem hidrológica é realizada para simular os processos presentes no ciclo hidrológico, como o processo de escoamento nos leitos dos rios, e é desenvolvida a partir de representações matemáticas. Os modelos hidrológicos são ferramentas que auxiliam o trabalho dos profissionais envolvidos com os recursos hídricos, e permitem melhor compreensão dos fenômenos hidrológicos em uma bacia hidrográfica e preveem o comportamento da bacia sob condições diversas, de acordo com Lima (2011).

Segundo Silva (2002), o desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas e dos computadores com uma maior capacidade de processamento gerou desenvolvimento dos processos hidrológicos que possuíam relação com o balanço hídrico.

Como modelos hidrológicos dependem de ferramentas computacionais para a sua execução e uma grande quantidade desses modelos representa apenas parte dos processos hidrológicos, isso ocorre porque é mais complexo representar o ciclo hidrológico como um todo. Os principais usos dos modelos hidrológicos se destinam a: entender melhor o comportamento dos fenômenos hidrológicos no exutório, analisar a consistência de dados e preencher as falhas, prever vazões, dimensionar e prever os cenários de planejamento e analisar os efeitos resultantes da modificação do uso do solo Lou (2010).

Os modelos hidrológicos são classificados em modelos concentrados e distribuídos. Segundo Lima (2011), o objetivo dos modelos concentrados é a obtenção de resultados médios representativos de toda a bacia como, por exemplo, a vazão da foz. Já os modelos distribuídos buscam representar os processos em cada elemento de área da bacia.

Nos modelos concentrados a bacia é representada por uma precipitação média, e os processos hidrológicos são medidos por parâmetros de natureza concentrada no espaço. Segundo Lou (2010) as variáveis temporais de entrada utilizadas pelos modelos hidrológicos são: a precipitação, a evapotranspiração potencial e a vazão. Onde a precipitação é a principal variável de entrada e a vazão é utilizada para a calibração do modelo. A estrutura básica da integração dos processos desses modelos é constituída por dois módulos, bacia e canal. O módulo bacia, simula o balanço vertical dos fluxos e o escoamento na sub-bacia ou no módulo e o módulo canal, que simula o escoamento em rios e canais definidos, propagando a vazão de montante e recebendo a contribuição do módulo da bacia.

A calibração dos modelos hidrológicos é realizada através de testes, ajustando-se parâmetros de significado físico ou conceitual a partir de dados de entrada (precipitação, evaporação, características da bacia) processados para simular dados de saída (vazão dos rios) que são comparados iterativamente com registros históricos de vazões ou níveis até que o modelo represente de forma adequada o comportamento real da bacia (BALTOKOSKI et. al. 2010). Por outro lado, segundo Dantas et. al. (2014) as bases de dados espaciais representadas por MDT e MDE (Modelos Digitais do Terreno e Modelos Digitais de Elevação) são insumos importantes para o suprimento de dados para os modelos hidrológicos.

Segundo Collischonn e Tucci (2003), durante a calibração dos modelos hidrológicos o procedimento de ajustes de parâmetros é o que possui maior nível de dificuldade, pela necessidade do usuário entender o comportamento do modelo e dos parâmetros além de solução de problemas relativos à qualidade e representatividade dos dados hidrológicos. A calibração desses modelos pode se dar por métodos como tentativa e erro e calibração automática.

Existem alguns modelos mais completos, distribuídos no espaço, que buscam representar também processos como a fase meteorológica e transporte de sedimentos, como o SWAT – Soil & Water Assessment Tool (CARVALHO NETO, 2018).

O Campus Agreste Watershed Model (CAWM) é um modelo hidrológico em desenvolvimento na UFPE que vem sendo aprimorado desde 2017. Trata-se de modelo concentrado que possui como principal característica a simplicidade e seu objetivo maior é o processo de regionalização, onde há transferência de valores de parâmetros entre bacias distintas. A contribuição da autora no aperfeiçoamento do CAWM é o foco principal do presente trabalho.

## **1.1 Justificativa**

Dadas todas as informações acima, o presente estudo se justifica pela necessidade de desenvolvimento e utilização de modelos hidrológicos que possuam uma maior simplicidade e que possam ser utilizados em bacias hidrográficas com características diferentes, particularmente na região semiárida do Nordeste brasileiro e que permita transferência de informações entre bacias hidrográficas. A simplicidade de utilização pode ser um fator decisivo para utilização do modelo hidrológico CAWM no planejamento de recursos hídricos nas suas diferentes esferas.

## **1.2 Objetivos**

Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo calibrar o modelo hidrológico em desenvolvimento CAWM para a bacia do rio Capibaribe em Pernambuco, a partir da geração de dados espaciais por meio de técnicas de geoprocessamento.

Objetivos específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- i) Caracterização e estimativa dos parâmetros do modelo;
- ii) Desenvolvimento de códigos computacionais para auxiliar o cálculo da chuva média das diferentes sub-bacias;

- iii) Calibração e validação do modelo para as sub-bacias escolhidas.

### **1.3 Apresentação do trabalho**

Este trabalho está dividido em quatro capítulos, além da introdução. O Capítulo 2 trata do referencial teórico, apresentando teorias sobre os modelos hidrológicos, suas classificações, modelos hidrológicos de referência, além de conceitos referentes a geoprocessamento e sua integração com modelos hidrológicos. O Capítulo 3 apresenta a metodologia, com explicações sobre o modelo Campus Agreste Watershed Model, os programas de pré-processamento de dados hidrológicos e as bases de dados espaciais SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e PE3D (Programa Pernambuco Tridimensional). No Capítulo 4 são discutidos os resultados obtidos com apresentação dos dados hidrológicos, área de estudo, geração de parâmetros das sub-bacias a partir do MNT e calibração do modelo CAWM IV. Por fim, as conclusões e recomendações são apresentadas no Capítulo 5.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a teoria sobre modelos hidrológicos, sua classificação, os modelos hidrológicos de referência, geoprocessamento, integração entre geoprocessamento e modelos hidrológicos e bases de dados espaciais.

### 2.1 Modelos Hidrológicos

Segundo Tucci (2005), o ciclo hidrológico é o fenômeno da circulação da água, em que não há perdas e ocorre no globo entre a superfície terrestre e a atmosfera. As principais etapas do ciclo hidrológico são evaporação, precipitação, interceptação da cobertura vegetal, infiltração, escoamento superficial e a transpiração vegetal. A água do ciclo hidrológico está em constante movimento, variando suas quantidades de um lugar para o outro e seu estado (LIMA, 2011).

Os modelos hidrológicos representam matematicamente os fenômenos que ocorrem no ciclo hidrológico. São produtos desenvolvidos pela ciência, que permitem entender e representar melhor o comportamento de uma bacia hidrográfica, além de possibilitar a previsão de diferentes condições da mesma (TUCCI, 2005).

Segundo Baltokoski et. al. (2010), os modelos hidrológicos se desenvolveram a partir da evolução de novas técnicas da computação, e necessitam de uma grande quantidade de dados de entrada que geralmente são obtidos através de sistemas geográficos de informações. A utilização dos modelos hidrológicos depende da modelagem matemática que, segundo Lou (2010), é uma ferramenta de apoio a projetos por sua capacidade de prever e antecipar os efeitos resultantes de medidas dos mesmos.

Esse desenvolvimento se deu a partir da necessidade de melhoria dos dados de vazão utilizados nos projetos de recursos hídricos (TUCCI, 2005). Para Lou (2010), os modelos hidrológicos também são utilizados para estimar vazões quando não há dados pluviométricos suficientes ou quando há modificação nos cenários existentes, o que gera modificação das vazões.

Segundo Tucci (2005), até a década de 50 os métodos utilizados na hidrologia para quantificação de processos hidrológicos eram os indicadores estatísticos. Com o surgimento dos computadores, surgiram os primeiros modelos hidrológicos que eram os modelos semi-conceituais precipitação-vazão. Dentre os primeiros modelos hidrológicos, os mais conhecidos

são SSAR - Streamflow Syntesis and Reservoir Regulation (ROCKWOOD, 1966) e STANFORD IV (CRAWFORD e LINSLEY, 1966).

Simultaneamente desenvolveram-se também os modelos empíricos, que não levam em consideração os processos físicos dos processos hidrológicos. Um exemplo dos primeiros modelos empíricos é o método coaxial (LINSLEY et al, 1949).

A partir daí a modelagem hidrológica gerou uma grande variação de modelos, utilizados para várias situações, desde o dimensionamento de barragem até previsão de futuros eventos com potencial danoso associados ao regime hídrico e tomada de decisões das políticas públicas, segundo Lima (2011).

## 2.2 Classificação dos modelos hidrológicos

Para Tucci (2005) e Lucas (2009), os modelos hidrológicos podem ser classificados de acordo com quatro critérios diferentes, que são: contínuos ou discretos (quanto a forma de representar os dados); concentrados ou distribuídos (existência ou não de relações espaciais); estocásticos ou determinísticos (quanto aos tipos de variáveis utilizadas); conceituais ou empíricos (quanto ao tipo de relação entre as variáveis).

**Modelos empíricos:** Baseiam-se em relações estatísticas entre as variáveis de maior importância. Os parâmetros são obtidos através de calibração, comparando os valores reais aos calculados. Para esse modelo são necessários uma pequena quantidade de variáveis quando comparados com os modelos determinísticos, com boas estimativas para um longo período (MINELLA, 2010).

Segundo Baltokoski et al (2010), a calibração dos modelos hidrológicos é realizada através de testes, ajustando-se parâmetros de significado físico ou conceitual a partir de dados de entrada (precipitação, evaporação, características da bacia) processados para simular dados de saída (vazão dos rios) que são comparados iterativamente com registros históricos de vazões ou níveis até que o modelo represente de forma adequada o comportamento real da bacia. Por outro lado, as bases de dados espaciais representadas por MDT e MDE (Modelos Digitais do Terreno e Modelos Digitais de Elevação) são insumos importantes para o suprimento de dados para os modelos hidrológicos (RIBEIRO et al, 2015).

**Modelos conceituais:** Baseiam-se em fórmulas, onde as fórmulas buscam representar o sistema da forma mais simplificada possível (MINELLA, 2010). Nesse modelo, as funções levam em consideração os processos físicos (TUCCI, 1998). O modelo conceitual é dividido em duas categorias, semi-conceituais e fisicamente fundamentados. Para Marinho Filho (2013)

os semi-conceituais não levam em consideração apenas as características físicas dos processos e os fisicamente fundamentados se aproximam mais da física do sistema.

**Modelos estocásticos:** Nesse modelo, a vinculação entre a entrada e a saída (causa e efeito) é indireta, onde a modificação da entrada gera uma probabilidade de variação da saída e não necessariamente gera a variação da saída (TRZESNIAK, 1998). Para Marinho Filho (2013), nos modelos estocásticos há pelo menos uma variável que se comporta de maneira aleatória, como por exemplo, o nível de um reservatório que possui como variável aleatória a vazão do afluente.

**Modelos determinísticos:** São modelos em que as causas e os efeitos estão ligados diretamente, onde para a mesma entrada o modelo gera sempre a mesma saída. Nesse modelo, a variação da entrada gera a alteração da saída.

**Modelos contínuos:** Um sistema é contínuo quando os processos hidrológicos são contínuos no tempo, e não em intervalos. Os modelos contínuos possuem uma maior precisão quando comparados com os discretos.

**Modelos discretos:** São sistemas onde as modificações dos processos se dão em intervalos discretos. A escolha desses intervalos está diretamente relacionada a economia e precisão desejada, porque o custo computacional existente aumenta conforme aumenta os intervalos discretos. Grande parte dos sistemas hidrológicos é contínuo com representações de modelos discretos, segundo Tucci (2005).

**Modelos concentrados:** O modelo concentrado não leva em consideração a variação espacial. Geralmente é considerado como variável independente nesse tipo de modelo apenas o tempo. Segundo Fayal (2008), para os modelos chuva-vazão, todas as variáveis são utilizadas em termos de média espacial, como a precipitação, infiltração, evaporação e vazão.

**Modelos distribuídos:** Esse modelo leva em consideração a variação espacial das características físicas da bacia hidrográfica em estudo. Os parâmetros e variáveis dependem do espaço e do tempo, e há a aplicação da lei da conservação das massas para o local (CUNHA, 2004).

### 2.3 Modelos hidrológicos de referência

Existem vários tipos de modelos, que possuem diferentes graus de complexidade. Alguns modelos que buscam calcular os processos hidrológicos com mais exatidão necessitam de um levantamento exaustivo de dados, o que dificulta a utilização do modelo, de acordo com Kaiser (2006).

A literatura internacional sobre o assunto mostra alguns modelos hidrológicos marcados pela simplicidade e consagrado pelo uso. Um deles é o Simple Water Balance Model (SWB), desenvolvido pelo US National Weather Service (NWS). Segundo Nasonova (2011) esse modelo é conceitual e inclui dois reservatórios (um de interceptação da precipitação e outro onde atuam a evaporação e o escoamento subsuperficial, a partir do qual se forma o escoamento superficial após à saturação), cinco parâmetros e duas variáveis de estado. Todos os parâmetros são calibrados através de rotina computacional denominada SCE-UA Algorithm. O modelo funciona a partir de dados de precipitação e evapotranspiração e seu escoamento superficial se inicia assim que a taxa de precipitação ultrapassa a taxa de infiltração da água no solo.

Outro modelo bastante utilizado é o GR4J Model, originário da França, desenvolvido no CEMAGREF. Trata-se um modelo conceitual com quatro parâmetros calibráveis (capacidade máxima do reservatório, coeficiente de troca de águas subterrâneas e a base de tempo do hidrograma unitário) e dois reservatórios iterativos (armazenamento de produção e armazenamento de calha fluvial). Os dados de entrada são precipitações diárias e evapotranspiração potencial. Um algoritmo de otimização baseado na busca do gradiente local é utilizado para realizar a calibração (TRAORE et al, 2014; NASONOVA, 2011).

No Brasil alguns modelos mais antigos foram aplicados em muitos estudos hidrológicos e pesquisas. É o caso do modelo SMAP, desenvolvido na USP (LOPES et al, 1982); modelo IPH II, desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH da UFRGS (TUCCI et al, 1981); O MODHAC, também desenvolvido no IPH-UFRGS (LANNA et al, 1997; VIRÃES, 2018) e mais recentemente o MGB – IPH: Modelo de Grandes Bacias, da mesma instituição (COLLISCHONN E TUCCI, 2003)

O modelo hidrológico CAWM – Campus Agreste Watershed Model, utilizado neste trabalho, é uma nova ferramenta voltada para modelagem do fluxo que pode ser enquadrada em categoria de modelos conceituais de poucos parâmetros, como os descritos anteriormente na literatura internacional. Seu desenvolvimento é detalhado na metodologia a seguir.

## **2.4 Geoprocessamento**

Segundo Gomes et al (2005) geoprocessamento é o tratamento de dados com distribuição geográfica através de ferramentas matemáticas e computacionais. De acordo com da Silva (2009), o geoprocessamento utiliza um grande volume de dados, sendo necessária a utilização de computadores para que a realização de análises e utilização dos produtos no planejamento ambiental e gestão do território seja possível.

Os tipos de dados utilizados no geoprocessamento são: temáticos, mapas que mostram a disposição no espaço de uma grandeza geográfica; cadastrais, onde cada elemento possui atributos com diferentes representações gráficas; redes, que podem ser estradas, redes de drenagem e redes de serviços públicos; modelos numéricos do terreno, representação contínua da altimetria do terreno; imagens, obtidas por imagens de satélites ou fotografias aéreas (CÂMARA et al, 2001).

Para Câmara et al (2001) as ferramentas computacionais que são usadas no geoprocessamento são os sistemas de informações geográficas (SIG), que possuem a capacidade de integrar diferentes “camadas” de dados georreferenciados. A partir dessa integração surgem bancos de dados com potencial de permitir a realização de análises complexas. No GIS, diferentes conjuntos de dados georreferenciados podem se sobrepor o que não era possível de fazer com mapas e dados antes do surgimento dessa tecnologia. O SIG possui como componentes: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento geográfico e de imagens, visualização, plotagem, armazenamento e recuperação de dados.

Segundo Câmara et al (2001) o primeiro caso da tentativa da utilização do geoprocessamento aconteceu nos Estados Unidos, na década de 50, com o intuito de diminuir o custo com mapas. No entanto, o primeiro caso da utilização do GIS ocorreu no Canadá, na década de 60, com a necessidade de criação de um inventário dos recursos naturais. No Brasil, isso ocorreu devido a atuação do professor Jorge Xavier da Silva (UFRJ) no início dos anos 80, com formação de pessoal. A partir daí surgiram órgãos interessados no desenvolvimento de sistemas de informação geográfica, exemplos disso são o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental) desenvolvido pela UFRJ, MaxiCAD (software de geoprocessamento) desenvolvido pelo MaxiDATA, SAGRE (Sistema automatizado de gerência da rede externa) desenvolvido pelo CPqD/TELEBRÁS e SITIM (Sistema de tratamento de imagens) desenvolvido pelo INPE.

Na hidrologia, para Ávila et al (2007), o geoprocessamento pode ser utilizado na caracterização do uso do solo em microbacias hidrográficas, caracterização da precipitação pluviométrica, disponibilidade hídrica, evapotranspiração real e mapeamento da rede de drenagem. Alguns aspectos importantes na utilização desses dados são a interatividade (constante troca de informações entre a ferramenta computacional e usuário), sistemas multiusuários (vários usuários com acesso simultâneo aos dados), opções gráficas (dados de entrada e saída do processamento são gráficos), volume de dados complexos, velocidade de tratamento, uso simultâneo de dados de origens diferentes e baixo custo.

Segundo Mendes e Cirilo (2013), as propriedades hidrológicas são variáveis no espaço. O geoprocessamento se torna importante para o planejamento dos recursos hídricos pela capacidade de manipulação dessas propriedades.

## **2.5 Integração entre modelos hidrológicos e geoprocessamento**

Segundo Melo et al (2008), a integração entre modelos hidrológicos e geoprocessamento começou a ocorrer entre as décadas de 60 e 70, inicialmente com poucas iterações entre os modelos e os sistemas de informações geográficas e aumentando a partir da década de 70. Segundo Melo et. al (2008) apud Calijuri (1998) essa integração permite realizar o projeto, calibração, simulação e comparação entre modelos com uma grande velocidade.

A qualidade dos modelos hidrológicos depende do correto equacionamento dos fenômenos que ocorrem ciclo da água, dos dados numéricos de entrada obtidos (como chuva e vazão) e dos dados geográficos. Por causa dessa necessidade de obtenção de dados georreferenciados de alta complexidade é essencial a integração entre modelos hidrológicos e geoprocessamento.

Para Ávila et al (2007), os sistemas de informações geográficas representam avanço por incluir ferramentas computacionais com utilização direta na área de hidrologia. Essas ferramentas realizam a manipulação do modelo numérico do terreno para obter informações como matriz de direção e acumulação do fluxo, características fisiográficas, além de possibilitar a delimitação da rede de fluxo e das bacias de drenagem.

Para os modelos hidrológicos distribuídos, os sistemas de informações geográficas são utilizados para criação de bancos de dados. A manipulação, combinação de informações e análise de dados faz com que sejam divididas grandes áreas com características diferentes em pequenas áreas com mesmas características, nas quais os modelos serão aplicados. Apesar de potente, esse tipo de utilização ainda é pouco realizado no Brasil (MACHADO et al, 2003).

Para Mendes e Cirilo (2013), os modelos distribuídos utilizam um volume de dados no seu processamento muito superior a modelos concentrados e o processo de obtenção de parâmetros e validação desses modelos são trabalhosos. A variabilidade de dados é maior conforme se aumenta a área de modelagem. Além disso, não necessariamente os resultados obtidos através dos modelos distribuídos são melhores que os de modelos concentrados.

Berry e Sailor (1987) realizaram um estudo com modelo chuva-vazão utilizando GIS. Suas considerações foram que há diversas vantagens na utilização de sistemas de informações geográficas como aumento da precisão, agilidade dos cálculos e possibilidade de desenvolver

análises espaciais complexas. Além disso o GIS é uma ferramenta de auxílio para o desenvolvimento de modelos chuva-vazão.

A limitação para a integração das funções dos modelos chuva-vazão com o GIS é a utilização de funções empíricas desses modelos e a grande quantidade de simplificações adotadas. Já para os modelos distribuídos que utilizam os bancos de dados através do GIS, a principal desvantagem está nas conversões necessárias que tornam o tempo de processamento maior (MENDES E CIRILO, 2013).

## **2.6 Bases de dados espaciais**

As bases de dados espaciais representadas por MDT e MDE (Modelos Digitais do Terreno e Modelos Digitais de Elevação) são insumos importantes para o suprimento de dados para os modelos hidrológicos, de acordo com Dantas et al (2014). O tipo de dado espacial utilizado foi modelo digital de elevação, produto do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com dados de elevação a cada 30 metros.

### **2.6.1 Projeto SRTM**

Segundo Farr et al (2000) SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) foi uma missão a bordo do ônibus espacial Endeavour que possuía o objetivo de orbitar a terra colhendo informações para montar modelo digital de elevação da superfície da terra entre as latitudes 60° norte e 56° sul, totalizando cerca de 80% da superfície terrestre. A duração dessa missão foi de 11 dias, seu fim ocorreu no dia 22 de fevereiro de 2000 e foi o resultado de um projeto cooperativo entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*) do Departamento Nacional de Defesa dos Estados Unidos. A técnica utilizada nessa missão foi interferometria de radar de abertura sintética (InSAR) e os produtos do SRTM são o modelo digital de elevação com pixel de 30 metros e precisão vertical de 15 metros e duas ortoimagens.

A precisão do modelo digital do terreno disponibilizado de forma pública possui pixel de 90 metros. Foi realizada então uma interpolação pelo instituto INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para o Brasil gerando o produto final com um ponto cotado a cada 30 metros (VALERIANO, 2008).

Para Cirilo et al (2014) a base global SRTM surgiu devido à necessidade de uma base altimétrica global confiável, porém não possui precisão suficiente para muitos projetos e

estudos, e quando são necessários dados com maior precisão são realizados aerolevantamentos da superfície do terreno.

### **2.6.2 Programa Pernambuco Tridimensional**

Segundo Cirilo et al (2014) o programa Pernambuco Tridimensional foi realizado devido à grandes enchentes que ocorreram em 2011 em algumas regiões de Pernambuco, como na mata sul pernambucana e no agreste meridional. Esse trabalho foi realizado pela Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do estado, que inicialmente realizou o levantamento de dados para as regiões alagadas (bacias do rio Una, Mundaú e Sirinhaém) e posteriormente para todo o estado de Pernambuco. Segundo PE3D (2014) os dados obtidos serão disponibilizados para empresas, estudantes e profissionais sem que haja cobrança, devendo realizar as referências à Secretaria de Desenvolvimento Econômico e ao Governo do Estado sempre que forem utilizados em produções científicas.

De acordo com PE3D (2014) a totalidade de municípios na área continental do estado foi mapeada (98.084 km<sup>2</sup>), totalizando 75 bilhões de pontos cotados com elevação calculada a partir da emissão de raios laser.

Os produtos obtidos a partir do Pernambuco Tridimensional foram os modelos digitais do terreno e de elevação com escalas 1:5000 (erro vertical inferior a 25 cm) e 1:1000 (erro vertical inferior a 10 cm) e as ortoimagens com escalas 1:5000 (pixel da imagem de 50cm) e 1:1000 (pixel da imagem de 12cm) (CIRILO et al, 2014).

De acordo com o site do PE3D (2018) os produtos possuem amplo potencial de utilização, como na área acadêmica, empresarial, ambiental e para o desenvolvimento de infraestruturas no ambiente urbano e empreendimentos de maior porte que necessitem de detalhamento do terreno.

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado o modelo hidrológico Campus Agreste Watershed Model (CAWM), os programas de pré-processamento dos dados hidrológicos utilizados e a área de estudo.

#### 3.1 CAWM

O Campus Agreste Watershed Model (CAWM) é um modelo hidrológico em desenvolvimento, criado na Universidade Federal de Pernambuco. É um modelo concentrado que possui como principal característica a simplicidade e seu objetivo principal o processo de regionalização, onde se torne possível a transferência de valores de parâmetros entre bacias distintas.

O desenvolvimento do CAWM – Campus Agreste Watershed Model teve a princípio o objetivo único de simular o escoamento superficial em bacias hidrográficas de regiões semiáridas, tendo em vista suprir a lacuna sobre esse tipo de modelo, aproveitando o potencial de procedimentos mais modernos de entrada e saída de dados e a possibilidade de aproveitamento de informações geradas por técnicas de geoprocessamento sobre bases espaciais como SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission* e o PE3D - *Programa Pernambuco Tridimensional*, descritos em sequência.

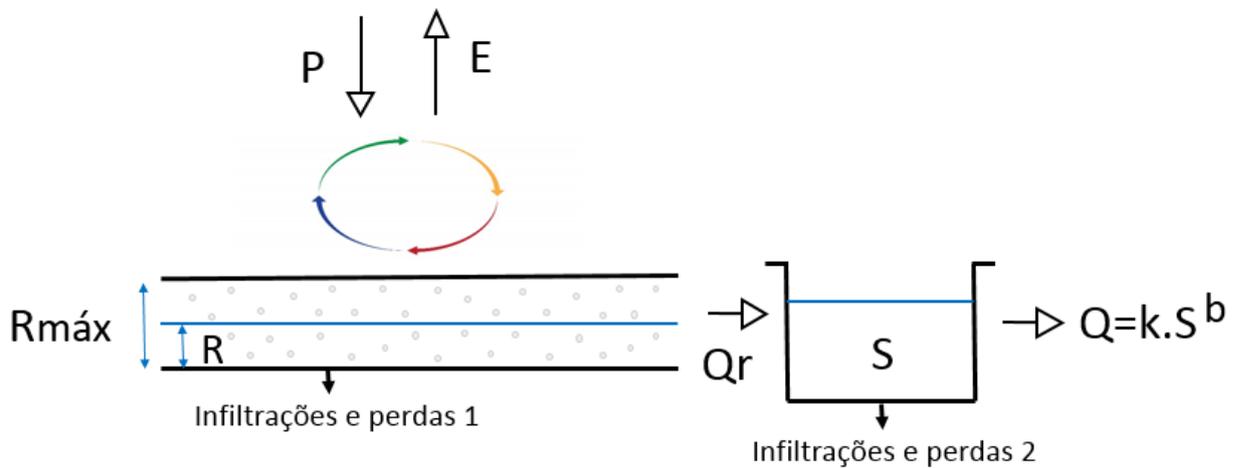
Por enquanto considera-se a aplicação do modelo CAWM para bacias hidrográficas de porte tal que o tempo de concentração não exceda a 1 dia, visto que ainda não foram implementadas ferramentas para considerar o retardo do fluxo na bacia. O modelo já está na quarta versão e a apresentação de cada uma delas encontra-se a seguir. Uma 5ª. versão se encontra em testes para aplicação a bacias hidrográficas de regiões úmidas com rios perenes.

Na primeira versão (Figura 1) o modelo conta com dois reservatórios, um de recepção R e outro de água na calha dos rios, S, admitindo que o volume infiltrado é considerado como perda, alimentando as fissuras do solo cristalino característico da região Nordeste. Esse modelo, com cinco parâmetros, foi testado para a bacia do rio Capibaribe com resultados promissores. Qr representa o escoamento superficial em direção à calha do rio, que ocorre quando o volume do reservatório R excede o valor de R<sub>máx</sub>. P representa a precipitação e E a evapotranspiração que ocorrem no reservatório R. Os parâmetros calibráveis são: k, b, R<sub>máx</sub>, perdas e infiltrações 1 e 2.

A versão CAWM II (Figura 2), apresenta algumas diferenças básicas em relação à primeira. A primeira mudança ocorre com a introdução de um reservatório de água no solo (Sub), em processo permanente de troca de água com o reservatório da calha fluvial ( $Rec = K_s(S-Sub)$ ), troca essa matematicamente representada por uma relação linear com os volumes de água presentes no reservatório subterrâneo e na calha fluvial em cada instante. Nesse modelo existem quatro parâmetros calibráveis, que são:  $k$ ,  $b$ ,  $K_s$  e  $R_{m\acute{a}x}$ .

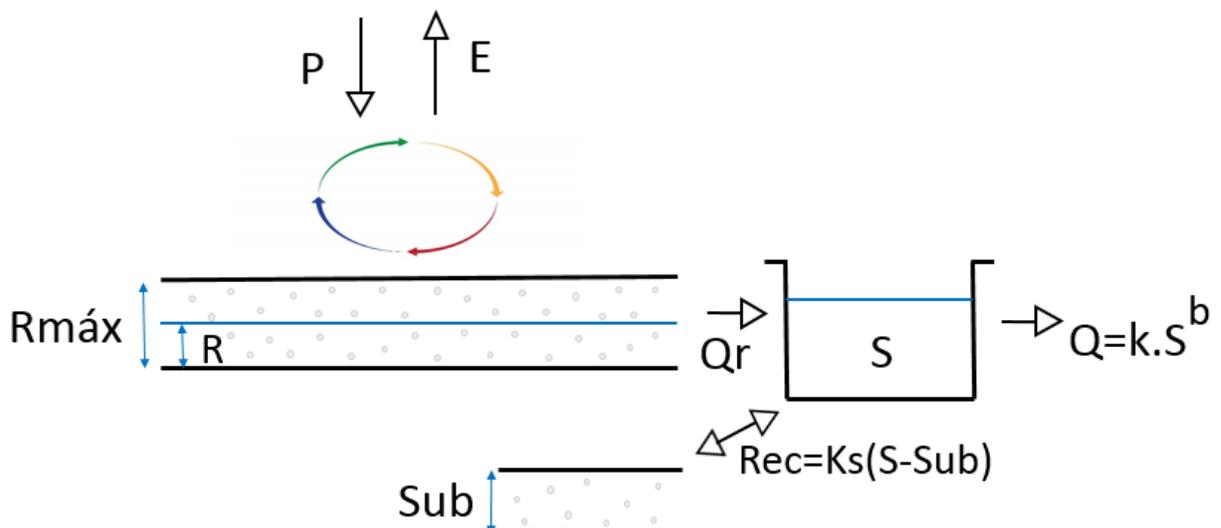
As figuras 1 e 2 representam de forma esquemática o funcionamento do modelo nas duas versões.

**Figura 1 - Representação do modelo CAWM I**



Fonte: Cirilo, 2018.

**Figura 2 - Representação do modelo CAWM II**



Fonte: Cirilo, 2018.

Esta 2ª. versão do modelo tem portanto quatro parâmetros a calibrar. Como  $R_{max}$  representa a capacidade de retenção de água na superfície da bacia no reservatório  $R$ , consequência das depressões, reservatórios e cobertura vegetal, uma hipótese é que um modelo digital do terreno com boa precisão auxilie a definição deste parâmetro. O parâmetro  $K_s$  relaciona-se com a permeabilidade dos solos. Sobre os parâmetros  $k$  e  $b$  procura-se definir sua conceituação a seguir.

Considerando que o volume do reservatório da calha fluvial  $V_{sup}$  pode ser representado pela capacidade do conjunto de rios que compõem a bacia com extensão total  $L_T$  e área de seção equivalente  $A_e$ , tem-se:

$$V_{sup} = A_e \cdot L_T \quad (1)$$

Como nos modelos hidrológicos os volumes são representados em milímetros por unidade de área da bacia hidrográfica em  $Km^2$ , a acumulação  $S$  é dada por:

$$S = \frac{V_{sup}}{c \cdot A_b} = \frac{A_e \cdot L_T}{c \cdot A_b} \quad (2)$$

Sendo a constante  $c = 1000$  utilizada para compatibilizar as unidades utilizadas.

Considerando o escoamento na calha equacionado pela Fórmula de Manning com as simplificações de seção retangular de largura equivalente  $B_e$ , assim como raio hidráulico aproximadamente igual à lâmina escoada:

$$A_e = B_e \cdot y \quad R_h \cong y$$

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{n} \cdot A_e \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2} \cong \frac{1}{n} \cdot A_e \cdot y^{2/3} \cdot I^{1/2} \\ &\cong \frac{1}{n} \cdot \frac{A_e^{5/3}}{B_e^{2/3}} I^{1/2} \end{aligned} \quad (3)$$

A relação entre a vazão ( $m^3/s$ ) e a lâmina escoada (mm) é dada por:

$$Q = \frac{V_e \cdot c \cdot A_b}{\Delta t} \quad (4)$$

Onde  $\Delta t$  é o passo de tempo em segundos. Combinando a Equação (4) com o último termo da Equação (3), tem-se:

$$\frac{V_e \cdot c \cdot A_b}{\Delta t} = \frac{1}{n} \cdot \frac{A_e^{5/3}}{B_e^{2/3}} I^{1/2} \quad (5)$$

Explicitando a área equivalente na Eq. (2) e substituindo na Eq. (5), chega-se a:

$$A_e = \frac{c \cdot A_b \cdot S}{L_T} \quad (6)$$

$$\frac{V_e \cdot c \cdot A_b}{\Delta t} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{c \cdot A_b \cdot S}{L_T} \right)^{5/3} \frac{I^{1/2}}{B_e^{2/3}} \quad (7)$$

$$V_e = K \cdot S^b \quad \text{Sendo } b = 5/3 \quad (8)$$

$$K = \frac{\Delta t}{n} \cdot \left( \frac{c^2 \cdot A_b^2}{B_e^2 \cdot L_T^5} \right)^{1/3} I^{1/2} \quad (9)$$

A relação não linear  $V_e = K \cdot S^b$  obtida na Eq. (8) é utilizada no CAWM em todas as suas versões para representar o escoamento na calha fluvial, diferente da concepção usual de reservatório linear. Embora a dedução desenvolvida sinalize para expressão que pode permitir o cálculo do parâmetro K e considerar  $b = 5/3$ , esses parâmetros têm sido calibrados no modelo, visto que são muitas as simplificações realizadas no desenvolvimento matemático. O valor  $b = 5/3$  pode ser considerado como estimativa inicial. A expressão para cálculo do parâmetro K está sendo pesquisada como uma forma de regionalizar o parâmetro dentro de uma mesma bacia, por sub-bacias com áreas e extensões de rio fracionadas, bem como avaliar os valores do parâmetro em situações onde o passo de tempo  $\Delta t$  seja alterado. Esse é um dos procedimentos testados neste trabalho, como será mostrado adiante.

A versão CAWM III (Figura 3) traz novas alterações. Na primeira, o balanço chuva- evaporação é feito de imediato, descontando-se da precipitação o valor possível da evapotranspiração. O excedente passa a escoar, ficando a parcela de evapotranspiração não atendida, se houver, para ser retirada do reservatório de superfície S. Portanto, nesta versão não existe reservatório de recepção, sendo as perdas descontadas no reservatório S, proporcionalmente ao volume acumulado nesse reservatório a uma taxa linear  $K_L$  ( $F_L = K_L \cdot R^{1.5}$ ). O expoente 1,5 adotado busca ampliar o efeito das perdas para as vazões mais altas, considerando extravasamentos para as cotas mais elevadas. Trata-se de relação empírica que ainda carece de melhor avaliação.

A nomenclatura desse modelo foi modificada quando comparada à versão CAWM II:  $S_t$  representa a quantidade de água no instante t no reservatório do solo, com S sendo seu valor máximo; R é o volume acumulado na calha fluvial;  $E_r$  é a evapotranspiração complementar

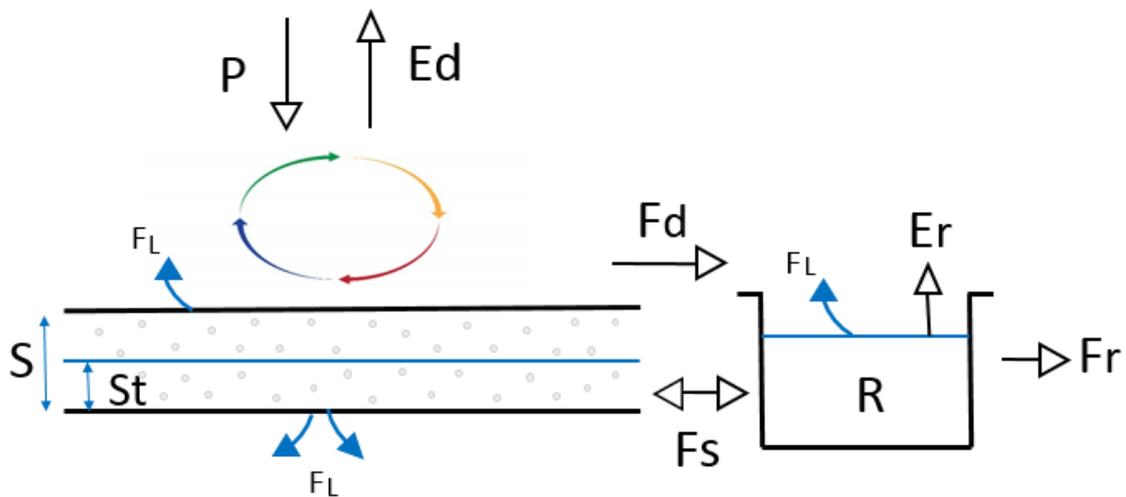
saída da calha do rio;  $F_d$  é o volume de água no tempo  $t$  que escoa superficialmente, seguindo em direção à calha do rio;  $F_s$  é a troca de água entre a calha do rio e o solo, que pode ocorrer em ambos os sentidos (Equação 10);  $F_L$  representa as perdas de água do sistema e por fim  $F_r$  é o volume que escoa no rio, dado pela Equação 11, análoga à Eq. 8.

$$F_s = K_s \cdot (R - S_t) \quad (10)$$

$$F_r = K \cdot R^b \quad (11)$$

A versão tem três parâmetros a calibrar:  $K_s$ ,  $K$  e  $K_L$ . A Figura 3 representa o esquema adotado no modelo CAWM III.

**Figura 3 - Representação do modelo CAWM III**



Fonte: Cirilo, 2018.

Na versão CAWM IV (Figura 4) a principal modificação está na introdução do conceito de recarga  $P_s$ , representado pela Eq. (12), que utiliza formulação proposta por Edijatno e Michel (1989). Essa formulação promove a recarga do solo a partir da chuva, com o volume de umidade do solo que se aproxima de forma assintótica até o limite  $S$ . É o mesmo processo adotado no modelo Francês GR4J.

Os valores da recarga do solo e da recarga do rio não serão os mesmos, já que a recarga do solo irá assumir o valor  $P_s$  e a recarga do rio mantém a relação linear do modelo CAWM III: o valor do parâmetro calibrável  $K_s$ , indicativo a permeabilidade do solo, é multiplicado pela subtração entre o reservatório  $S_t$  e a evaporação complementar para dar origem à recarga para o rio.

A chuva efetiva  $P_n$  é igual a subtração entre a Precipitação (P) e a Evapotranspiração direta ( $E_d$ ). É dividida em três parcelas: recarga do solo ( $P_s$ ), evapotranspiração complementar ( $E_s$ ) e o escoamento na superfície em direção à calha do rio ( $F_d$ ).

A Equação 12 representa a recarga do solo ( $P_s$ ), que constitui uma das parcelas da chuva efetiva. Nessa equação, S é o valor máximo do reservatório  $S_t$  e deve ou não ser considerado como uma variável de decisão, como discutido adiante.

$$P_s = \frac{S \cdot \left(1 - \left(\frac{S_t}{S}\right)^2\right) \cdot \tanh\left(\frac{P_n}{S_t}\right)}{1 + \frac{S_t}{S} \tanh\left(\frac{P_n}{S}\right)} \quad (12)$$

Nessa versão há a possibilidade de a evapotranspiração complementar ser descontada do reservatório  $S_t$ . A Equação 13 representa a fórmula da evapotranspiração complementar, que depende do valor de uma constante  $\alpha$ , do nível da água reservatório  $S_t$ , do valor máximo do mesmo, S, da evapotranspiração potencial não atendida  $E_n$ , indicada na Eq. (14).

$$E_s = \left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot S_t}{S}}\right) \cdot E_n \quad (13)$$

$$E_n = E - E_d \quad (14)$$

A constante  $\alpha$  é definida para especificar a magnitude da evapotranspiração complementar. Esse parâmetro foi introduzido para ajustar os dados pouco precisos dessa variável se necessário (o balanço hídrico de longo período feito pelo modelo compara as lâminas de precipitação, vazão, evapotranspiração potencial e inicial, para auxiliar a decisão sobre a evapotranspiração complementar), podendo  $\alpha$  variar de 0 a um valor elevado (50, por exemplo), o que significa nenhuma ou máxima evapotranspiração complementar.

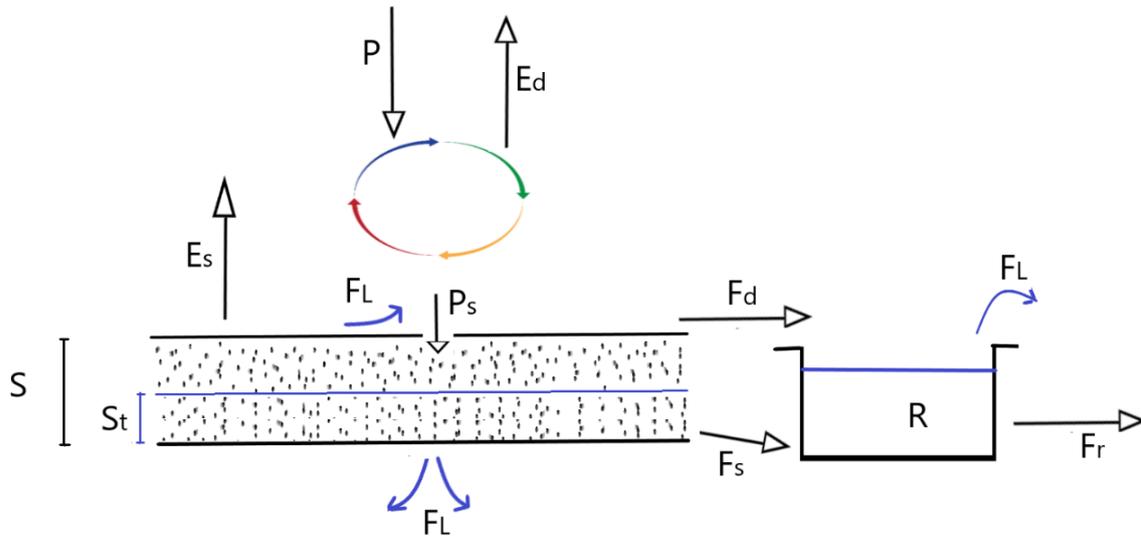
Os valores de  $F_d$  e  $F_s$  são determinados pelas Equações 15 e 16, respectivamente.

$$F_d = P_n - P_s - E_s \quad (15)$$

$$F_s = K_s \cdot S_t \quad (16)$$

Os parâmetros calibráveis nessa última versão são: S (valor máximo do reservatório  $S_t$ ),  $K_L$  (parâmetro das perdas) e  $K_s$  (parâmetro da permeabilidade do solo). O parâmetro b é considerado fixo como 5/3 e o parâmetro K é calculado de acordo com a Equação 9. Observe-se que as características da bacia devem ser calculadas por técnicas de geoprocessamento para permitir o cálculo do parâmetro K. O parâmetro S está sendo estudado em outro trabalho da equipe de desenvolvimento para ser avaliado a partir do mapeamento dos solos e do uso e ocupação na bacia hidrográfica, de modo a reduzir mais um parâmetro a calibrar, bem como para aumentar a consistência física do modelo.

**Figura 4 - Representação do modelo CAWM IV**



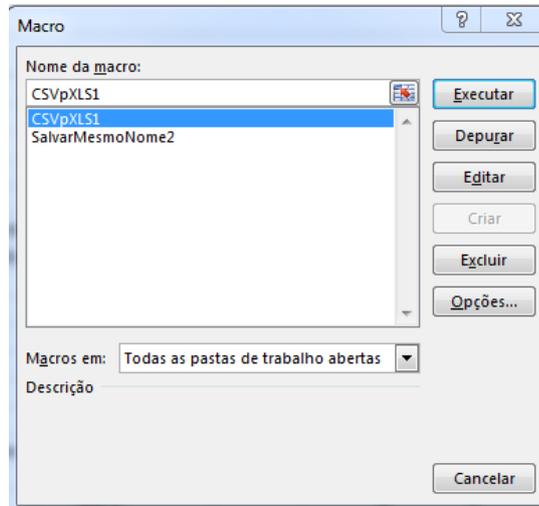
Fonte: Cirilo, 2018.

### 3.2 Programas de pré-processamento dos dados hidrológicos

Para a etapa de processamento dos dados foram desenvolvidas macros, que são rotinas de programação na linguagem Visual Basic, também conhecida como VBA. Essas macros totalizaram quatro arquivos no Excel, cada um com um número diferente de rotinas. Esse desenvolvimento ocorreu em função da necessidade de localizar, coletar e processar grandes volumes de dados hidrológicos, normalmente obtidos do banco de dados da ANA – Agência Nacional de Águas. Todos os códigos encontram-se no anexo na ordem de utilização.

No primeiro arquivo encontram-se duas rotinas (Figura 5). A primeira rotina (*CSVpXLS1*) é responsável por transformar os arquivos baixados no site da ANA, que estão no formato original .csv, para o formato .xls que é o formato do Excel do ano de 1997 a 2003. Essa transformação é necessária por ser um formato mais fácil de manipular através das macros do Excel. A segunda rotina (*SalvarMesmoNome2*) é responsável por preencher as células da planilha onde os valores de chuva forem inexistentes. Esse comando é necessário para que o programa reconheça os dados inexistentes do arquivo original. Além disso, também ordena os dados em ordem crescente, já que os dados baixados estão desorganizados, e transforma o formato da data em mês/ano para que fique mais compatível com a descrição das datas. Essa rotina também é responsável por excluir os valores com duplicidade, dando preferência aos dados já consistidos sobre os brutos.

**Figura 5 - Nomes das macros do primeiro arquivo**



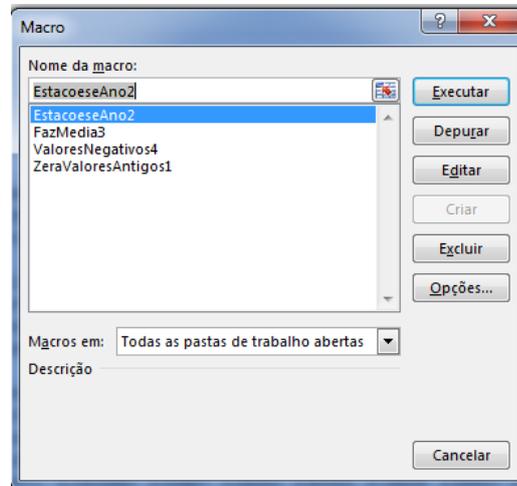
Fonte: Autor, 2018.

No segundo arquivo existe apenas uma rotina (*FazMatriz*), que é responsável por copiar apenas as colunas de interesse dos dados pluviométricos, colocando os dados de um posto abaixo do outro e formando assim uma grande matriz com todos os dados utilizados de todos os postos pluviométricos em estudo. Após a cópia ser finalizada, o arquivo é salvo em formato .xls num diretório previamente definido pelo usuário com um cabeçalho descrevendo cada coluna. Os códigos encontram-se no Anexo A.

O terceiro arquivo possui quatro rotinas, que devem ser utilizadas na seguinte ordem (Figura 6). A primeira rotina (*ZeraValoresAntigos1*) é responsável por apagar todos os dados de chuva que estão na própria planilha proveniente de cálculos antigos. Esse procedimento é necessário pois o cálculo da chuva média é uma somatória dos valores já presentes na célula com os novos valores calculados, com a presença de valores antigos esse valor seria cumulativo, gerando um erro nos cálculos. A segunda rotina (*EstacoeseAno2*) é responsável por abrir o arquivo que possui os dados dos fatores de área, obtido com o polígono de Thiessen e copiá-los para no arquivo do cálculo da chuva média. Além disso a segunda rotina solicita ao usuário que informe o período em que deseja realizar o cálculo da chuva média, pedindo o ano de início e o ano final. A terceira rotina (*FazMedia3*) é responsável por realizar o cálculo da chuva média, multiplicando os valores de proporção de área de cada estação presentes no arquivo .xls salvo após à execução da macro presente no segundo arquivo descrito anteriormente. Nessa rotina são salvos os valores de fatores de área pré-definidos pelo polígono de Thiessen, e então caso

não haja informações em cada ano esse valor é zerado e distribuído de forma ponderada para as demais estações, a cada ano. A quarta rotina (*ValoresNegativos4*) faz uma média aritmética dos valores de chuva para cada dia caso não haja dados de chuva em alguma estação para o mesmo.

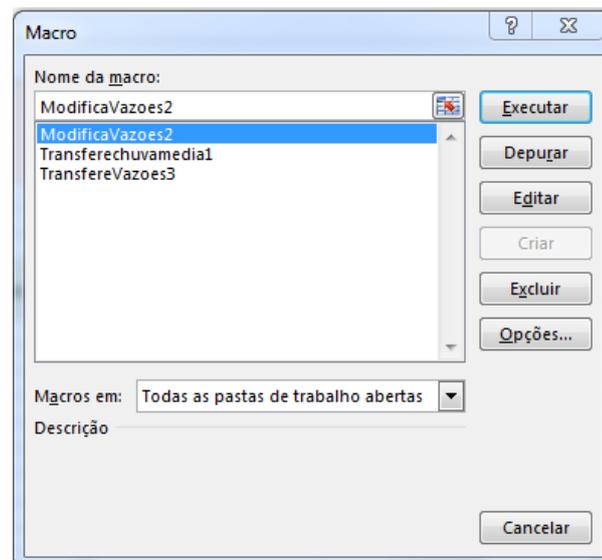
**Figura 6 - Macros pertencentes ao terceiro arquivo**



Fonte: Autor, 2018.

No quarto e último arquivo há três rotinas (Figura 7). A primeira transfere (*Transferechuvamedia1*) os dados da chuva média, cujo cálculo foi descrito anteriormente. A segunda (*ModificaVazoes2*) modifica os dados existentes na estação pluviométrica utilizada para realizar a calibração dos dados. Essa rotina remove os valores com duplicidade, dando preferência aos dados já consistidos e ordena as datas do arquivo. A terceira rotina (*Transferevazoes3*) transfere as vazões modificadas na etapa anterior em colunas. Na planilha gerada, então, é onde é realizada a calibração do modelo CAWM.

**Figura 7 - Macros do quarto arquivo**



Fonte: Autor, 2018.

### 3.3 Área de estudo

As bacias hidrográficas de Pernambuco escoam em dois sentidos, no sentido do Oceano Atlântico e no sentido do rio São Francisco. As bacias que escoam no sentido do rio São Francisco são as bacias dos rios Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, Pajeú, Moxotó e Ipanema e grupos de bacias de pequenos rios interiores. Já os que escoam no sentido do Oceano Atlântico são as bacias dos rios Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém, Una, Mundaú e os grupos de Bacias de Pequenos rios litorâneos e uma bacia de pequenos rios da rede de drenagem do Arquipélago Fernando de Noronha (APAC, 2018).

A bacia hidrográfica que é objeto do presente estudo é a bacia do rio Capibaribe. Segundo APAC (2018) a bacia do rio Capibaribe encontra-se na orientação norte-oriental do estado, com coordenadas geográficas entre 07° 41' 20" e 08° 19'30" de latitude sul, e 34° 51' 00" e 36° 41' 58" de longitude oeste. A bacia faz fronteira com o estado da Paraíba, a bacia do rio Goiana, o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 1 e 2, a bacia do rio Ipojuca, oceano Atlântico.

Essa bacia abrange as regiões agreste, zona da mata e o litoral do estado de Pernambuco. O rio principal dessa bacia é o rio Capibaribe, que possui nascente na divisa entre as cidades de Jataúba e Poção, cidades do agreste pernambucano. A bacia possui uma área de 7454,88 km<sup>2</sup> e

abrange 42 municípios. No seu território encontram-se barragens como Jucazinho, Tapacurá e Carpina. APAC (2018).

Para Travassos et. al (1993) o estuário do rio Capibaribe encontra-se na zona urbana da cidade de Recife, capital do estado. Os afluentes do que se situam na margem esquerda do rio são de pequeno porte, já os que se situam na margem direita do rio são os principais afluentes, como o Tapacurá e Goitá.

## **4 RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os dados hidrológicos obtidos, a geração dos parâmetros das sub-bacias a partir do modelo numérico do terreno e a calibração do modelo CAWM IV.

### **4.1 Dados hidrológicos**

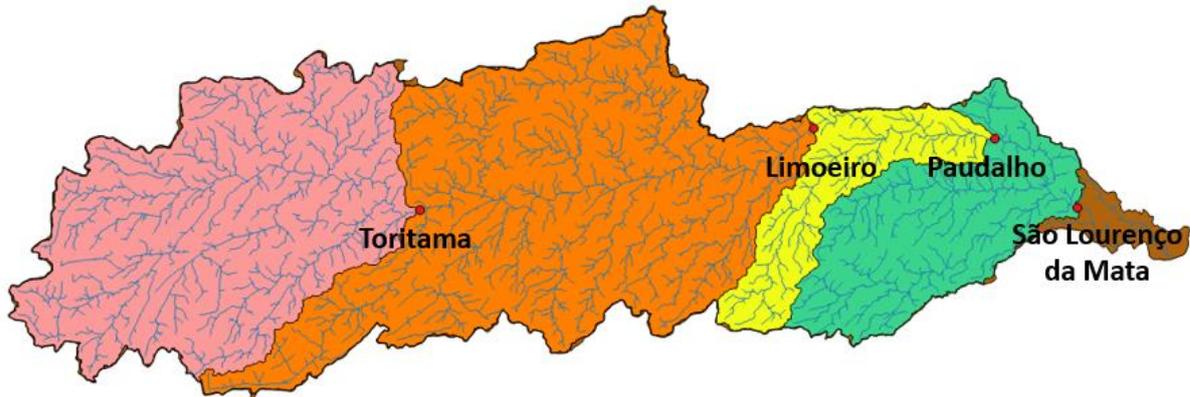
Os dados de chuva e vazão foram obtidos através do site da Agência Nacional das Águas (ANA). Para as estações pluviométricas esses dados foram coletados para todas as estações contidas na bacia do rio Capibaribe e seus arredores.

Os dados fluviométricos foram obtidos para as estações fluviométricas dos postos de Santa Cruz do Capibaribe (39100000), Toritama (39130000), Limoeiro (39145000), Paudalho (39150000) e São Lourenço da Mata (39187800). Como alguns períodos apresentaram falhas, foram realizados ajustes por regressão linear entre os dados dos postos. Os dados de evapotranspiração foram obtidos através do site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) para a cidade de Surubim.

Os dados brutos ou consistidos, a depender de cada estação pluviométrica, foram organizados para compatibilizar os períodos de simulação e em colunas por dias corridos e cálculo de chuva média em cada sub-bacia. Para isso foram desenvolvidas as rotinas já citadas no item 3.4.

Para realizar as subdivisões da bacia do Rio Capibaribe foi utilizada a ferramenta TauDem, pertencente ao software livre QGIS, que além de gerar a subdivisão das bacias gera também a rede de rios (Figura 8), como é explicado no item 4.2.2. As sub-bacias escolhidas para realizar as subdivisões se deram a partir de cinco postos pluviométricos distribuídos na bacia, localizados nos municípios de São Lourenço da Mata, Paudalho, Limoeiro e Toritama.

**Figura 8 - Sub-bacias e rede hidrográfica da bacia do Capibaribe**

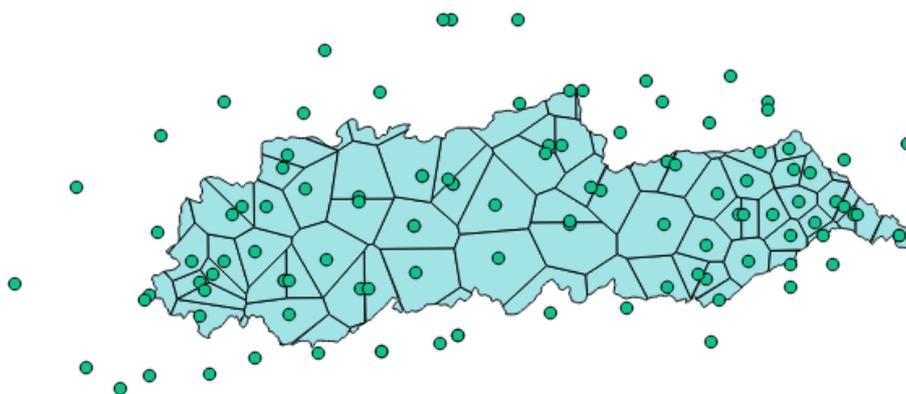


Fonte: Autor, 2018.

Após a subdivisão foram selecionados os postos pluviométricos da bacia e dos seus arredores que possuíam dados disponíveis e então foi traçado o polígono de Thiessen para obter os fatores de área necessários para realizar o cálculo da chuva média. O comando utilizado para esse traçado é chamado Polígono de Voronoi, no software QGIS (Figura 9).

A área de influência de cada posto pluviométrico foi obtida através do cálculo das áreas na calculadora de campo contida na tabela de atributos do programa. Com esses dados foram calculados os fatores de área, que são os valores de cada área de influência de cada posto pluviométrico dividida pelo somatório de toda área da sub-bacia.

**Figura 9 - Polígonos de Thiessen**



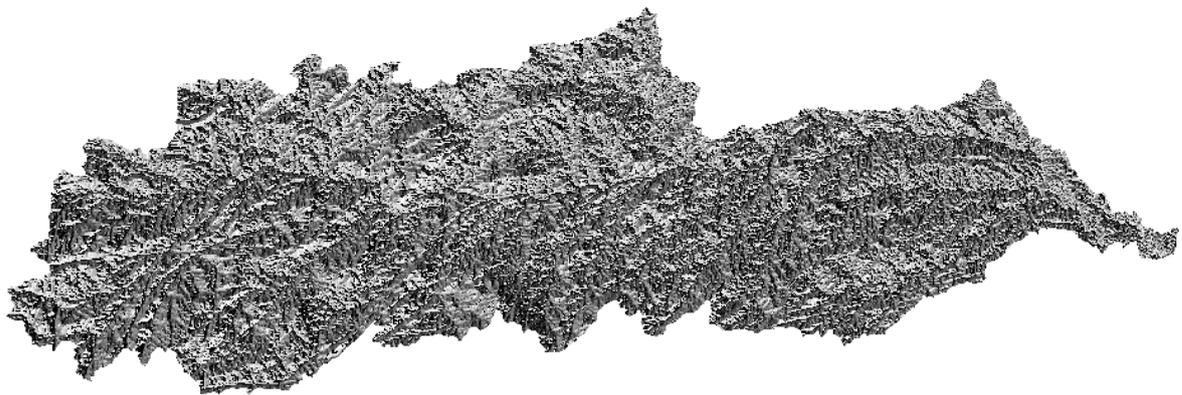
Fonte: Autor, 2018.

## 4.2 Geração de parâmetros das sub-bacias a partir do MDE

A geração dos parâmetros das sub-bacias a partir do modelo digital de elevação foi feita utilizando o produto SRTM e a ferramenta TauDem. O TauDem faz parte do software livre QGIS, utilizando uma série de algoritmos, que são:

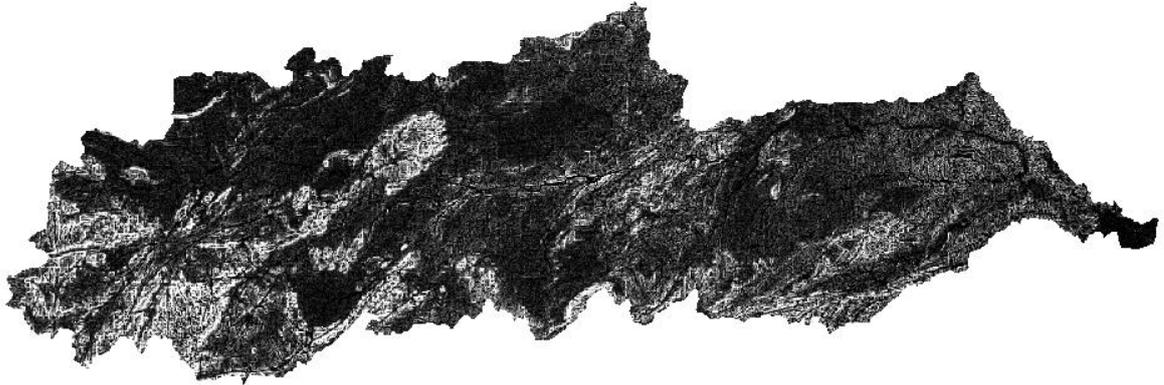
- Pit Remove, responsável por remover as depressões do “raster” (representação matricial do terreno por pixels) original;
- D8 Flows Direction, que gera dois rasters com a direção do fluxo (Figura 10) e declividade (Figura 11), possuindo como dados de entrada o arquivo gerado no “pit remove”;
- D8 Contributing Area, delimita a área de contribuição (Figura 12) a partir de um ponto de exutório;
- Stream Definition by Threshhold, que cria um raster contendo a rede de drenagem (Figura 13) seu dado de entrada é o raster da área de contribuição da bacia. Ao final, o arquivo “raster” precisa ser vetorizado (transformado em linhas que representam a rede de rios.

**Figura 10 - Raster de direção de fluxo para bacia do rio Capibaribe**



Fonte: Autor, 2018.

**Figura 11 - Raster de declividade para bacia do rio Capibaribe**



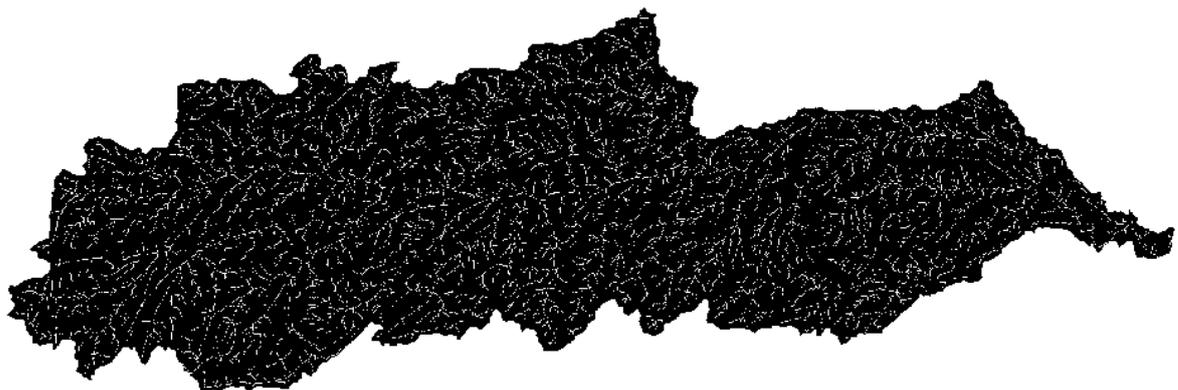
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 12 - Raster de área de contribuição para bacia do rio Capibaribe**



Fonte: Autor, 2018.

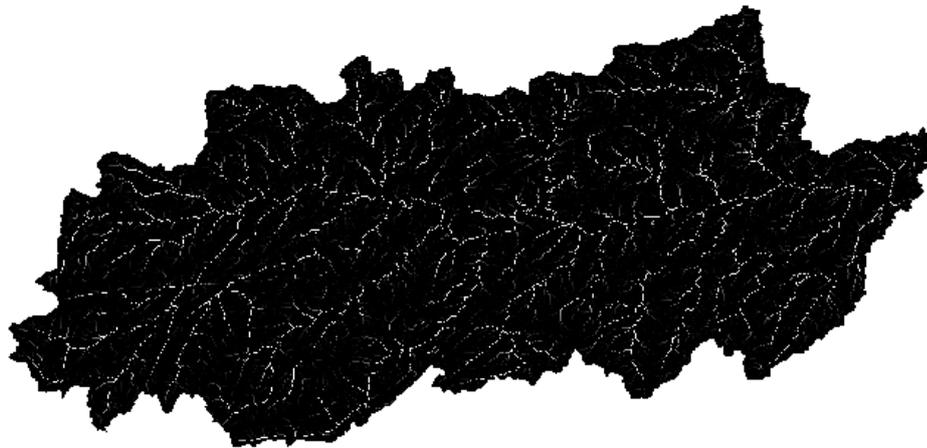
**Figura 13 - Raster de rede de drenagem para bacia do rio Capibaribe**



Fonte: Autor, 2018.

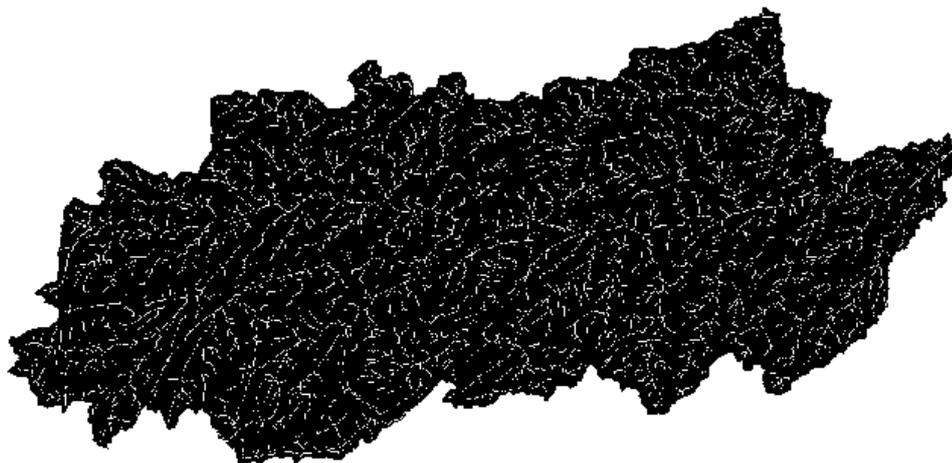
É criado um ponto localizado no exutório desejado da bacia e em seguida são refeitos alguns algoritmos, que são D8 Contributing Area (Figura 14), Stream Definition by Threshhold (Figura 15) e Stream Network Analysis Tools – Stream Reach and Watershed, transforma a rede de drenagem em shapefile (arquivo vetorial), e define uma simbologia para as microbacias. Esses algoritmos finalmente irão gerar a rede de rios (Figura 17) e as microbacias (Figura 16) pertencentes à sub-bacia. Esse procedimento é realizado para cada um dos postos fluviométricos escolhidos.

**Figura 14 – Raster de área de contribuição para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro**



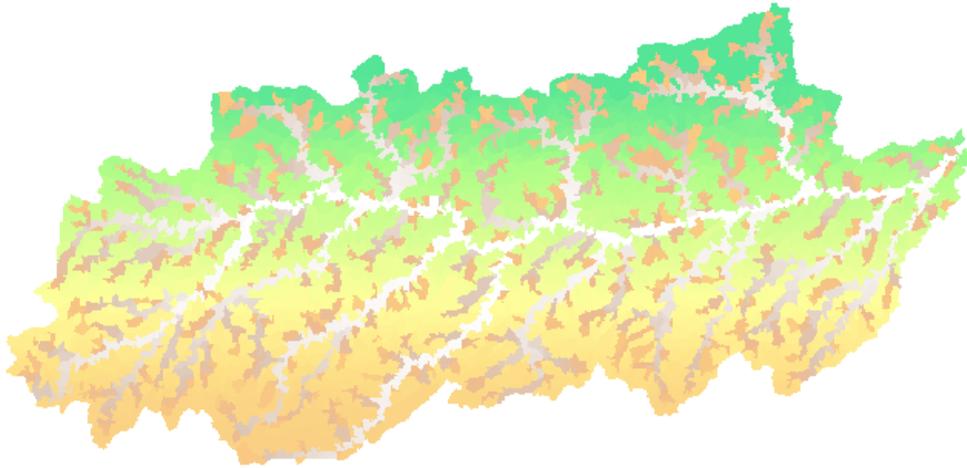
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 15 - Raster de rede de drenagem para sub-bacia a partir do posto de Limoeiro**



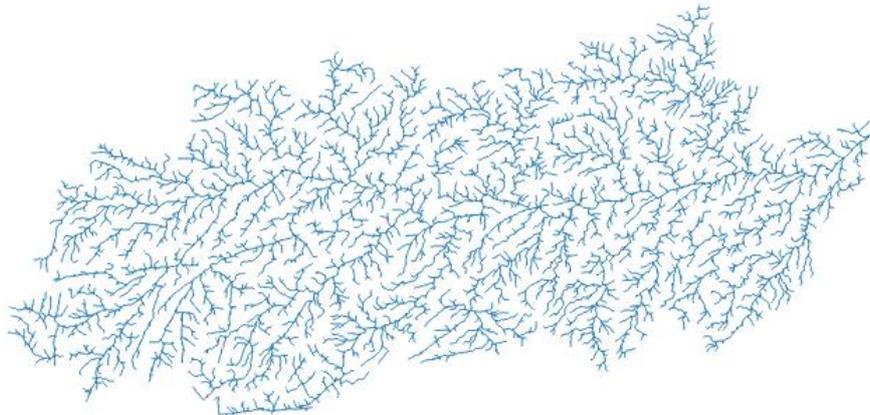
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 16 – Microbacias para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro**



Fonte: Autor, 2018.

**Figura 17 – Rede de Drenagem para a sub-bacia a partir do posto de Limoeiro**



Fonte: Autor, 2018.

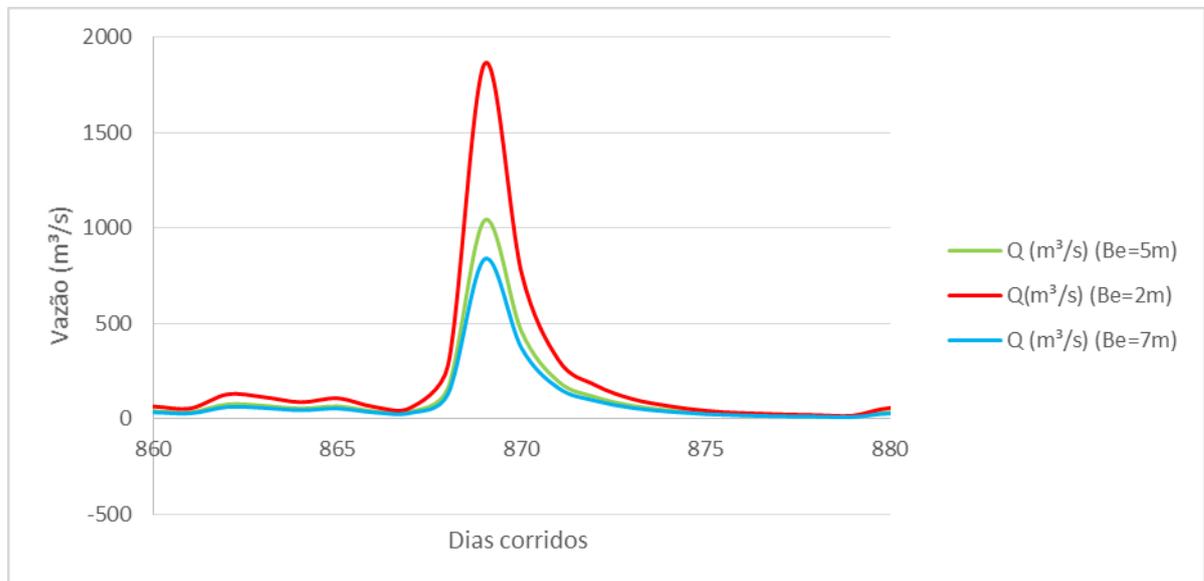
Alguns parâmetros são necessários como dados de entrada no modelo CAWM IV, para a realização do cálculo do parâmetro K (Equação 9): o somatório dos comprimentos da rede de drenagem de cada sub-bacia (m), a área da sub-bacia (km<sup>2</sup>), a declividade do rio principal (m/m).

A largura equivalente da rede de rios da bacia precisa ser estimada, porém esse valor é de fácil ajuste a partir da magnitude dos picos de cheia. A figura a seguir representa a influência do parâmetro  $B_e$  sobre o pico de um evento de cheia. O valor de  $B_e$  é inversamente proporcional aos valores das vazões de pico calculadas no hidrograma, sendo assim para valores maiores de  $B_e$  as vazões de pico diminuem. O coeficiente de Manning  $n$  é a rugosidade da calha dos rios, tendo sido estimado o valor de 0,03.  $C$  é uma constante de conversão de unidades igual a 1000.

$\Delta t$  é o intervalo de tempo em segundos, no caso igual a 86400. Com todos esses parâmetros é possível o cálculo do K.

A Figura 18 mostra a variabilidade do hidrograma de acordo com os valores de Be.

**Figura 18 - Variação de hidrograma de acordo com valor de Be para evento de pico de cheia da sub-bacia do posto fluviométrico de Limoeiro**



Fonte: Autor, 2018.

O cálculo do parâmetro K (Tabela 1) tem levado a bons resultados para declividades normais de rios como o Capibaribe (da ordem de  $10^{-4}$ , por exemplo), que não apresentam grandes declives. Para rios com declividades acentuadas, de acordo com as análises em andamento pela equipe que desenvolve o modelo, os valores de K obtidos não levam a bons resultados nas simulações.

**Tabela 1 - Cálculo do K para cada sub-bacia**

	Toritama	Limoeiro	Paudalho	São Lourenço da Mata
l (m/m)	0,00234	0,00235	0,00219	0,00215
Ab (km <sup>2</sup> )	2419,47750	5522,92416	6118,59942	7203,47492
Lt (m)	1926719,03798	4508891,07947	5008012,00331	5891544,52886
Be(m)	1,00000	4,50000	6,00000	6,00000
n	0,03000	0,03000	0,03000	0,03000
$\Delta t$ (s)	86400,00000	86400,00000	86400,00000	86400,00000
c	1000,00000	1000,00000	1000,00000	1000,00000
K	0,08423	0,01301	0,00931	0,00785

Fonte: Autor, 2018.

Isso é compreensível, visto que o escoamento deixa de ser bem representado pela fórmula de Manning, de onde deriva a expressão de cálculo. Nesses casos deve-se considerar  $K$  como um parâmetro a calibrar. Outra ressalva a considerar é que a densidade de drenagem deve ser bem detalhada, com rios de oito ordens segundo a classificação de Strahler. Isso permite maior refinamento na capacidade da calha fluvial.

Para bacias menores tem sido utilizada a base de dados espaciais PE3D para geração da malha de rios. O tempo de processamento, porém, é muito elevado quando as bacias são da ordem de grandeza do Capibaribe. Como pequenos desvios no traçado do rio não afetam muito o cálculo dos parâmetros da bacia, o uso de dados SRTM é razoável para o propósito do trabalho.

### 4.3 Calibração do CAWM IV

No presente trabalho foi utilizado o modelo hidrológico Campus Agreste Watershed Model versão 4 (CAWM IV). A calibração dos modelos hidrológicos é realizada através de testes, ajustando-se parâmetros de significado físico ou conceitual a partir de dados de entrada (precipitação, evaporação, características da bacia) processados para simular dados de saída (vazão dos rios) que são comparados iterativamente com registros históricos de vazões ou níveis até que o modelo represente de forma adequada o comportamento real da bacia (BALTOKOSKI et al,2010).

Os dados de entrada do modelo são a chuva média, vazão no ponto de exutório da sub-bacia em estudo, dados de evaporação. A chuva média é um dos dados de entrada do modelo CAWM IV. Os parâmetros calibráveis dessa versão do modelo são  $K_s$  (parâmetro de permeabilidade do solo),  $K_L$  (coeficiente linear de perdas) e  $S$  (máxima capacidade de retenção de água no solo). Os parâmetros são calibrados pela ferramenta Solver do programa Microsoft Excel, com a opção GRG de otimização não linear.

O valor do coeficiente da equação de vazão  $b$  é fixo com valor de  $5/3$ . O parâmetro do fator multiplicador da taxa de evapotranspiração a extrair do solo ( $\alpha$ ) é definido a partir do balanço hídrico total: comparação entre a lâmina total escoada (somatório das vazões medidas dividido pela área da sub-bacia); precipitação; evapotranspiração potencial, obtida das normais climatológicas do INMET. Daí se decide se a evapotranspiração deve ser ou não majorada e em que proporção.

Os dados hidrológicos de Santa Cruz do Capibaribe (chuva e vazão) se apresentaram com falhas e bastante desencontrados, de forma que não foram utilizados no estudo.

Os intervalos de tempo de dados utilizados foram, para São Lourenço, ente 1996 e 2017, Paudalho de 1966 a 2017, Limoeiro 1973 a 2015 e Toritama de 1973 a 2017. Esses intervalos correspondem à série de vazões de cada estação.

Com todos os dados obtidos, procede-se a calibração do modelo CAWM IV. Essa calibração se fez através das escolhas dos grandes eventos do hidrograma contendo todos os dados fluviométricos obtidos e calculados. Os intervalos do gráfico que melhor se adequam aos de cálculo são escolhidos para otimização dos parâmetros do modelo. A calibração é realizada diversas vezes para os diferentes eventos e então são escolhidos os parâmetros com melhor comportamento gráfico e melhores coeficientes estatísticos também para os períodos não utilizados na calibração.

A análise estatística entre os dados de chuva calculados e observados é feita com base em dois coeficientes estatísticos: o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) e o coeficiente de determinação  $R^2$ . Segundo Baltokoski et al (2010), o coeficiente de Nash-Suttcliffe é muito utilizado para indicar o nível de correlação de dados de modelos hidrológicos. O coeficiente varia de negativo infinito a 1, considerando-se 1 como a total correlação entre os dados. Segundo Silva et. al. (2008), o ajuste é considerado satisfatório no intervalo de 0,36 a 0,75, e muito bom acima de 0,75. Abaixo de 0,35 é considerado um ajuste inaceitável.

Já o coeficiente  $r^2$  varia de 0 a 1, sendo que o valor 1 representa a correlação perfeita e o valor 0 representa que não há nenhuma correlação. Esse coeficiente representa o quanto o modelo consegue representar as tendências dos dados observados.

A Equação 17 representa a função-objetivo utilizada. A função busca maximizar NS e minimizar a diferença entre os valores de vazão calculados e observados (a constante  $10^6$  destina-se a evitar valores muito baixos):

$$FOBJ = \frac{NS \cdot 10^6}{\sum abs(Q_{obs} - Q_{calc})} \quad (17)$$

Os resultados foram os parâmetros calibrados que representam o melhor ajuste entre os dados fluviométricos observados e calculados pelo modelo CAWM IV. Também foram obtidos os coeficientes estatísticos indicadores dos melhores ajustes e os hidrogramas para todo o período de dados analisados.

Os valores dos parâmetros calibrados encontram-se indicados na Tabela 2. A constante  $\alpha$  (fator multiplicador da taxa de evapotranspiração a extrair do solo) que é definida de acordo com o grau de evapotranspiração da sub-bacia em estudo foi adotado 50, para permitir que a evapotranspiração seja a máxima possível.

O valor de  $b$ , que é um coeficiente da equação de vazão que escoar no rio foi considerado igual a  $5/3$  em todos os casos, conforme demonstrado no capítulo 2. O valor de  $K$  foi calculado para cada sub-bacia e seus valores encontram-se na Tabela 2. Para  $K_s$  (parâmetro de permeabilidade do solo), a sub-bacia que levou ao maior valor foi a de Toritama e ao menor a de Limoeiro.

**Tabela 2 - Parâmetros calibrados**

Parâmetro	Sub-bacia Limoeiro	Sub-bacia Paudalho	Sub-bacia Toritama	São Lourenço da Mata
S	110,44843	67,68006	96,07159	292,13439
$K_L$	0,07598	0,06469	0,26358	0,00410
$K_s$	0,00595	0,00511	0,13653	0,00000
$b$	1,66667	1,66667	1,66667	1,66667
$K$	0,01301	0,00931	0,08423	0,00785
Be	4,50000	6,00000	1,00000	6,00000
$\alpha$	50,00000	50,00000	50,00000	50,00000

Fonte: Autor, 2018.

Foram escolhidos três gráficos de hidrogramas por sub-bacia com os três melhores ajustes de acordo com o coeficiente de Nash. As linhas de coloração verde representam os dados pluviométricos, em azul os dados fluviométricos obtidos em campo e os dados de vazão calculados são os de coloração vermelha. A calibração para a estação fluviométrica da cidade de São Lourenço da Mata não foi adequada, pois os dados de vazão obtidos, a partir do ano 1996, foram influenciados pela construção das barragens de Tapacurá (1978), Goitá (1978), Carpina (1992), Poço Fundo (1987) e Juczinho (1998). Essa interferência fez com que os hidrogramas não representassem o comportamento normal da vazão do rio no ponto em estudo (Figura 28). Como não era possível de ser calibrado, foram utilizados os parâmetros obtidos na calibração de Paudalho, posto mais próximo de São Lourenço da Mata.

Os resultados das calibrações e simulações do modelo hidrológico para as sub-bacias delimitadas a partir dos postos fluviométricos de Limoeiro (Figuras 22, 23 e 24), Toritama (Figuras 19, 20 e 21) e Paudalho (Figuras 25, 26 e 27), encontram-se a seguir. O resultado para o posto de Paudalho teve bons ajustes até 1990, quando passou a sofrer a influência das barragens construídas na bacia.

Nos dias 17/05/1975 e 01/05/1977 ocorreram grandes eventos de cheia na bacia do rio Capibaribe. O modelo acompanha esses grandes eventos como um dos três melhores ajustes para todos os casos, como é visto nas Figuras 20, 22, 23 e 24.

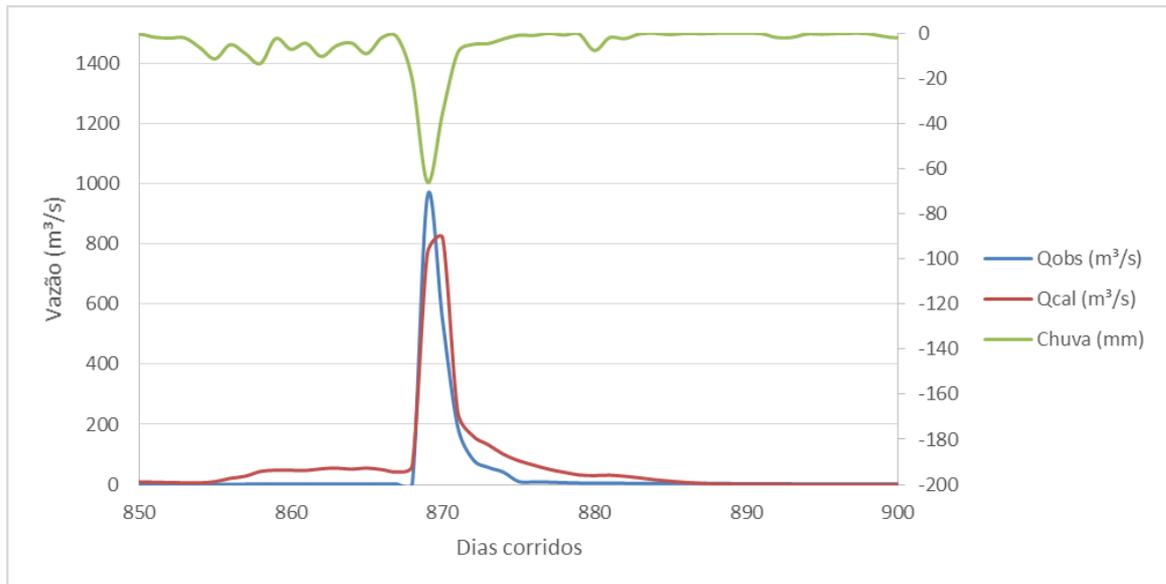
O período utilizado para calibração de cada sub-bacia a partir dos postos fluviométricos foi: Limoeiro, 19/03/1977 a 14/11/1977; Paudalho, 23/03/1977 a 20/08/1977; Toritama, 30/03/1992 a 19/04/1992; São Lourenço da Mata, 09/12/2003 a 15/08/2004.

**Figura 19 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (27/01/2004 a 27/03/2004)**



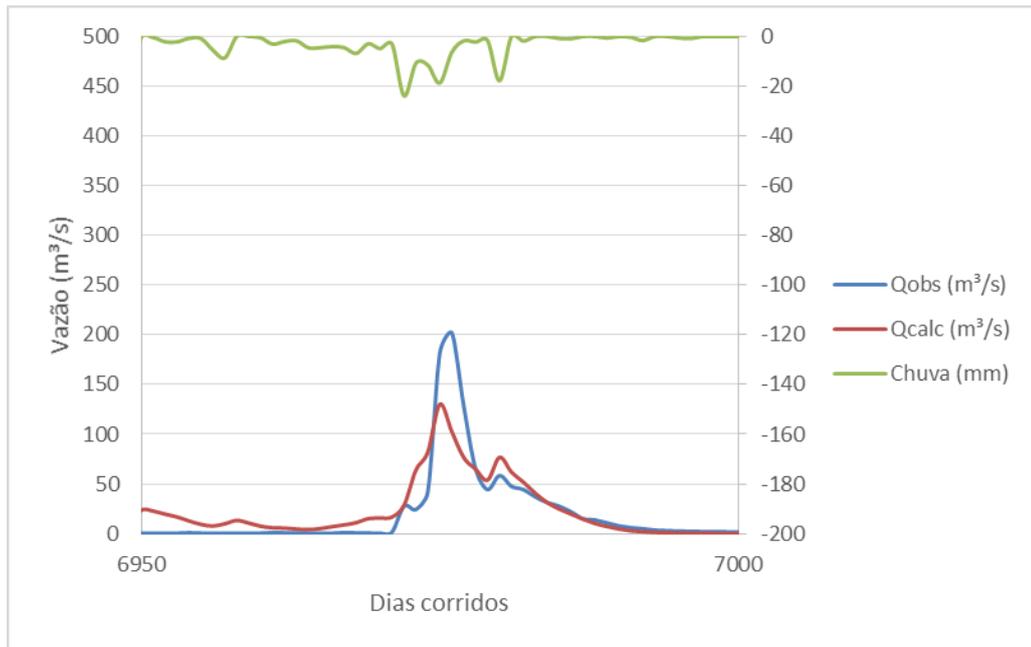
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 20 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (28/06/1975 a 17/08/1975)**



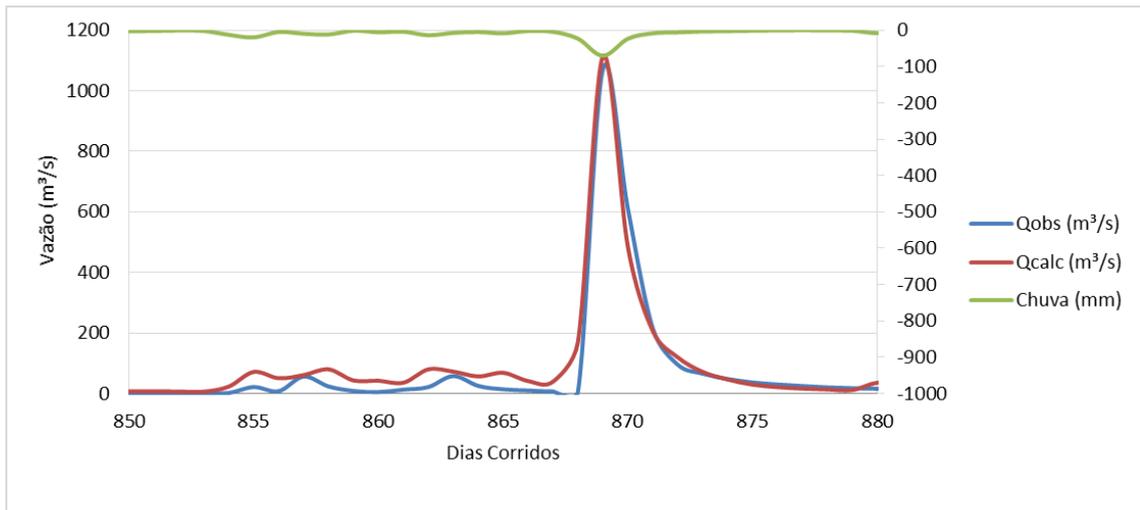
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 21 - Ajuste para a sub-bacia de Toritama (10/03/1992 a 29/04/1992)**



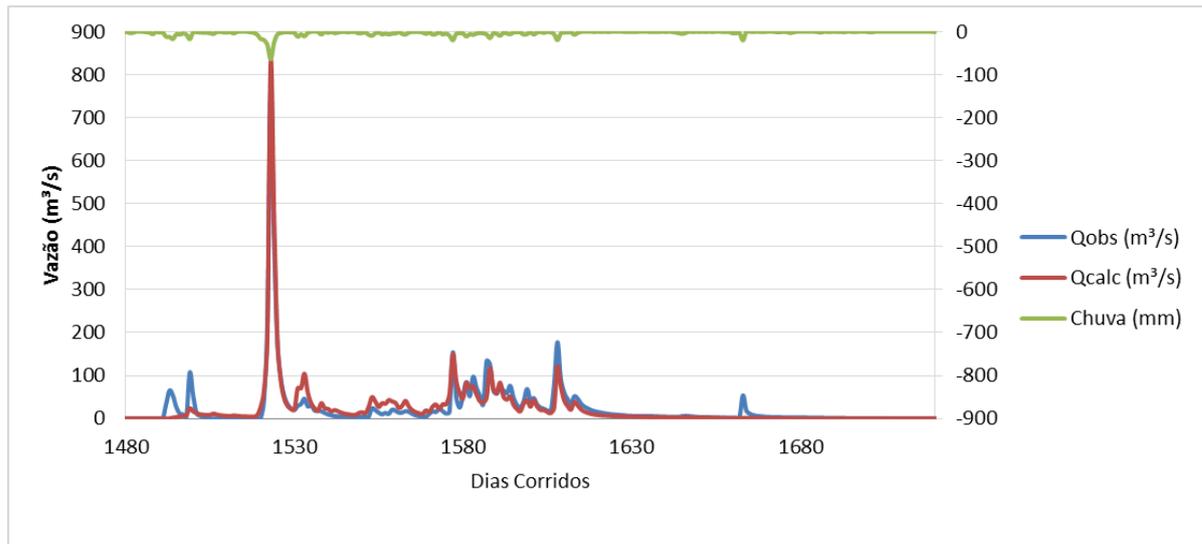
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 22 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (28/06/1975 a 17/08/1975)**



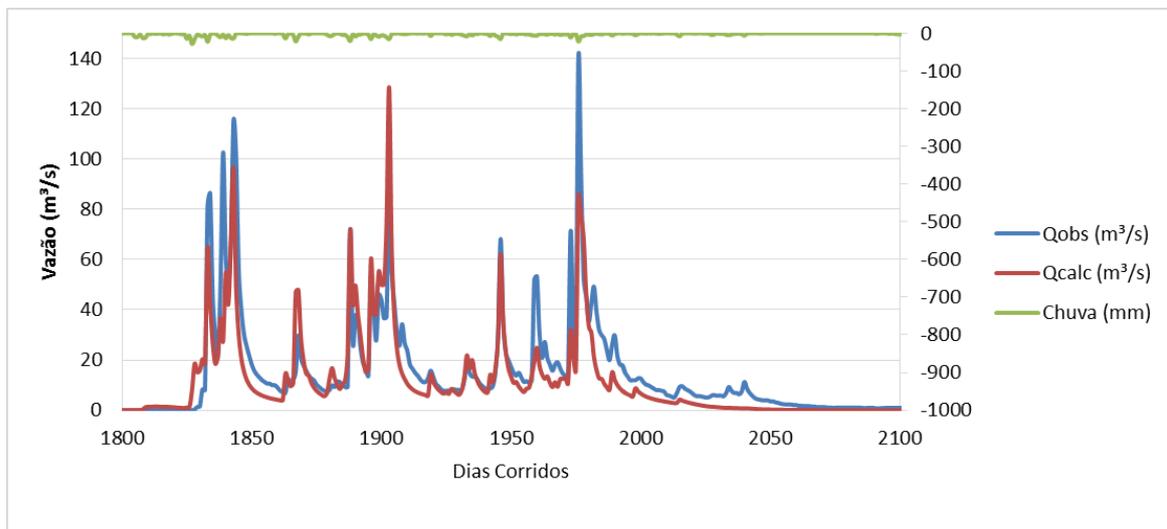
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 23 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (17/03/1977 a 14/11/1977)**

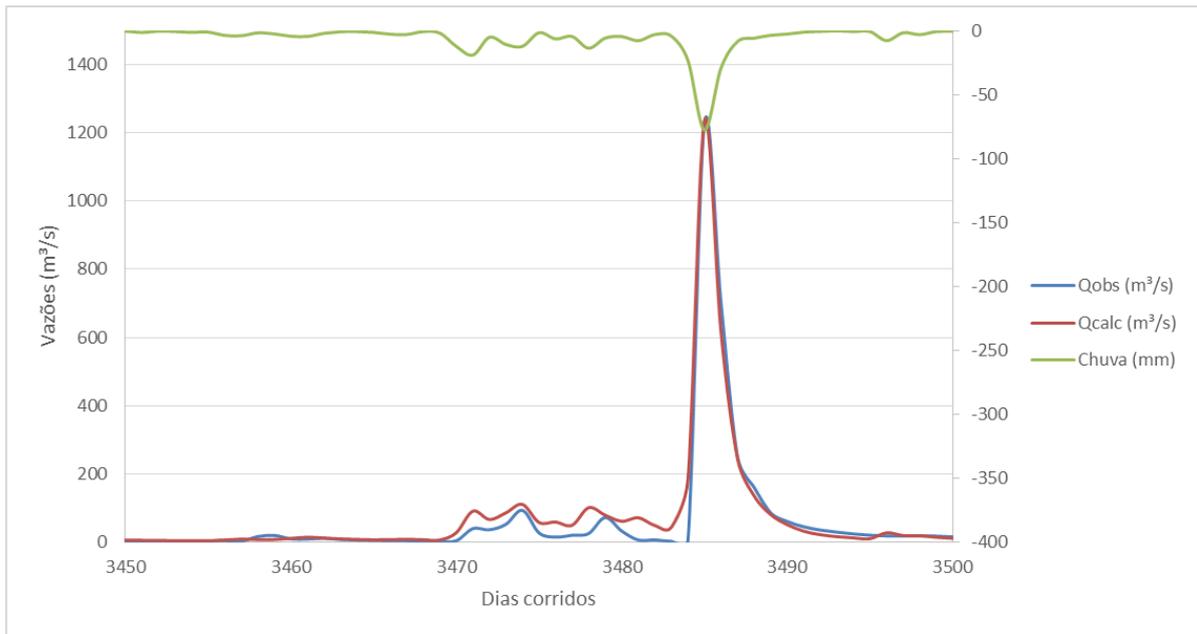


Fonte: Autor, 2018.

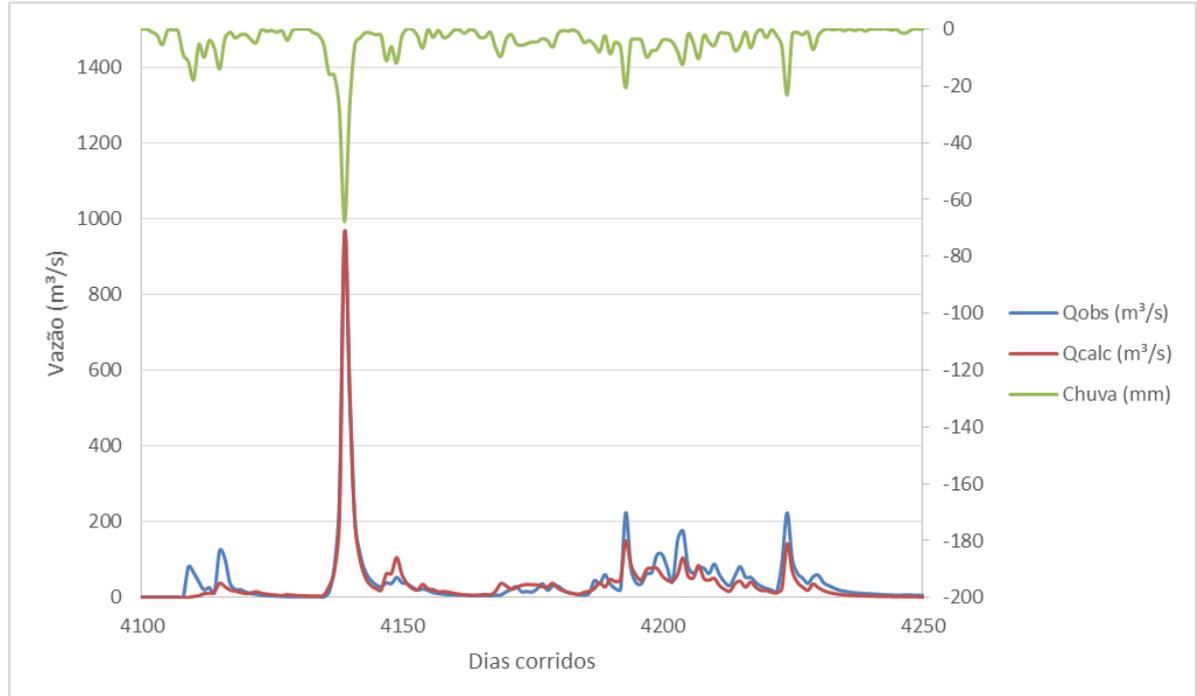
**Figura 24 - Ajuste para a sub-bacia de Limoeiro (02/02/1978 a 29/11/1978)**



Fonte: Autor, 2018.

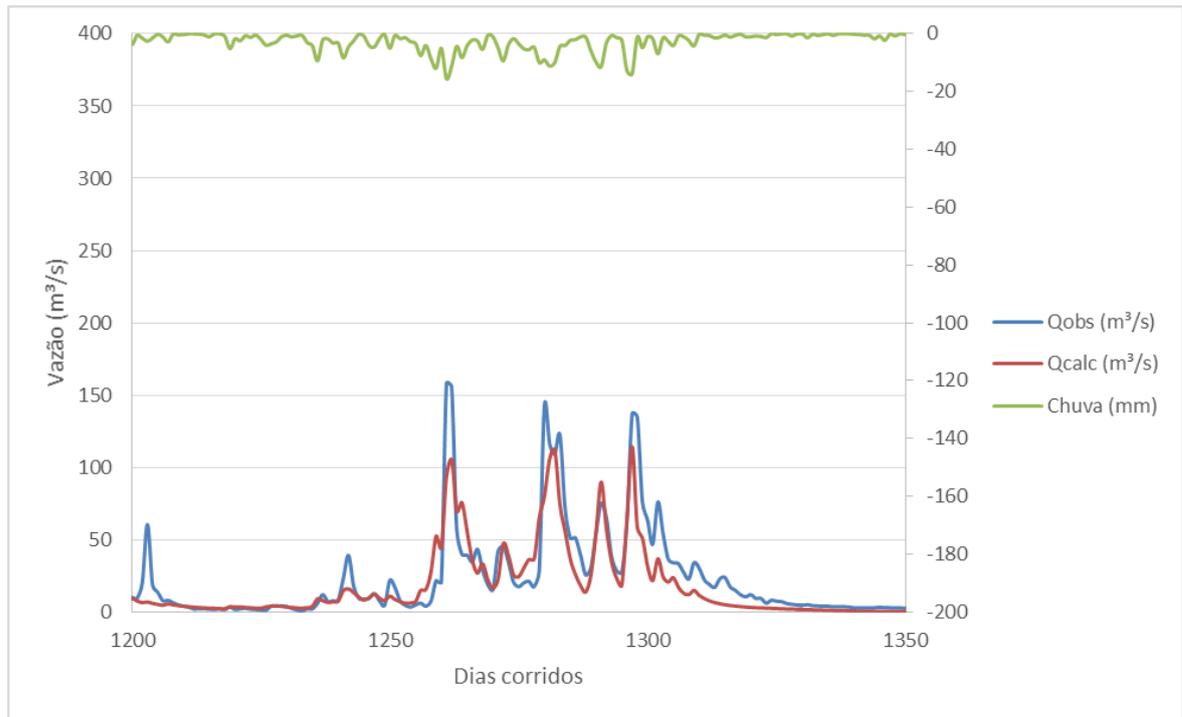
**Figura 25 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (13/01/1975 a 09/11/1975)**

Fonte: Autor, 2018.

**Figura 26 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (23/03/1977 a 20/08/1977)**

Fonte: Autor, 2018.

**Figura 27 - Ajuste para a sub-bacia de Paudalho (14/04/1969 a 11/09/1969)**



Fonte: Autor, 2018.

**Figura 28 - Ajuste para a sub-bacia de São Lourenço da Mata (08/11/2005 a 28/12/2005)**



Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 3 contém os coeficientes estatísticos para os cinco maiores valores dos coeficientes de Nash e  $r^2$ . O ajuste para Limoeiro e Paudalho, com três coeficientes muito bons e dois satisfatórios, com dois coeficientes superiores a 0,9. Para Toritama foram quatro

resultados muito bons e um satisfatórios. São Lourenço da Mata com três aceitáveis e dois inaceitáveis. Para os três primeiros casos não houveram resultados ruins para os cinco maiores coeficientes ajustados. Ressalte-se, como já explicado anteriormente, que a calibração foi feita somente com um evento de cheia. Eventualmente um segundo evento foi utilizado para validação e para todos os demais não houve nova calibração de parâmetros.

Para São Lourenço da Mata, conforme já citado, os dados são mais recentes, de período onde todas as barragens se encontram em operação, o que influencia completamente a vazão observada.

**Tabela 3 - Coeficientes de Nash-Suttcliffe e de determinação R<sup>2</sup>**

Limoeiro		Paudalho		Toritama		São Lourenço da Mata	
Coeficiente de Nash e Suttcliffe	r <sup>2</sup>	Coeficiente de Nash e Suttcliffe	r <sup>2</sup>	Coeficiente de Nash e Suttcliffe	r <sup>2</sup>	Coeficiente de Nash e Suttcliffe	r <sup>2</sup>
0,957	0,959	0,969	0,969	0,873	0,938	0,738	0,666
0,934	0,934	0,944	0,942	0,864	0,888	0,676	0,693
0,773	0,744	0,793	0,776	0,812	0,734	0,550	0,415
0,738	0,746	0,750	0,765	0,785	0,786	0,144	0,275
0,692	0,674	0,569	0,623	0,679	0,593	-0,002	0,149

Fonte: Autor, 2018.

Os coeficientes de Nash-Suttcliffe para cada sub-bacia encontram-se classificados na Tabela 4, para seleção dos períodos chuvosos. A sub-bacia a partir do posto fluviométrico de Limoeiro teve o melhor desempenho e o de São Lourenço da Mata, como já era esperado, o pior. Os eventos cujos coeficientes foram inaceitáveis são em sua maioria aqueles influenciados pela presença das barragens, o que é esperado.

**Tabela 4 - Coeficientes de Nash-Suttcliffe de cada sub-bacia**

	Muito Bom NS ≥ 0,75	Bom ou Regular 0,36 ≤ NS < 0,75	Inaceitável NS < 0,36
Limoeiro	3	7	4
Paudalho	4	3	6
Toritama	4	3	7
São Lourenço da Mata	1	2	6

Fonte: Autor, 2018.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os modelos hidrológicos são de suma importância para diversos usos no planejamento dos recursos hídricos, o que inclui o preenchimento de dados inexistentes, previsão de vazões, realizações de estudos relacionados às modificações nas bacias hidrográficas e o impacto dessas modificações nas vazões dos rios.

O Campus Agreste Watershed Model é um modelo desenvolvido na UFPE que está em constante aprimoramento e a simplicidade na obtenção dos seus parâmetros e calibração é seu diferencial. Essa facilidade é útil para ampla utilização por facilitar a geração de informações necessárias em projetos de engenharia, por exemplo, que em muitos casos são inexistentes. O CAWM, em suas diferentes versões, busca cada vez mais relacionar os parâmetros com dados físicos da bacia. Essa característica é útil não apenas para facilitar a calibração, mas também para auxiliar o processo de regionalização, de modo a aplicar o modelo em bacias onde os dados hidrológicos são escassos ou inexistentes.

Os resultados da aplicação do modelo à bacia do rio Capibaribe foram em geral bons, particularmente para eventos que tiveram pouca ou nenhuma influência de barramentos, o que naturalmente modifica as vazões a jusante. Observou-se que a versão utilizada, o CAWM IV, apresentou simulação de vazões em geral adequadas não somente para os eventos mais chuvosos como também no longo período, o que amplia seu potencial de uso.

Aprimoramentos importantes se encontram em andamento no Campus Agreste e no Grupo de Recursos Hídricos do CTG/UFPE da plataforma de modelos CAWM:

- Aplicação do modelo CAWM IV para as demais bacias hidrográficas do semiárido de Pernambuco, buscando reforçar a consistência do modelo;
- Adequação do modelo para bacias maiores, com a utilização de histogramas tempo-área para casos de tempo de concentração maiores que o intervalo de tempo considerado, no caso um dia;
- Adequação do modelo para simulação do escoamento em áreas úmidas, de modo a ampliar seu uso para qualquer tipo de bacia hidrográfica;
- Aplicação dos modelos para simular eventos de cheia com pequeno intervalo de tempo, utilizando os dados de estações telemétricas;
- Criação de modelo distribuído por sub-bacias, incluindo a operação de reservatórios, para melhor simular os eventos influenciados pelas barragens.

## REFERÊNCIAS

- ANA. **Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos**. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em 04 fev. 2018.
- APAC: disponível em: < <http://www.apac.pe.gov.br/>>. Acesso em: Jul.2018.
- APAC. **Bacia do rio Capibaribe**. Disponível em: < [http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=14](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14)>. Acesso em: 10 mai. 2018.
- ÁVILA, C. J. C. P. et al. Geoprocessamento da informação hidrológica. **ASFAGRO: trabalhos técnicos**, 2007.
- BALTOKOSKI, V.; TAVARES, M. H. F.; MACHADO, R. E.; OLIVEIRA, M. P. de. **Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro–Pato Branco (PR)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 34, n. 1, p. 253-261, 2010.
- BERRY, J. K.; SAILOR, J. K. Use of a geographic information system for storm runoff prediction from small urban watersheds. **Environmental Management**, v. 11, n. 1, p. 21-27, 1987
- BORSOI, Z. M. F.; TORRES, S. D. A. **A política de recursos hídricos no Brasil**. 1997.
- CALIJURI, M. L.; MEIRA, A. D.; PRUSKI, F. F. Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. 1998. p. 200-225.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. 2001.
- CARVALHO NETO, J. G. **Modelagem e valoração de serviço ambiental hidrológico na bacia hidrográfica do rio Una – Pernambuco**. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, CTG, Universidade Federal de Pernambuco, 2018.
- CIRILO, J.A. (2018). **Notas de Aula da Disciplina Recursos Hídricos**. Disponíveis em [https://mega.nz/#F!lh8ymarS!-ZCLlqLATO3\\_V97LM7qAXQ](https://mega.nz/#F!lh8ymarS!-ZCLlqLATO3_V97LM7qAXQ) . Acessado em 6/5/2018.
- CIRILO, J. A.; CABRAL, J. J. S. P.; FERREIRA, J. P. L.; OLIVEIRA, M. J. P.; LEITÃO, T. E.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; GOES, V. C. O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas. **Recife: UFPE**, 2007.
- CIRILO, J. A.; ALVES, F.H.B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. (2014). Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, p. 755-763.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Ajuste multiobjetivo dos parâmetros de um modelo hidrológico**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 8, n. 3, p. 27-39, 2003.

- CRAWFORD, N. H. Digital simulation in hydrology: Stanford watershed model IV. **Stanford Univ. Tech. Report.**, v. 39, 1966.
- CUNHA, L. K. 2004. **Sistemas avançados de previsão hidrológica e operação hidráulica em tempo real**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 239p
- DANTAS, C. E. O.; CIRILO, J. A.; NETO, A. R.; SILVA, E. R. Caracterização da Formação de Cheias na Bacia do Rio Una em Pernambuco—Análise Estatística **Regional. Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 239-48, 2014.
- SILVA, J. X. **O que é geoprocessamento?**. Revista do CREA-RJ, p. 42-44, 2009.
- EDIJATNO, M. C., 1989. Um modele pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche* (2), 113-121.
- FARR, T. G.; KOBRICK, M. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 81, n. 48, p. 583-585, 2000.
- FAYAL, M. A. de A. 2008. **Previsão de vazão por redes neurais artificiais e transformada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 158p.
- GANZELI, J. P.; GOLDENSTEIN, S. **Planejamento de recursos hídricos**. Revista de Administração de Empresas, v. 34, n. 1, p. 38-49, 1994.
- GOMES, M. P.; AGUIAR, M. C. de; FERREIRA, M. E. Fundamentos de Geoprocessamento. **Treinamento SEMARH/SIAD. Goiás**, 2005.
- INMET. **Normais Climatológicas do Brasil**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>>. Acesso em: 20 fev. 2018.
- KAISER, I.M. 2006. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos**. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos, Univerdidade de São Paulo, São Carlos.
- LANNA, A. E. **MAG1 – MODHAC97: Modelo Hidrológico Auto-Calibrável**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, 1997.
- LIMA, L. S. 2011. **Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica**. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de sistemas Ambientais), instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 95p.
- LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Applied hydrology**. The McGraw-Hill Book Company, Inc.; New York, 1949.
- LOPES, J. E. G.; BRAGA JR, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. SMAP-A simplified hydrologic model. **Applied modeling in catchment hydrology/ed. by VP Singh**, 1982.

LOU, R. F. **Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na bacia experimental do rio Piabanha/RJ**. 2010. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

LUCAS, E. W. M.; SOUZA, F. de A. S.; SILVA, F. D. dos S.; LUCIO, P.S. **Modelagem hidrológica determinística e estocástica aplicada à região hidrográfica do Xingu-Pará**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 3, p. 308-322, 2009.

MACHADO, R E.; VETTORAZZI, C. A.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 147-155, 2003.

MARINHO FILHO, G. M.; ANDRADE, R. da S.; JUNIOR, J. C. Z.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L. Modelos hidrológicos: conceitos e aplicabilidades. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 35-47, 2013.

MELO, H. de A.; CUNHA, J. E. B. L.; NÓBREGA, R. L. B.; RUFINO, I. A. A.; GALVÃO, C. de O. Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): Integração possível. **IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2008.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. Geoprocessamento em Recursos hídricos Princípios, integração e Aplicação. 2a Edição Revista e Ampliada. Porto Alegre: ABRH, 2013, v.1. p.572.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. **Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica. Manejo e Conservação do Solo e da Água no Contexto das Mudanças Ambientais**. 1ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2010.

MORAES, J. M. **Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 8(1):61-70, 2003.

NASONOVA, O. N. **Application of a land surface model for simulating rainfall streamflow hydrograph: 2. Comparison with hydrological models**. Water Resources Research, v. 38, n. 3, p. 274-283, 2011.

PE3D - PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL. Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

QGIS BRASIL: disponível em: <[www.qgis.org/pt\\_BR/site/](http://www.qgis.org/pt_BR/site/)>. Acesso em: Jun. 2018.

RIBEIRO NETO; A.; CIRILO, J. A.; DANTAS, C.E.O.; SILVA, E. R. **Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: simulação hidrológico-hidrodinâmica**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.20, p.394 - 403, 2015.

ROCKWOOD, D. M.; NELSON, M. L. Computer application to streamflow synthesis and reservoir regulation. In: **International Commission on Irrigation and Drainage, Sixth Congress**. 1966.

SILVA, J. M. A. **Modelo hidrológico para o cálculo do balanço hídrico e obtenção do hidrograma de escoamento superficial em bacias hidrográficas: desenvolvimento e aplicação.** 2002.

TRAORE, V. B.; SAMBOU, S.; TAMBA, S.; DIAW, A. T.; CISSE, M. T.; FALL, S. Calibrating the rainfall-runoff model GR4J and GR2M on the Koulountou river basin, a tributary of the Gambia river. **American Journal of Environmental Protection**, v. 3, n. 1, p. 36-44, 2014.

TRAVASSOS, P. E. P.; DE MACÊDO, S. J.; KOENING, M. L. **Aspectos hidrológicos do estuário do rio Capibaribe (Recife-Pernambuco-Brasil).** Tropical Oceanography-ISSN: 1679-3013, v. 22, n. 1, 1993.

TRZESNIAK, P. **Indicadores quantitativos: reflexões que antecedem seu estabelecimento.** Ciência da Informação, v. 27, n. 2, 1998.

TUCCI, Carlos E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4. Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2012. v.4, 943 p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 678p.

TUCCI, C. E. M.; ORDONEZ, J. S.; SIMÕES LOPES, M. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Fortaleza**, 1981.

VALERIANO, MM TOPODATA. Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. **São José dos Campos: INPE**, 2008.

VIRÃES, M. V. **Regionalização de parâmetros de modelo hidrológico para a região semiárida do nordeste brasileiro.** 2018. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia da UFPE.

## APÊNDICE A – CÓDIGOS DE TRATAMENTO DE DADOS

### **Código que transforma arquivos no formato .csv para .xls: *CSVpXLS1***

```
Sub CSVpXLS1()
```

```
Dim wb As Workbook
```

```
Dim strFile As String, strDir As String, strOut_Dir As String, myNewFileName As String
```

```
strDir = "C:\Users\Usuario\Downloads\ESTAÇÕES - FORA\" 'location of csv files
```

```
strFile = Dir(strDir & "*.csv")
```

```
Do While strFile <> ""
```

```
    Set wb = Workbooks.Open(Filename:=strDir & strFile, Local:=True)
```

```
    With wb
```

```
        .SaveAs Replace(wb.FullName, ".csv", ".xls"), 56 'UPDATE:
```

```
        .Close True
```

```
    End With
```

```
    Set wb = Nothing
```

```
strFile = Dir
```

```
Loop
```

```
End Sub
```

### **Criação de matriz que salva arquivos com modificações em outra pasta:**

#### ***SalvarMesmoNome2***

```
Sub SalvarMesmoNome2()
```

```
'Procedimento para selecionar arquivos
```

```
Dim fDlg As FileDialog
```

```
Dim lArquivo As String
```

```
Dim linha As Integer
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim coluna As Integer
```

```
Dim Name As Single
```

```
Dim wb As Workbook
```

```
Dim strFile As String, strDir As String, strOut_Dir As String, myNewFileName As String
```

```
strDir = "C:\Users\User\Desktop\PASTA_INICIACAO_CIENTIFICA\Calibracao_ateLimoeiro\abc\"
strFile = Dir(strDir & "*.xls")
```

```
Do While strFile <> ""
```

```
varConteudo = 1
```

```
Set wb = Workbooks.Open(FileName:=strDir & strFile, Local:=True)
```

```
With wb
```

```
    .Activate
```

```
    Sheets(1).Select
```

```
    Columns.Copy
```

```
    ThisWorkbook.Activate
```

```
    Sheets(1).Activate
```

```
    Cells(1, 1).Activate
```

```
    ActiveSheet.Paste
```

```
    ThisWorkbook.Activate
```

```
    Sheets(1).Activate
```

```
' Contador de linhas
```

```
    linha = 14
```

```
    Do While varConteudo <> Empty 'continua a verificar se conteudo for diferente de vazio
```

```
        linha = linha + 1 'contador de linha
```

```
        varConteudo = Cells(linha, 1).Value 'grava o valor da celula
```

```
    Loop
```

'Preenchendo os valores com -1

```

coluna = 14
linha = linha - 1

For coluna = 14 To 44
For i = 14 To linha
If Cells(i, coluna) = "" Then
Cells(i, coluna) = -1
End If
Next i
Next coluna

```

' Ordenar os dados originais

```

Range(Cells(14, 1), Cells(linha, 75)).Select
ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Add Key:=Range(Cells(14, 3),
Cells(linha, 3)) _
, SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort
.SetRange Range(Cells(14, 1), Cells(linha, 75))
.Header = xlYes
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With

```

'Colocando os dados no formato mês-ano

```

Columns(3).Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.NumberFormat = "mmm-yyyy"

```

'Excluindo valores de vazão com duplicidade

```
For contador = 15 To linha
ajuda = contador + 1
Data1 = Cells(contador, 3).Value
Data2 = Cells(ajuda, 3).Value
j1 = Cells(contador, 2).Value
j2 = Cells(ajuda, 2).Value
If Data1 = Data2 Then
If j1 = 1 And j2 = 2 Then
Rows(contador).Delete
contador = contador - 1
Else
If j1 = 2 And j2 = 2 Then
Rows(contador).Delete
contador = contador - 1
End If
If j1 = 2 And j2 = 1 Then
Rows(ajuda).Delete
contador = contador - 1
End If
If j1 = 1 And j2 = 1 Then
Rows(contador).Delete
contador = contador - 1
End If
End If
End If
Next contador
```

' Salvando arquivo com mesmo nome da estação

```
    Name = Range("A15").Value
    ThisWorkbook.SaveCopyAs
"C:\Users\User\Desktop\PASTA_INICIACAO_CIENTIFICA\Calibracao_ateLimoeiro\Chuva
_Final\" & Name & ".xls"
```

```
.Close

End With
Set wb = Nothing
strFile = Dir

Loop

End Sub
```

### **Código de criação de matriz com todos os postos pluviométricos: *FazMatriz1***

```
Sub FazMatriz1()
'Procedimento para selecionar arquivos
    Dim linha As Integer
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim coluna As Integer

    Dim wb As Workbook
    Dim strFile As String, strDir As String, strOut_Dir As String, myNewFileName As String

    strDir = "C:\Users\carino\Desktop\Est_Final\"
    strFile = Dir(strDir & "*.xls")

    Do While strFile <> ""

        varConteudo = 1
        Set wb = Workbooks.Open(FileName:=strDir & strFile, Local:=True)

        With wb
            .Activate
            Sheets(1).Select
```

linha = 13

Do While varConteudo <> Empty 'continua a verificar se conteudo for diferente de vazio

linha = linha + 1 'contador de linha

varConteudo = Cells(linha, 1).Value 'grava o valor da celula

Loop

Range(Cells(1, 1), Cells(linha, 44)).Select

Selection.Copy

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

i = 1

Do While Not IsEmpty(Cells(i, 1))

i = i + 1

Loop

Cells(i, 1).Select

ActiveSheet.Paste

j = i

' Apagar as 13 primeiras linhas

l = i

k = l + 13

Rows(l & ":" & k).Select

Range("A" & k).Activate

Selection.Delete Shift:=xlUp

.Close

End With

Set wb = Nothing

```
strFile = Dir
```

```
Loop
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
Columns("D:M").Select
```

```
Selection.Delete Shift:=xlToLeft
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
Rows(1).Insert
```

```
Range("A1").Value = "Estacao"
```

```
Range("B1").Value = "NiveldeConsistencia"
```

```
Range("C1").Value = "Data"
```

```
Range("D1").Value = "Chuva01"
```

```
Range("E1").Value = "Chuva02"
```

```
Range("F1").Value = "Chuva03"
```

```
Range("G1").Value = "Chuva04"
```

```
Range("H1").Value = "Chuva05"
```

```
Range("I1").Value = "Chuva06"
```

```
Range("J1").Value = "Chuva07"
```

```
Range("K1").Value = "Chuva08"
```

```
Range("L1").Value = "Chuva09"
```

```
Range("M1").Value = "Chuva10"
```

```
Range("N1").Value = "Chuva11"
```

```
Range("O1").Value = "Chuva12"
```

```
Range("P1").Value = "Chuva13"
```

```
Range("Q1").Value = "Chuva14"
```

```
Range("R1").Value = "Chuva15"
```

```
Range("S1").Value = "Chuva16"
```

```
Range("T1").Value = "Chuva17"
```

```
Range("U1").Value = "Chuva18"
```

```
Range("V1").Value = "Chuva19"
```

```
Range("W1").Value = "Chuva20"
```

```
Range("X1").Value = "Chuva21"
```

```

Range("Y1").Value = "Chuva22"
Range("Z1").Value = "Chuva23"
Range("AA1").Value = "Chuva24"
Range("AB1").Value = "Chuva25"
Range("AC1").Value = "Chuva26"
Range("AD1").Value = "Chuva27"
Range("AE1").Value = "Chuva28"
Range("AF1").Value = "Chuva29"
Range("AG1").Value = "Chuva30"
Range("AH1").Value = "Chuva31"

```

```

ThisWorkbook.SaveCopyAs "C:\Users\carmo\Desktop\MatrizFinal.xls"

```

```

End Sub

```

### **Código para limpar o arquivo que calcula a chuva média: *ZerarValoresAntigos1***

```

Sub ZeraValoresAntigos1()
    Range("D2:AH500").Select
    Selection.ClearContents
End Sub

```

### **Código para escolher estações, ano e copiar fatores de área do polígono de Thiessen: *EstacoeseAno2***

```

Sub EstacoeseAno2()
' COPIANDO OS DADOS DAS ESTAÇÕES E DAS ÁREAS EM KM2
' Procedimento para selecionar arquivos
    Dim fDlg As FileDialog
    Dim lArquivo As String
    Dim j As Integer, n As Integer, m As Integer, o As Integer, a As Integer, y As Integer
    Dim Name As Single
    varConteudo = 1
    Dim myUnion As Range

```

```

Dim data As Date
Dim contest As Integer, contador As Integer
Dim estacao As Long, constante As Double
Dim ano As String
Dim i As Long, l As Long
Dim soma1 As Double, fatorarea As Double

```

'Chama o objeto passando os parâmetros

```
Set fDlg = Application.FileDialog(FileDialogType:=msoFileDialogOpen)
```

```
With fDlg
```

```

.AllowMultiSelect = False
.InitialView = msoFileDialogViewDetails
.Filters.Add "Texto", "*.xls;*.xlsx", 1
.InitialFileName = "C:\\"

```

```
End With
```

'Retorna o arquivo selecionado

```

If fDlg.Show = -1 Then
lArquivo = fDlg.SelectedItems(1)
MsgBox "O arquivo selecionado está em: " & lArquivo
Workbooks.Open(lArquivo).Activate
Sheets(1).Select
End If

```

```

Set myUnion = Union(Columns(1), Columns(5))
myUnion.Select
myUnion.Copy
ThisWorkbook.Activate
Sheets(1).Activate
Range("A1").Select
Selection.PasteSpecial

```

'Excluindo os anos existentes

```

ThisWorkbook.Activate
Sheets(1).Activate
Range(Cells(2, 3), Cells(200, 3)).Select
Selection.ClearContents

' PERGUNTANDO O ANO DE INÍCIO DO CÁLCULO AO USUARIO
While anoinicio = ""
    anoinicio = InputBox("Informe o ano inicial para o cálculo da chuva média: ")
Wend

' PERGUNTANDO O ANO DO FINAL DO CÁLCULO AO USUÁRIO
While anofim = ""
    anofim = InputBox("Informe o ano final para o cálculo da chuva média: ")
Wend

'Quantidade de anos
quantanos = anofim - anoinicio + 1
ThisWorkbook.Activate

'Contador de células existentes
i = 1
While Cells(i, 3) <> ""
    i = i + 1
Wend
i = i - 1

j = 0
contador = anoinicio

While contador <= anofim
    For n = 1 To 12
        Cells(n + j * 12 + i, 3).Value = DateSerial(contador, n, 1)
    Next n
    j = j + 1

```

```
contador = contador + 1
```

```
Wend
```

```
'Formatar data
```

```
Sheets(1).Select
```

```
Range("C1").Select
```

```
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
```

```
Selection.NumberFormat = "mmm-yyyy"
```

```
End Sub
```

### **Código que calcula a chuva média pelo método do polígono de Thiessen: *FazMedia3***

```
Sub FazMedia3()
```

```
Dim contador As Integer, estacao As Long
```

```
Dim meses As Integer, j As Integer, k As Integer, m As Integer
```

```
Dim GCell As Range, soma As Double, valordia As Double, area As Double
```

```
Dim matriz(12, 31) As Single
```

```
Dim vetor()
```

```
Dim i As Long, linha As Long
```

```
'Contando a quantidade de fatores de área
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
t = 1
```

```
While Cells(t, 2).Value <> ""
```

```
t = t + 1
```

```
Wend
```

```
t = t - 2
```

```
ReDim vetor(t - 1)
```

```
'Guardando os dados de fatores de área no vetor
```

```
For s = 0 To t - 1
```

```
vetor(s) = Cells(s + 2, 2).Value
```

Next s

'Contando a quantidade de anos de cálculo

x = 1

While Cells(x, 3).Value <> ""

x = x + 1

Wend

x = x - 2

quantidadedeanos = x / 12

'Laço geral que se repete a cada ano

For laco = 1 To quantidadedeanos

'AQUI COMEÇA O CÁLCULO DA DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES

'Substituindo os valores do vetor nas células

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

Var = 1

While Var <= t

Cells(Var + 1, 2).Value = vetor(Var - 1)

Var = Var + 1

Wend

linha = 2

'Contador do número estações e áreas

While Cells(linha, 2) <> ""

linha = linha + 1

Wend

linha = linha - 1

'Variáveis que guardam os valores das datas

Data1 = Cells((laco - 1) \* 12 + 2, 3)

Data2 = Cells((laco - 1) \* 12 + 3, 3)

Data3 = Cells((laco - 1) \* 12 + 4, 3)

Data4 = Cells((laco - 1) \* 12 + 5, 3)

Data5 = Cells((laco - 1) \* 12 + 6, 3)

Data6 = Cells((laco - 1) \* 12 + 7, 3)

Data7 = Cells((laco - 1) \* 12 + 8, 3)

Data8 = Cells((laco - 1) \* 12 + 9, 3)

Data9 = Cells((laco - 1) \* 12 + 10, 3)

Data10 = Cells((laco - 1) \* 12 + 11, 3)

Data11 = Cells((laco - 1) \* 12 + 12, 3)

Data12 = Cells((laco - 1) \* 12 + 13, 3)

contador1 = 2

For contador1 = 2 To linha

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

'Valores de estação, área e data

estacao = Cells(contador1, 1).Value

area = Cells(contador1, 2).Value

'Abrindo o arquivo Matriz final e ativando-o

Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice\_IC\Calibracoes\Toritama\MatrizFinal.xls").

Activate

Sheets(1).Activate

pp = 2

'Descobrimo a posição da estação no arquivo Matriz final

While Cells(pp, 1) <> estacao

pp = pp + 1

Wend

'Laço para ser realizado se o valor da estação for igual ao buscado

If Cells(pp, 1) = estacao Then

'Se for encontrada a estação, laço para encontrar a data

q = pp

While Cells(q, 3).Value <> Data1 And Cells(pp, 1) = estacao

q = q + 1

pp = pp + 1

Wend

'Laço para descobrir se há todos os valores de data

```
If Cells(q, 3).Value = Data1 And Cells(q + 1, 3).Value = Data2 And Cells(q + 2, 3).Value =
Data3 And Cells(q + 3, 3).Value = Data4 And Cells(q + 4, 3).Value = Data5 And Cells(q + 5,
3).Value = Data6 And Cells(q + 6, 3).Value = Data7 And Cells(q + 7, 3).Value = Data8 And
Cells(q + 8, 3).Value = Data9 And Cells(q + 9, 3).Value = Data10 And Cells(q + 10, 3).Value
= Data11 And Cells(q + 11, 3).Value = Data12 Then
```

```
'Comando executado caso haja algum valor faltando
```

```
Else
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
For i = 2 To linha
```

```
soma = 1 - area
```

```
Cells(i, 2) = Cells(i, 2) + (Cells(i, 2) / soma) * area
```

```
Next i
```

```
Cells(contador1, 2) = 0
```

```
End If
```

```
'Comando executado caso a estação não seja encontrada
```

```
Else
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
For i = 2 To linha
```

```
soma = 1 - area
```

```
Cells(i, 2) = Cells(i, 2) + (Cells(i, 2) / soma) * area
```

```
Next i
```

```
Cells(contador1, 2) = 0
```

```
End If
```

```
Next contador1
```

```
'AQUI COMEÇA O CÁLCULO DA CHUVA MÉDIA
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
linha = 2
```

```
'Contador do número estações e áreas
```

```
While Cells(linha, 2) <> ""
```

```
linha = linha + 1
```

```
Wend
```

```
linha = linha - 1
```

```
'Variáveis que guardam os valores das datas
```

```
Data1 = Cells((laco - 1) * 12 + 2, 3)
```

```
Data2 = Cells((laco - 1) * 12 + 3, 3)
```

```
Data3 = Cells((laco - 1) * 12 + 4, 3)
```

```
Data4 = Cells((laco - 1) * 12 + 5, 3)
```

```
Data5 = Cells((laco - 1) * 12 + 6, 3)
```

```
Data6 = Cells((laco - 1) * 12 + 7, 3)
```

```
Data7 = Cells((laco - 1) * 12 + 8, 3)
```

```
Data8 = Cells((laco - 1) * 12 + 9, 3)
```

```
Data9 = Cells((laco - 1) * 12 + 10, 3)
```

```
Data10 = Cells((laco - 1) * 12 + 11, 3)
```

```
Data11 = Cells((laco - 1) * 12 + 12, 3)
```

```
Data12 = Cells((laco - 1) * 12 + 13, 3)
```

```
contador = 2
```

```
For contador = 2 To linha
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
'Valores de estação, área e data
```

```
estacao = Cells(contador, 1)
```

```
area = Cells(contador, 2)
```

```
'Abrindo o arquivo Matriz final e ativando-o
```

```
Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice_IC\Calibracoes\Toritama\MatrizFinal.xls").
```

```
Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
p = 2
```

```
'Descobrimo a posição da estação no arquivo Matriz final
```

```
While Cells(p, 1) <> estacao
```

```
p = p + 1
```

```
Wend
```

'Laço para ser realizado se o valor da estação for igual ao buscado

If Cells(p, 1) = estacao Then

'Se for encontrada a estação, laço para encontrar a data

q = p

While Cells(q, 3).Value <> Data1 And Cells(p, 1) = estacao

q = q + 1

p = p + 1

Wend

'Laço para descobrir se há todos os valores de data

If Cells(q, 3).Value = Data1 And Cells(q + 1, 3).Value = Data2 And Cells(q + 2, 3).Value = Data3 And Cells(q + 3, 3).Value = Data4 And Cells(q + 4, 3).Value = Data5 And Cells(q + 5, 3).Value = Data6 And Cells(q + 6, 3).Value = Data7 And Cells(q + 7, 3).Value = Data8 And Cells(q + 8, 3).Value = Data9 And Cells(q + 9, 3).Value = Data10 And Cells(q + 10, 3).Value = Data11 And Cells(q + 11, 3).Value = Data12 Then

'Comando executado caso haja algum valor faltando

Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice\_IC\Calibracoes\Toritama\MatrizFinal.xls").

Activate

Sheets(1).Activate

For i = 1 To 12

For j = 1 To 31

matriz(i, j) = Cells(q + i - 1, j + 3).Value

Next j

Next i

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

For k = 1 To 12

For l = 1 To 31

If matriz(k, l) <> -1 Then

Cells(k + 1 + (laco - 1) \* 12, l + 3) = Cells(k + 1 + (laco - 1) \* 12, l + 3) + matriz(k, l) \* area

End If

Next l

Next k

End If  
 End If  
 Next contador

Next laco

End Sub

**Código para considerar dados inexistentes: *ValoresNegativos4***

Sub ValoresNegativos4()

Dim linha As Long, contador As Long, estacao As Long, laco As Long

Dim meses As Long, i As Long, j As Long, k As Long, m As Long, x As Long

Dim GCell As Range, soma As Double, valordia As Double, area As Double

Dim matriz(12, 31) As Single

Dim vetor()

'Contando a quantidade de anos de cálculo

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

x = 1

While Cells(x, 3).Value <> ""

x = x + 1

Wend

x = x - 2

quantidadedeanos = x / 12

'Laço geral que se repete a cada ano

For laco = 1 To quantidadedeanos

'AQUI COMEÇA O CÁLCULO DA MÉDIA ARITMÉTICA PARA VALORES  
 INEXISTENTES

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

linha = 2

'Contador do número estações e áreas

```
While Cells(linha, 2) <> ""
```

```
linha = linha + 1
```

```
Wend
```

```
linha = linha - 1
```

'Rotina para descobrir quantas estações participam do cálculo da média

```
contadorestacoes = 0
```

```
For h = 2 To linha
```

```
If Cells(h, 2) <> 0 Then
```

```
contadorestacoes = contadorestacoes + 1
```

```
End If
```

```
Next h
```

'Variáveis que guardam os valores das datas

```
Data1 = Cells((laco - 1) * 12 + 2, 3)
```

```
Data2 = Cells((laco - 1) * 12 + 3, 3)
```

```
Data3 = Cells((laco - 1) * 12 + 4, 3)
```

```
Data4 = Cells((laco - 1) * 12 + 5, 3)
```

```
Data5 = Cells((laco - 1) * 12 + 6, 3)
```

```
Data6 = Cells((laco - 1) * 12 + 7, 3)
```

```
Data7 = Cells((laco - 1) * 12 + 8, 3)
```

```
Data8 = Cells((laco - 1) * 12 + 9, 3)
```

```
Data9 = Cells((laco - 1) * 12 + 10, 3)
```

```
Data10 = Cells((laco - 1) * 12 + 11, 3)
```

```
Data11 = Cells((laco - 1) * 12 + 12, 3)
```

```
Data12 = Cells((laco - 1) * 12 + 13, 3)
```

```
contador = 2
```

```
For contador = 2 To linha
```

```
ThisWorkbook.Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

'Valores de estação, área e data

```
estacao = Cells(contador, 1)
```

```
area = Cells(contador, 2)
```

```

'Abrindo o arquivo Matriz final e ativando-o
Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice_IC\Calibracoes\Toritama\MatrizFinal.xls").
Activate
Sheets(1).Activate
p = 2
'Descobrimo a posição da estação no arquivo Matriz final
While Cells(p, 1) <> estacao
p = p + 1
Wend
'Laço para ser realizado se o valor da estação for igual ao buscado
If Cells(p, 1) = estacao Then
'Se for encontrada a estação, laço para encontrar a data
q = p
While Cells(q, 3).Value <> Data1 And Cells(p, 1) = estacao
q = q + 1
p = p + 1
Wend
'Laço para descobrir se há todos os valores de data
If Cells(q, 3).Value = Data1 And Cells(q + 1, 3).Value = Data2 And Cells(q + 2, 3).Value =
Data3 And Cells(q + 3, 3).Value = Data4 And Cells(q + 4, 3).Value = Data5 And Cells(q + 5,
3).Value = Data6 And Cells(q + 6, 3).Value = Data7 And Cells(q + 7, 3).Value = Data8 And
Cells(q + 8, 3).Value = Data9 And Cells(q + 9, 3).Value = Data10 And Cells(q + 10, 3).Value
= Data11 And Cells(q + 11, 3).Value = Data12 Then
'Comando executado caso haja algum valor faltando
For i = 1 To 12
For j = 1 To 31
If Cells(q + i - 1, j + 4 - 1) = -1 Then
matriz(i, j) = matriz(i, j) + 1
Else
matriz(i, j) = matriz(i, j) + 0
End If
Next j
Next i

```

End If

End If

Next contador

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

For k = 1 To 12

For l = 1 To 31

Cells(k + (laco - 1) \* 12 + 1, l + 3) = Cells(k + (laco - 1) \* 12 + 1, l + 3) + matriz(k, l) \* Cells(k + (laco - 1) \* 12 + 1, l + 3) / contadorestacoes

Next l

Next k

Next laco

End Sub

### **Código que transfere chuva média: *Transferechuvamedia1***

Sub Transferechuvamedia1()

Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice\_IC\Calibracoes\Limoeiro\ChuvaMedia\_Total\_Limoeiro.xlsm").Activate

Sheets(1).Activate

'Conta a quantidade de meses

contador = 2

While Cells(contador, 3) <> ""

contador = contador + 1

Wend

contador = contador - 1

'Transformando as linhas que contém os dados da chuva média em coluna (coluna 37)

j = 2

Cells(2, 38) = Cells(2, 3)

For meses = 2 To contador

data = Sheets(1).Cells(meses, 3).Value

nummes = Month(data)

ano = Year(data)

If nummes = 1 Or nummes = 3 Or nummes = 5 Or nummes = 7 Or nummes = 8 Or nummes =  
10 Or nummes = 12 Then

dias = 31

Else

If nummes = 4 Or nummes = 6 Or nummes = 9 Or nummes = 11 Then

dias = 30

End If

verifica = Int(ano / 4) \* 4

If nummes = 2 And verifica = ano Then

dias = 29

Else

If nummes = 2 Then

dias = 28

End If

End If

End If

For i = 1 To dias

Cells(j, 37) = Cells(meses, i + 3)

j = j + 1

Next i

Next meses

'Identificando as datas de cada dado

w = 2

While Cells(w, 37) <> ""

w = w + 1

Wend

w = w - 1

Cells(2, 38).Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = Sheets(1).Cells(2, 3).Value

Selection.AutoFill Destination:=Range(Cells(2, 38), Cells(w, 38))

Range(Cells(2, 38), Cells(w, 38)).Select

'Copiando as colunas para o CAAWM

Range(Cells(2, 37), Cells(w, 38)).Select

Selection.Copy

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

Range("AR2").Select

ActiveSheet.Paste

Range(Cells(2, "AR"), Cells(w, "AR")).Select

Selection.Copy

Range("F11").Select

ActiveSheet.Paste

Range(Cells(2, "AS"), Cells(w, "AS")).Select

Selection.Copy

Range("B11").Select

ActiveSheet.Paste

Range(Cells(2, "AR"), Cells(w, "AS")).Select

Selection.Delete

End Sub

**Código para modificar vazões: *ModificaVazoes2***

Sub ModificaVazoes2()

Dim fDlg As FileDialog

Dim lArquivo As String

Dim j As Integer, n As Integer, m As Integer, o As Integer, a As Integer, y As Integer

Dim Name As Single

varConteudo = 1

Dim myUnion As Range

Dim data As Date

Dim contest As Integer, contador As Integer

Dim estacao As Long, constante As Double

Dim ano As String

Dim i As Long, l As Long

Dim soma1 As Double, fatorarea As Double

Dim vetor() As Single

Dim matriz(12, 31) As Single

Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice\_IC\Calibracoes\Limoeiro\VAZAO\_391450  
00.xlsx").Activate

Sheets(1).Select

Range("A1").Select

k = 16

Do While Not IsEmpty(Cells(k, 1))

    k = k + 1

Loop

Range(Cells(15, 1), Cells(k, 78)).Select

```

ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort.SortFields.Add Key:=Range(Cells(16, 3),
Cells(k, 3)) _
, SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Plan1").Sort
.SetRange Range(Cells(15, 1), Cells(k, 78))
.Header = xlYes
.MatchCase = False
.Orientation = xlTopToBottom
.SortMethod = xlPinYin
.Apply
End With

'Excluindo as 13 primeiras linhas
Sheets(1).Select
Rows("1:14").Select
Selection.Delete Shift:=xlUp

'Formatar data
Sheets(1).Select
Range("C1").Select
Range(Selection, Selection.End(xlDown)).Select
Selection.NumberFormat = "mmm-yyyy"

'Excluindo valores de vazão com duplicidade
contador = 1
While Cells(contador, 3) <> ""
If Cells(contador, 3).Value = Cells(contador + 1, 3).Value Then
If Cells(contador, 2) = 1 And Cells(contador + 1, 2) = 2 Then
Rows(contador).Delete
Else
If Cells(contador, 2) = 2 And Cells(contador + 1, 2) = 2 Then
Rows(contador).Delete

```

```

End If
End If
End If
contador = contador + 1
Wend

```

```

ActiveWorkbook.SaveCopyAs
("C:\Users\User\Desktop\Alice_IC\Calibracoes\Limoeiro\VAZAO_391450001.xlsx")

```

```

End Sub

```

### **Código para transferir vazões: *TransfereVazoes3***

```

Sub TransfereVazoes3()

```

```

Dim vetor() As Single

```

```

Dim ajuda() As Single

```

```

Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice_IC\Calibracoes\Limoeiro\ChuvaMedia_Tot
al_Limoeiro.xlsm").Activate

```

```

Sheets(1).Activate

```

```

'Contador de meses

```

```

i = 2

```

```

While Cells(i, 3).Value <> ""

```

```

i = i + 1

```

```

Wend

```

```

i = i - 1

```

```

ReDim vetor(i - 2)

```

```

quantmeses = i - 1

```

```

'Criação de vetor com meses e anos da planilha do CAAWM

```

```

l = 0

```

```

For j = 2 To i

```

```

If Cells(j, 3).Value <> "" Then

```

```
vetor(l) = Cells(j, 3).Value
```

```
l = l + 1
```

```
End If
```

```
Next j
```

```
'Laço para copiar os dados do arquivo para o CAAWM
```

```
t = 11
```

```
For contador = 0 To quantmeses - 1
```

```
Workbooks.Open("C:\Users\User\Desktop\Alice_IC\Calibracoes\Limoeiro\VAZAO_391450  
001.xlsx").Activate
```

```
Sheets(1).Activate
```

```
k = 2
```

```
variavel = vetor(contador)
```

```
nummes = Month(variavel)
```

```
ano = Year(variavel)
```

```
While Cells(k, 3).Value <> variavel And Cells(k, 3) <> ""
```

```
k = k + 1
```

```
Wend
```

```
'SE NÃO HOVEREM DADOS OS MESES SÃO PREENCHIDOS COM -1
```

```
If Cells(k, 3).Value = "" Then
```

```
If nummes = 1 Or nummes = 3 Or nummes = 5 Or nummes = 7 Or nummes = 8 Or nummes =  
10 Or nummes = 12 Then
```

```
dias = 31
```

```
Else
```

```
If nummes = 4 Or nummes = 6 Or nummes = 9 Or nummes = 11 Then
```

```
dias = 30
```

```
End If
```

```
verifica = Int(ano / 4) * 4
```

```
If nummes = 2 And verifica = ano Then
```

```
dias = 29
```

Else

If nummes = 2 Then

dias = 28

End If

End If

End If

ReDim ajuda(dias - 1)

For jj = 0 To dias - 1

ajuda(jj) = -1

Next jj

End If

'SE O VALOR DO MÊS FOR IGUAL AO VALOR DA PLANILHA

If Cells(k, 3).Value = variavel Then

If nummes = 1 Or nummes = 3 Or nummes = 5 Or nummes = 7 Or nummes = 8 Or nummes =  
10 Or nummes = 12 Then

dias = 31

Else

If nummes = 4 Or nummes = 6 Or nummes = 9 Or nummes = 11 Then

dias = 30

End If

verifica = Int(ano / 4) \* 4

If nummes = 2 And verifica = ano Then

dias = 29

Else

If nummes = 2 Then

dias = 28

End If

End If

End If

ReDim ajuda(dias - 1)

For m = 0 To dias - 1

ajuda(m) = Cells(k, 17 + m)

Next m

'SE O VALOR DO MÊS NÃO FOR IGUAL AO VALOR DA PLANILHA

Else

nummes = Month(variavel)

ano = Year(variavel)

If nummes = 1 Or nummes = 3 Or nummes = 5 Or nummes = 7 Or nummes = 8 Or nummes =  
10 Or nummes = 12 Then

dias = 31

Else

If nummes = 4 Or nummes = 6 Or nummes = 9 Or nummes = 11 Then

dias = 30

End If

verifica = Int(ano / 4) \* 4

If nummes = 2 And verifica = ano Then

dias = 29

Else

If nummes = 2 Then

dias = 28

End If

End If

End If

ReDim ajuda(dias - 1)

For n = 0 To dias - 1

ajuda(n) = -1

Next n

End If

'COPIANDO OS VALORES NA PLANILHA

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

For o = 0 To dias - 1

Cells(t, 5).Value = ajuda(o)

t = t + 1

Next o

Next contador

ThisWorkbook.Activate

Sheets(1).Activate

For cont = 11 To i + 11

If Cells(cont, 5) = -1 Then

Cells(cont, 5) = ""

End If

Next cont

End Sub