



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ
PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL

ZONEAMENTO DA MAGNITUDE E DA VARIABILIDADE TEMPORAL DOS
ESCOAMENTOS COMO INDICADOR DO POTENCIAL DE REGULARIZAÇÃO
DE VAZÃO ATRAVÉS DE AÇUDES

FORTALEZA

2016

FRANCISCO JONATHAN DE SOUSA CUNHA NASCIMENTO

**ZONEAMENTO DA MAGNITUDE E DA VARIABILIDADE TEMPORAL DOS
ESCOAMENTOS COMO INDICADOR DO POTENCIAL DE REGULARIZAÇÃO
DE VAZÃO ATRAVÉS DE AÇUDES**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto
Medeiros.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

N244z Nascimento, Francisco Jonathan de Sousa Cunha.
Zoneamento da magnitude e da variabilidade temporal dos escoamentos como indicador do potencial de regularização de vazão através de açudes / Francisco Jonathan de Sousa Cunha Nascimento. - 2016.
115 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Tecnologia em Gestão Ambiental, Campus Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros.

1. Escoamento superficial. 2. Açude. 3. Vazão de regularização. I. Título.

CDD 628

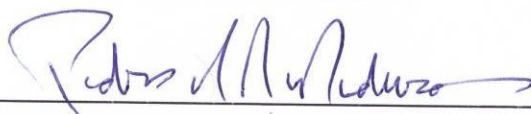
FRANCISCO JONATHAN DE SOUSA CUNHA NASCIMENTO

**ZONEAMENTO DA MAGNITUDE E DA VARIABILIDADE TEMPORAL DOS
ESCOAMENTOS COMO INDICADOR DO POTENCIAL DE
REGULARIZAÇÃO DE VAZÃO ATRAVÉS DE AÇÚDES**

Dissertação submetida à Coordenação do
Curso de Pós-Graduação em Tecnologia e
Gestão Ambiental do Instituto Federal do
Ceará como requisito para obtenção do título
de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

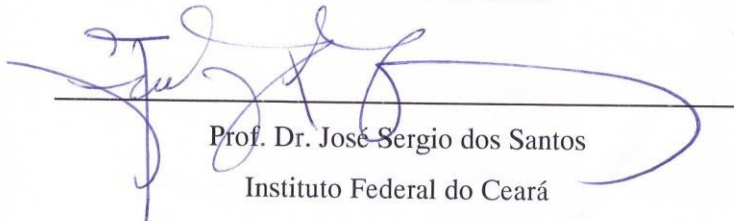
Aprovada em 18/05/16.

BANCA EXAMINADORA



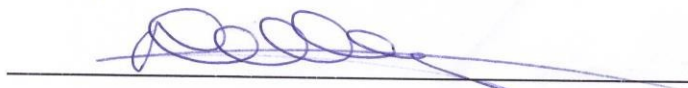
Prof. Dr. Pedro Henrique Augusto Medeiros (Orientador)

Instituto Federal do Ceará



Prof. Dr. José Sergio dos Santos

Instituto Federal do Ceará



Prof. Dr. Carlos Alexandre Gomes Costa

Universidade Federal do Ceará

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Pai Divino por ter permitido ao seu servo, a participar com saúde, paz e amor do Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, no IFCE – *Campus* Fortaleza, por ter dado a seguridade nas inúmeras vindas e idas ao trajeto entre Quixeré e Fortaleza.

Aos meus pais Luiza de Marillac de Sousa e Pedro Estácio Cunha de serem meu alicerce e molas propulsoras desde a infância em ir à luta dos meus sonhos, e também a minha irmã Maria Solange de Sousa Cunha pelo apoio e incentivo.

A minha esposa Maria Célia do Nascimento Cunha por sempre ter me apoiado, incentivado, estimulado e me amado. Pois em inúmeras vezes pensei em desistir por vários motivos, mas ela sempre esteve do meu lado dando todo apoio para perseverarmos juntos até o fim.

Aos meus filhos Maria Clara do Nascimento Cunha e João Pedro Nascimento Cunha que vieram neste período do mestrado para abençoar nossas vidas, e tornaram fontes de inspiração para virar noites, abdicar de finais de semanas e feriados para fazer com plenitude esta pós-graduação.

A todos que fazem IFCE – Campus Limoeiro do Norte, no nome dos colegas/amigos Jarbas Rodrigues Chaves, Hosineide de Oliveria Rolim, Maria Gizeuda de Freitas Sousa e José Façanha Gadelha, por todos os incentivos e estímulos para fazer o curso de mestrado.

A todos que fazem o Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental, no IFCE – *Campus* Fortaleza, na pessoa da secretária do programa Maria Clédina Cavalcante quem sempre nos acolhe desde o primeiro dia ao último no programa, sempre buscando de nós o melhor.

Aos colegas e amigos cativados no decorrer das aulas e demais atividades do curso, em especial Rosângela Maria da Silva e Kamila Nara Silva de Souza com que compartilhamos muitas informações e momentos de alegrias e angústias.

Ao orientador Professor Doutor Pedro Henrique Augusto Medeiros pelo conhecimento compartilhado, por toda dedicação, paciência, compressão das minhas limitações por não ser um orientando de dedicação exclusiva, e por sempre estar elevando minha autoestima para chegar à conclusão do mestrado, meu eterno obrigado.

“Um reservatório, ou açude, age como um sistema que efetua o transporte ao longo do tempo.”

(Nilson Campos)

RESUMO

O estado do Ceará é caracterizado pela elevada variabilidade inter e intranual da precipitação e, concomitantemente, a alta variabilidade no escoamento superficial. A forma mais usada para superar a escassez hídrica no Ceará tem sido a construção de açudes, com o intuito de suprir as necessidades hídricas da população mesmo em períodos sem precipitação. Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar as causas da alta variabilidade temporal no escoamento superficial e o quanto isto pode comprometer na regularização de vazão de açude. Para isto, foram realizadas correlações entre os coeficientes de variação dos escoamentos anuais de seções fluviométricas e alguns fatores ambientais como: precipitação, área de drenagem, geologia e outros. Com as respostas obtidas buscou-se estimar vazões de regularização para açudes da região hidrográfica do Banabuiú, para melhor aproveitamento dos recursos hídricos armazenados. O modelo Diagrama Triangular de Regularização (DTR) desenvolvido por Nilson Campos foi usado para estimar as vazões de regularização. Para utilização deste modelo foram obtidas informações sobre o volume afluente médio anual e o coeficiente de variação do escoamento média anual, porém em muitos casos foram observadas dificuldades de obtenção destes dados hidrológicos. A partir das relações encontradas entre os escoamentos superficiais, coeficientes de variação e os fatores ambientais, foram estimados os valores de volume afluente médio anual e seu respectivo coeficiente de variação, para açudes carentes destes dados, para que por meio do modelo DTR estimar o volume a ser liberado (população e meio ambiente), e com isto ter uma melhor gestão das águas disponíveis.

Palavras-chaves: Escoamento superficial, açude, vazão de regularização.

ABSTRACT

The state of Ceará is characterized by high inter and intra annual variability of the rainfall and concomitant high variability of runoff. The most commonly solution used to overcome the water shortage in Ceará has been the construction of dams, in order to meet the water needs of the population even in periods without precipitation. Therefore, the objective of this study is to evaluate the causes of high temporal variability in runoff and how this can compromise the flow regularization from surface reservoirs. For this, correlations were calculated between the variation coefficients of annual runoff of fluviometric sections and some environmental factors such as rainfall, drainage area, geology and others. With the correlations obtained, we regularization flows were estimated for some reservoirs in the river basin of Banabuiú, aiming to promote a better use of the stored water. The Regulation Triangular Diagram (RTD) model developed by Nilson Campos was used to estimate the regulated flow. To apply this model, information about the annual average inflow volume and its coefficient of variation were obtained, but in many cases difficulties were faced to obtain these hydrological data. From the relationships found between annual runoff, its coefficient of variation and environmental factors, values of the annual average runoff and the respective coefficient of variation were estimated for reservoirs with data scarcity, so that through the RDT model it was possible to estimate the volume to be released (for population and environment), and thus promote a better management of the available water.

Keywords: Runoff, surface reservoir, flow regularization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Postos pluviométricos (A) e fluviométricos (B) no estado do Ceará.	26
Figura 2: Página da HidroWeb no sítio da ANA.	37
Figura 3: Ilustração da consulta dos dados da estação fluviométrica de Iguatu	40
Figura 4: Exemplo do uso do diagrama triangular de regularização DTR para o açude Patu..	67

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Localização da área de estudo.	39
Mapa 2: Coeficiente de variação do escoamento anual no estado do Ceará.	45
Mapa 3: Formações geológicas e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos do Ceará.	58
Mapa 4: Bacia hidrográfica do Banabuiú.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Influência da variabilidade do deflúvio na vazão de regularização dos açudes.	35
Tabela 2: Postos fluviométricos estudados do estado do Ceará e a caracterização dos escoamentos anuais.....	46
Tabela 3: Chuva e escoamento médios anuais e coeficiente de variação dos escoamento anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará	52
Tabela 4: Área de drenagem e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará	55
Tabela 5: Tipo de porosidade do embasamento geológico e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará. ...	59
Tabela 6: Razão entre a lâmina de escoamento médio e a precipitação média anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos	62
Tabela 7: Dados hidráulicos e hidrológicos dos açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú usados para validar as estimativas das variáveis necessárias para aplicação do DTR	68
Tabela 8: Aplicação do DTR por meio das variáveis hidrológicas estimadas por meio dos fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos das bacias hidrográficas	69
Tabela 9: Dados hidráulicos e hidrológicos dos açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú para aplicação do diagrama triangular de regularização	72
Tabela 10: Aplicação do diagrama triangular de regularização por dos fatores hidráulicos, hidrológicos e geológicos das bacias hidrográficas.	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variabilidade dos escoamentos mensais nos postos fluviométricos estudados no estado do Ceará.	49
Gráfico 2: Correlação entre o período de dados (extensão da série fluviométrica) em relação ao coeficiente de variação do escoamento anual dos postos fluviométricos	51
Gráfico 3: Correlação da lâmina média anual de escoamento em relação ao coeficiente de variação dos postos fluviométricos.....	51
Gráfico 4: A: Correlação entre precipitação média e coeficiente de variação; B: Correlação entre precipitação média e lâmina de escoamento médio.....	54
Gráfico 5: Correlação entre a área de drenagem e o coeficiente de variação dos escoamentos anuais dos postos fluviométricos	57
Gráfico 6: Proporção do tipo de geologia na qual as bacias de drenagem estão distribuídas no território cearense	60
Gráfico 7: Correlação das áreas de drenagem em relação aos coeficientes de variação do escoamento anual das bacias em porosidade do tipo fissural.	61
Gráfico 8: Correlação das áreas de drenagem em relação aos coeficientes de variação do escoamento anual das bacias em porosidade do tipo granular ou granular/fissural.	61
Gráfico 9: Correlação da razão entre a lâmina de escoamento médio e a precipitação média anuais com a área de drenagem das bacias hidrográficas no embasamento cristalino.	63
Gráfico 10: Correlação da divisão da lâmina de escoamento médio dividido pela precipitação média com a área de drenagem nas bacias hidrográficas na formação sedimentar.	64
Gráfico 11: Distribuição percentual das diferenças entre as vazões de regularização estimadas nesta pesquisa e no projeto do CAC.	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO	20
2.1 Objetivos específicos	20
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 Estudo hidrológico	21
3.2 Escoamento superficial e sua variabilidade	23
3.3 Dimensionamento e operação de açudes	27
3.4 Gestão dos recursos hídricos	29
3.4.1 <i>Legislação</i>	<i>30</i>
3.4.2 <i>Planos da União</i>	<i>31</i>
3.4.3 <i>Outorga</i>	<i>32</i>
3.5 Diagrama Triangular de Regularização	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 Caracterizações dos escoamentos a partir de dados secundários	36
4.2 Método do Diagrama Triangular de Regularização	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
5.1 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará	44
5.2 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará em relação à precipitação média por bacia hidrográfica	52
5.3 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará em relação à área de drenagem .	55
5.4 Variabilidade de escoamento superficial no Ceará em relação à geologia	577
5.5 Correlações da lâmina anual de escoamento, precipitação e a área de drenagem das bacias hidrográficas em estudo	622
5.6 Validação da estimativa do volume afluente anual e respectivo coeficiente de variação a partir da relação entre fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos para o uso do diagrama triangular de regularização (DTR) na bacia do Banabuiu	644
5.7 Aplicação da estimativa do volume afluente anual e respectivo coeficiente de variação a partir da relação entre fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos por meio do diagrama triangular de regularização (DTR) na bacia Banabuiu	711
6 CONCLUSÕES	744
7 REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE	80

APÊNDICE A – GRÁFICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO JAGUARIBE	80
A.1 Seção Quixeré	80
APÊNDICE B – GRÁFICOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO JAGUARIBE	81
B.1 Médio Jaguaribe	81
B.2 Seção Peixe Gordo	81
B.3 Seção Alto Santos	82
B.4 Seção Castanhão	82
B.5 Seção Jaguaribe	83
APÊNDICE C – GRÁFICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JAGUARIBE	84
C.1 Alto Jaguaribe	84
C.2 Seção Arneiroz	84
C.3 Seção Caríus	85
C.4 Seção Iguatu	85
C.5 Seção Malhada	86
C.6 Seção Sítio Conceição	86
C.7 Seção Sítio Patos	87
C.8 Seção Sítio Poços Dantas	87
C.9 Seção Sítio Santa Cruz	88
APÊNDICE D – GRÁFICOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALGADO	89
D.1 Rio Salgado	89
D.2 Seção Jati	89
D.3 Seção Lavra da Mangabeira	90
D.4 Seção Podimirim	90
D.5 Seção Sítio Lapinha	91
D.6 Seção Sítio Oitis	91
APÊNDICE E – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA METROPOLITANA	92
E.1 Metropolitana	92
E.2 Seção Arraial	92
E.3 Seção Barra Nova	93
E.4 Seção Caio Prado	93

E.5 Seção Chorozinho	94
E.6 Seção Cristais	94
E.7 Seção Itapeim	95
E.8 Seção Sítio Novos	95
E.9 Seção Umarituba Nova	96
APÊNDICE F – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BANABUIÚ	97
F.1 Banabuiú	97
F.2 Seção Morada Nova II	97
F.3 Seção Senador Pompeu	98
APÊNDICE G – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LITORAL	99
G.1 Litoral	99
APÊNDICE H – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ACARAÚ	100
H.1 Acaraú	100
H.2 Seção de Ararius.	100
H.3 Seção da Fazenda Bela Vista	101
H.4 Seção Fazenda Cajazeiras	101
H.5 Seção Fazenda Paraná	102
H.6 Seção Fazenda Timburana	102
H.7 Seção Santana do Acaraú	103
H.8 Seção Sobral	103
H.9 Seção Trapiá	104
H.10 Seção Várzea do Grosso	104
APÊNDICE I – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CURU	105
I.1 Curu	105
APÊNDICE J – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO COREAÚ	106
J.1 Coreaú	106
J.2 Seção Chaval do Retiro	106
J.3 Seção Granja	107
J.4 Seção Moraújo	107
J.5 Seção Pesqueiro	108
APÊNDICE K – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA IBIAPABA	109
K.1 Serra da Ibiapaba	109
K.2 Seção Croatá	109

K.3 Saudoso	110
ANEXOS	111
ANEXO A – DIAGRAMAS TRIANGULARES DE REGULARIZAÇÃO (DTR)	111
Anexo A1: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,60.	111
Anexo A2: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,70.	111
Anexo A3: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,80.	112
Anexo A4: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,90.	112
Anexo A5: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,00.	113
Anexo A6: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,10.	113
Anexo A7: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,20.	114
Anexo A8: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,30.	114
Anexo A9: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,40.	115
Anexo A10: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,50.	115
Anexo A11: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,60.	116

1 INTRODUÇÃO

Atualmente cerca de 20% da população mundial não tem acesso à água potável e aproximadamente 40% não dispõe de água suficiente para uma estrutura adequada de saneamento básico e higiene. Em 20 anos, a quantidade média de água disponível para cada indivíduo será reduzida a um terço da atual. Em 2050, a depender das taxas de crescimento populacional e das iniciativas políticas tomadas para minorar a crise, a escassez de água afetará quase três bilhões de pessoas (SILVA, 2014).

Nos países em desenvolvimento, a demanda por água deverá crescer significativamente, em virtude do aumento populacional aliado às expansões industrial e agrícola. Existem 261 bacias hidrográficas transnacionais, compartilhadas por 145 nações, o que sempre deu margem a disputas, conflitos e guerras (COSTA e PERIN, 2004).

No mundo precipita na ordem de 43.000 km³/ano, água doce mais do que suficiente para abastecer a população mundial, cujo consumo total é da ordem de 6.000 km³/ano. Porém, a ocorrência das chuvas é, por vezes, muito irregular, tornando necessária a prática de uma gestão integrada da água disponível e, portanto, o uso atual cada vez mais eficiente da gota d'água disponível representa a alternativa mais barata para solução dos problemas atuais e futuros do abastecimento nas cidades (REBOUÇAS, 2003).

De acordo Rebouças (2003) é contraditório, para um dos países mais ricos em água doce do planeta, as cidades enfrentarem crises de abastecimento, das quais não escapam nem mesmo as localizadas na Região Norte, onde estão perto de 80% das descargas de água dos rios do Brasil. No Brasil também, a exemplo de outros países, a demanda da água é em média 10% para o abastecimento humano, 20% para indústrias e 70% para agricultura. Sendo que nas redes de distribuição de água há uma perda de água tratada em torno de 40% a 60% no Brasil, contra 5% a 15% nos países desenvolvidos. Em torno de 93% água utilizada na irrigação nacional, utilizam-se os métodos menos eficientes no mundo, como o espalhamento superficial (inundação) 56%, pivô central 19% e aspersão convencional 18%.

Silva (2014) afirma que o Nordeste é a região brasileira mais afetada pela escassez de água. A situação é mais agravante para a população que vive no semiárido, pois as chances de os agricultores colherem boas safras são de três anos em dez na região.

A problemática da escassez hídrica é agravada pelo uso inadequado dos recursos naturais nas regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, onde os recursos naturais, particularmente solo e água, são limitados e se constituem em ecossistemas frágeis (FROTA JÚNIOR, 2007).

No estado do Ceará predomina o clima semiárido, caracterizado pelo longo período de estiagem e curto período de precipitações. A baixa precipitação no estado desencadeia vários outros fatores que favorecem a escassez hídrica, como por exemplo, os solos rasos, sendo que em muitos lugares a rocha matriz aflora à superfície, como consequência do pouco intemperismo da rocha para formação de solos mais profundos. Com solos pouco desenvolvidos, também pouca água é armazenada no subsolo e no subterrâneo, reduzindo os fluxos de bases dos rios e tornando-os intermitentes e efêmeros.

No Ceará, as deficiências hídricas meteorológicas, superficiais e subterrâneas sofrem algumas divergências, por exemplo, em elevações topográficas como o maciço de Baturité onde há precipitação do tipo orográfica, com índice pluviométrico acima da média do Ceará (por exemplo, a cidade de Guaramiranga apresenta uma precipitação média de 1700 mm por ano), e em formações geológicas sedimentares (como as chapadas do Apodi e do Araripe), onde há maior ocorrência de águas subterrâneas.

Campos e Studart (2006) confirmam que é característico dos rios cearenses serem intermitentes, com 90% do escoamento ocorrendo entre os meses de fevereiro a maio e com grande variabilidade interanual das vazões.

Em regiões que naturalmente apresentam deficiência hídrica, a escassez desse recurso pode representar um dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento econômico, para agravar mais ainda a situação, as ações antrópicas podem causar a redução da quantidade e a degradação da qualidade das águas (MEDEIROS, 2009).

Os processos hidrológicos são aleatórios, ou seja, suas relações não podem ser conhecidas com exatidão. Os estudos hidrológicos devem contar com amostras observadas historicamente, e em muitas ocasiões de tomadas de decisão e em pesquisas, não é possível obter amostra de tamanho suficiente, tendo que se usarem os atributos da estatística e da probabilidade para contornar estas deficiências de dados hidrológicos (LANNA, 2004).

A precipitação é uma variável determinante das condições do clima no semiárido brasileiro, bem como da sua variabilidade e mudança em longo prazo. No Nordeste do Brasil as atividades agrícolas, quase que em sua totalidade, são baseadas na precipitação e o conhecimento de sua variabilidade é de extrema importância (SANTOS *et al.*, 2009).

O conhecimento da lâmina de água precipitada em um ano é fundamental para se estimar o quanto será disponibilizado para suprir as necessidades de irrigação, abastecimento doméstico e industrial. A determinação da intensidade da precipitação é importante também para o controle de inundação e a erosão do solo (BERTONI e TUCCI, 2004).

Como estratégia para equacionar o problema da deficiência hídrica no Ceará, uma das soluções mais empregadas tem sido a construção de reservatórios, complementada pela gestão dos recursos hídricos e interligação de bacias hidrográficas, como no caso do Canal da Integração ou Eixão das Águas, que aduz águas da região hidrográfica do Médio Jaguaribe, para a região hidrográfica Metropolitana, abastecendo a população, as indústrias e demais usuários da Região Metropolitana de Fortaleza.

Para a construção e operação de um açude é fundamental o conhecimento, das características hidrológicas, geomorfológica e hidráulicas da bacia hidrográfica de influência do reservatório, para uma melhor gestão dos recursos hídricos armazenados, pois como afirma Campos e Studart (2006) os reservatórios superficiais consistem em uma intervenção do homem na natureza com o objetivo de adaptar os padrões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade.

Campos (2005) desenvolveu um modelo, que propõe a estimativa do volume de água disponibilizado para os múltiplos usos em um ano, em reservatórios instalados em ambientes áridos e semiáridos, baseando nas características hidrológicas da bacia hidráulica e o perfil hidráulico do açude.

O modelo desenvolvido por Campos (2005) denominado de Diagrama Triangular de Regularização (DTR), têm variáveis de entrada do modelo: o volume afluente médio anual do açude e respectivo coeficiente de variação deste; o nível da evaporação; e o perfil da bacia hidráulica do reservatório.

Portanto, a proposta deste trabalho é realizar o levantamento e o zoneamento do escoamento no território cearense. Além disso, busca-se compreender os fatores que influenciam no elevado nível da variabilidade no escoamento e apontar meios de obter as variáveis para aplicar o DTR em locais pobres de dados hidrológicos. Por meio de todo este levantamento, pretende-se contribuir para uma melhor gestão dos recursos hídricos armazenados nos açudes do Ceará.

2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o escoamento superficial no Ceará, através do zoneamento das lâminas anuais escoadas e de sua variabilidade interanual e sua implicação na gestão dos recursos hídricos armazenados nos reservatórios superficiais.

2.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Fazer o levantamento do escoamento superficial nos rios do estado do Ceará, estudando todos os postos fluviométricos com séries de dados consistentes;
- Verificar a variabilidade das vazões dos rios entre os meses e entre os anos no território cearense;
- Zonar o escoamento superficial através da lâmina anual e do coeficiente de variação;
- Relacionar a variância do escoamento superficial com outros fatores naturais;
- Estimar as variáveis hidrológicas para aplicação do DTR em ambientes com escassez de dados hidrológicos;
- Aplicar o Diagrama Triangula de Regularização (DTR) à bacia do Banabuiu.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Estudo hidrológico

Os principais conceitos dos estudos hidrológicos se deram na Europa e na América do Norte com a geografia predominante de zona temperada, com grandes áreas úmidas, semiúmidas e topografia ondulada. Os modelos hidrológicos convencionais são baseados principalmente na precipitação, já que a evapotranspiração tem pouco efeito nos regimes de escoamento nesses ambientes. Porém, quando se iniciaram os estudos hidrológicos em ambientes diferentes da América do Norte e Europa, usando os mesmos métodos e modelos da hidrologia convencional, ficaram evidentes que estes não apresentavam resultados compatíveis com a realidade (KOVÂCS, 1984).

Os conceitos básicos do ciclo hidrológico não são modificados para condições locais, mas a importância dos vários processos de equilíbrio da água dentro de uma bacia pode ser substancialmente alterada. A investigação da interrelação entre a intensidade dos processos hidrológicos e os fatores que as influenciam, fornecem a base para abordagem dos estudos de hidrologia (TAPIA, 1999).

Diversos são os fatores que podem alterar o regime hidrológico de uma bacia hidrográfica, portanto é proposta uma classificação mundial para caracterizar as semelhanças entre as bacias hidrográficas existentes no mundo. Essa classificação consiste em agregar as bacias hidrográficas por características semelhantes nas condições climáticas, geomorfológicas, geológicas, litológicas e ecossistemas, e a partir destas semelhanças classificarem os distintos regimes hídricos (KOVÂCS, 1984).

Cada bacia hidrográfica possui características distintas, portanto é interessante realizar os estudos hidrológicos de cada bacia de forma individual, mesmo que estas bacias estejam no mesmo regime climático, bioma, perfil geográfico e geológico, pois cada bacia tem a sua identidade própria (TAPIA, 1999).

As ações antrópicas são responsáveis por modificações consideráveis no ambiente de bacias hidrográficas, tendo em vista sua influência quantitativa e qualitativa direta sobre os processos hidrológicos (ANDRADE, MELLO, BESKOW, 2013).

Vários modelos podem ser usados para se fazer previsão de vazões, entre eles, tradicionalmente, os modelos estocásticos e os modelos de base física (MATOS *et al.*, 2014). No entanto, os fenômenos hidrológicos apresentam comportamentos tão complexos que, mesmo modelos matemáticos detalhados não conseguem reproduzir com exatidão os processos naturais (CAMPOS e STUDART, 2006).

As regiões áridas e semiáridas no planeta são caracterizadas por carência de água em quantidade insuficiente para satisfazer várias necessidades naturais e antrópicas. Para realização de estudos hidrológicos nestas regiões existem diversas dificuldades, entre as quais, a extrema variabilidade espacial e temporal da precipitação e a pequena quantidade de eventos que produzem escoamento, assim, estas regiões geralmente são escassas de dados hidrológicos e meteorológicos (TAPIA, 1999).

Outra dificuldade é que as regiões áridas e semiáridas existentes no mundo possuem características distintas, nas quais torna difícil usar um determinado perfil de região para se realizado estudo em outra região. Não há nas regiões áridas e semiáridas uma relação linear entre a precipitação e o escoamento, para um estudo hidrológico nestas regiões é necessário ter o levantamento das taxas de evapotranspiração, compreendida como a transpiração das plantas, evaporação das águas na superfície do solo e nos corpos d'água e sobre as folhas das vegetações (TAPIA, 1999).

As séries hidrológicas temporais podem ter dados registrados com diferentes períodos, em minutos, horas, dias, meses, sendo que cada frequência de aquisição pode produzir resultados com diferentes desempenhos, quando aplicadas como entradas em estudos hidrológicos. Em geral, adota-se uma proporção de 60 a 70% dos dados disponíveis para o treinamento e o restante para a verificação (MATOS, PEDROLLO, e CASTRO, 2014). A análise de consistência de dados é a etapa preliminar em estudos hidrológicos (REITZ E DIAS, 2014).

As alterações climáticas podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico, entre eles aumento de cheias, secas, erosão, deterioração da qualidade das águas e diversidade dos ecossistemas. Um dos principais efeitos das mudanças e variabilidade do clima se faz sentir nos escoamentos gerados nas bacias hidrográficas. Portanto é imprescindível o estudo destes impactos para o adequado gerenciamento dos recursos hídricos. Atualmente buscam-se relações que permitam entender os processos de mudanças climáticas a fim de avaliar os impactos e mitigá-los (ADAM e COLLISCHONN, 2013).

Adam e Collischonn, (2013) afirmam também que o comportamento hidrológico de uma região depende dos tipos de solo, rocha, uso do solo, entre outros. Em bacias de solos rasos, um evento de precipitação de pequena magnitude é capaz de saturar o solo, logo qualquer alteração da precipitação afetará o regime de escoamento e a recarga dos aquíferos.

Na bacia hidrográfica, o que mais se busca entender são os impactos que as mudanças climáticas podem provocar na precipitação e na temperatura, os quais podem afetar

diretamente o regime hidrológico. A precipitação está relacionada ao escoamento e a temperatura com a evapotranspiração, e em conjunto o balanço hídrico (JIANG *et al*, 2004).

3.2 Escoamento superficial e sua variabilidade

Parajka *et al* (2008) em seus estudos na comparação da sazonalidade da precipitação e do escoamento na Áustria e na Eslováquia, compararam 325 bacias hidrográficas na Áustria e 142 na Eslováquia. Dentro do contexto de ocorrência de inundação, o estudo teve como principal objetivo compreender as diferenças nas condições climáticas e regimes de escoamento médio mensal de longo prazo utilizando os índices de sazonalidade, e explorar as diferenças nos processos de inundação na escala de evento de curto prazo.

De acordo com Parajka *et al* (2008), os dois países vizinhos têm muitas características comuns em vários fatores como regime meteorológico, tipo de solo, e bioma, havendo divergência na geomorfologia e a geologia dos respectivos países, mas apesar dessas divergências os regimes de escoamento são semelhantes.

Para o tratamento dos dados de sazonalidade os autores usaram séries históricas de precipitação e escoamento do período de 1961 a 2000. E chegaram à conclusão que o regime de escoamento e inundações está diretamente relacionado à sazonalidade, tanto na estação do verão quando há o derretimento das neves, quanto à precipitação de chuva. A sazonalidade é uma das principais características hidrológicas que controlam o desenvolvimento e a estabilidade natural dos ecossistemas (PARAJKA *et al*, 2008).

Já Araújo e Piedra (2009) fizeram um estudo de hidrologia comparada entre a bacia experimental semiárida de Aiuaba, Ceará, Brasil, e a bacia úmida do Jaruco, situada em Cuba. Para tanto, houve a comparação entre as bacias nas seguintes características: tipo de clima; precipitação média; insolação anual; radiação solar; declividade; geologia; tipo de solo; uso e ocupação do solo; vegetação; e produção anual de sedimentos.

O que se observou foi que os regimes de escoamento das duas bacias se apresentaram diferentes, entre os principais fatores que influenciaram esta divergência estão às diferenças dos níveis de evaporação, os tipos de geologias dominantes, a distribuição espacial e temporal da precipitação, onde na bacia da região úmida a precipitação ocorre regularmente durante todo ano, e na região semiárida o período chuvoso se concentra em no máximo seis meses, ficando o demais tempo sem nenhuma precipitação. Por conclusão do estudo ficou notório que as diferenças das condições climáticas locais e formação geológica são os principais motivos pela diversidade do regime de escoamento superficial entre as bacias (ARAÚJO e PIEDRA, 2009).

É importante mencionar que os processos envolvidos na formação de escoamento superficial estão relacionados principalmente com a geologia e os atributos climáticos das bacias, pois em regiões em que existem altas descargas são os fatores climáticos que influenciam, enquanto que baixas descargas são dominadas pela geologia (ARAÚJO e PIEDRA, 2009).

A dinâmica da evapotranspiração é o fenômeno principal para a determinação do balanço hídrico, pois é a partir do diferencial do volume de água precipitado e evapotranspirado que se quantifica o volume captado pela bacia hidrográfica (THOMPSON *et al.*, 2011).

Pereira *et al.*, (2006) realizaram estudos nas bacias hidrográficas de Baião e Régua, localizado no Vale do Douro, Portugal, no intuito de comparar o regime de escoamento das respectivas bacias. O esquema experimental parte do pressuposto que os processos hidrológicos apresentam comportamentos distintos conforme a escala do sistema, por isso os dados foram recolhidos em diferentes locais das vertentes com terraços agrícolas, com as mesmas características morfológicas, de drenagem e de ocupação do solo, divergindo apenas no fator litológico.

Em Baião, sempre que há precipitação, desenvolve-se escoamento superficial nos terraços agrícolas, enquanto que na Régua, com os mesmos totais de precipitação, a resposta é muito mais baixa. O escoamento superficial nos terraços agrícolas teve uma maior duração média em Baião, onde, em média, a partir dos 2,6 mm de precipitação ocorre escoamento superficial. Já na Régua, é necessária em média mais precipitação inicial (7,6 mm) para o início do desenvolvimento de escoamento superficial, que nem sempre se registra quando há precipitação. Por tanto o escoamento superficial não pode ser explicado apenas pela variável da precipitação, mas pela interação com outras variáveis como a intensidade e as precipitações antecedentes (PEREIRA *et al.*, 2006).

Rodrigues *et al.* (2013) realizam estudo em duas microbacias hidrográficas no município de Iguatu, Ceará, ambas possuindo características meteorológicas, litológicas e geomorfológicas semelhantes, todavia uma das bacias teve a vegetação de Caatinga raleada, para comparar a diferença de escoamento entre as bacias com vegetação preservada e desmatada. Nas primeiras precipitações e na precipitação máxima o volume escoado na bacia raleada foi bem superior em até 132%, mas um fato chama atenção, que quando vegetação da bacia raleada volta a surgir o escoamento na bacia preservada começa a se tornar maior que a raleada. Provavelmente isto se deva ao crescimento da vegetação herbácea influenciando na

retenção de água e aumentando a oportunidade de infiltração, promovendo, assim, redução no escoamento superficial na microbacia raleada.

Medeiros (2009) realizando estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do açude Benguê, Ceará, constatou que o deflúvio só atinge o exultório da bacia hidrográfica após o volume precipitado superar as necessidades de umedecimento do solo, preencher as depressões naturais, e os reservatórios superficiais. O autor afirma que o aumento da umidade do solo consequente da precipitação ocorrida nos dias anteriores causa maiores escoamentos superficiais, menores perdas por reinfiltração, resultando numa rede drenagem com elevada conectividade. No Nordeste semiárido brasileiro, estudos têm demonstrado que o principal condicionante de geração de escoamento superficial é as elevadas intensidades das precipitações.

No Ceará, como em todo o semiárido do Nordeste do Brasil, há escassez de dados hidrológicos e meteorológicos, o que é contraditório, pois justamente onde a escassez hídrica é maior deveria ter mais informações para ajudar nas soluções dos problemas relacionados à água. Talvez este fato aconteça porque o Nordeste do Brasil historicamente foi umas das regiões mais carentes do desenvolvimento agrícola, industrial, econômico e acadêmico do país. Essa realidade impõe dificuldades de se fazer estudos hidrológicos no Ceará.

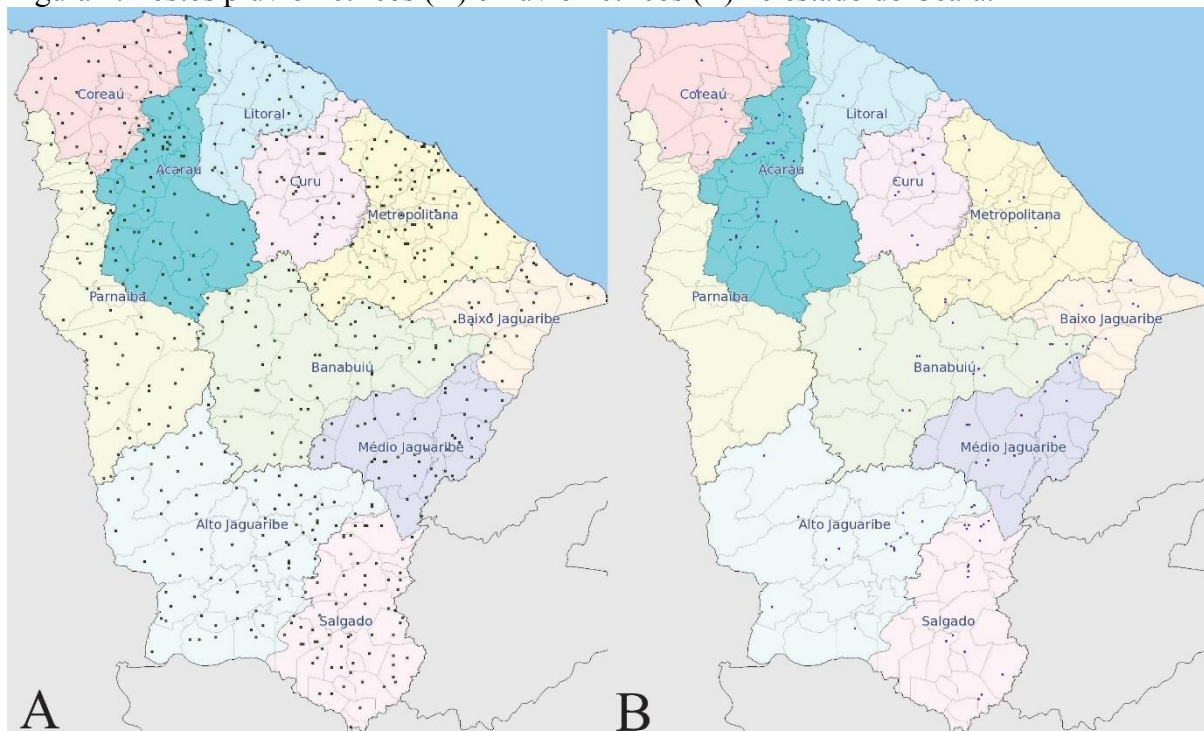
É recomendável para estudos hidrológicos o uso de uma série mínima de 30 anos de dados, para se obter resultados satisfatórios, e em região como o semiárido do nordeste brasileiro que tem uma grande variabilidade da precipitação, esta série histórica deve ser ainda maior.

Campos, Souza e Araújo (1997) adverte que este tempo de 30 anos de série histórica é conveniente para regiões em que os fenômenos como precipitação, vazão e outros possuam um coeficiente de variação de até 0,25, no caso do Nordeste do Brasil em que os fenômenos naturais supracitados possuem CV até acima de 2,0, seria necessária uma série de medições de no mínimo 690 anos.

No Ceará, segundo Brasil (2015a), há 343 postos fluviométricos Figura 1B e 1111 pluviométricos Figura 1A. Como é notório tanto numericamente como nos mapas, a densidade de estações pluviométricas é bem maior que as fluviométricas. As seguintes questões devem ser levantadas em relação a estas estações, primeiramente se sua densidade é significativa, e segundo a confiabilidade dos dados e o período de medição, pois no Brasil é raro encontrar série extensas de dados pluviométricos ou fluviométricos (CHEVALLIER, 2004).

Uma rede hidrometeorológica é formada por um conjunto organizado de estações, distribuídas espacialmente segundo critérios técnicos e recomendações para densidades, de maneira que a mesma opere com a maior eficiência possível. A densidade e distribuição destas estações têm que obedecer às variabilidades temporais e espaciais dos fenômenos hidrológicos ou meteorológicos a serem observados (SALGUEIRO, 2005).

Figura 1: Postos pluviométricos (A) e fluviométricos (B) no estado do Ceará.



Fonte: (BRASIL, 2015a).

Uma rede de coleta de dados hidrológicos se baseia no estabelecimento de uma rede básica mínima a qual deverá ser composta de um número de estações que seja necessário para o planejamento dos recursos hídricos de uma região. A rede é considerada ideal quando baseada na maximização econômica dos dados hidrológicos que são gerados, para que se tornem recursos essenciais no auxílio às tomadas de decisão, uma vez que nem sempre essas decisões podem ser adiadas para que se completem as séries estatísticas (SALGUEIRO, 2005).

O objetivo de um posto hidrológico é obter uma série ininterrupta de informações ao longo dos anos. Em qualquer caso pode ocorrer à existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido problemas com os aparelhos e/ou com o operador do posto. Os dados coletados devem ser submetidos a uma análise antes de serem utilizados. As causas mais comuns de erros grosseiros nas observações são registro das informações de forma errada e defeitos nos equipamentos de medição (BERTONI e TUCCI, 2004).

3.3 Dimensionamento e operação de açudes

De acordo com Campos (2005), o açude atua como um veículo que transporta a água ao longo do tempo, ou seja, por meio do armazenamento das águas das chuvas, que ocorrem irregularmente no espaço e no tempo, é possível suprir as necessidades da sociedade através do armazenamento da água excedente nos períodos chuvosos para utilização posterior durante os períodos de estiagem. As águas nos reservatórios efluem dele de três formas: por evaporação, sangria e para utilização pela sociedade, captando pela tomada d'água ou diretamente da bacia hidráulica.

A primeira teoria para dimensionamento de reservatórios se deu na Inglaterra por meio de Rippl no final do século XIX, que consiste em um método empírico. O problema do modelo de Rippl é que não era aplicável em regiões de rios intermitentes, mas Hazen, Sudler Hurst buscaram adaptar o método de Rippl para rios intermitentes e obtiveram êxito. Moran, no meado do século XX por meio de cálculos estatísticos, desenvolveu estudos de dimensionamento de açude para os rios intermitentes no norte da Austrália, este ficou chamado modelo estocástico dos reservatórios ou método analítico. Os métodos mais recentes de dimensionamento de barragem, denominados de métodos experimentais ou simulação de Monte Carlo, foram propostos por Yevjevich no final da década de 60 do século XX (CAMPOS, 2005).

Aguiar, por meio de diversas observações de precipitações e respectivos escoamentos no semiárido brasileiro, desenvolveu cálculos que permitem, a partir da altura de precipitação anual, da área e da geomorfologia da bacia hidrográfica, estimar a lamina d'água de escoamento.

Para aplicar o método desenvolvido por Aguiar, utiliza-se a série histórica da lâmina de precipitação da bacia em estudo, organiza-os em ordem crescente, divide-se a série em duas partes e obtém a média da série máxima e da série mínima. Com estas médias efetuam-se os cálculos de lâminas de escoamento, da média máxima obtém o volume acumulável e da média mínima o volume regularizável (CAMPOS, 2005).

O Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) utiliza o método para determinação da lâmina e do volume médios anuais de escoamento da bacia e multiplica este valor por 2 (dois) para obter o volume de armazenamento do reservatório (CAMPOS, 2005).

Campos e Lima (2006) ressaltam que a metodologia aplicada por Aguiar foi desenvolvida no início do século XX quando os rios tinham poucas interferências humanas,

principalmente no que diz respeito a barramento dos cursos d'águas. Atualmente, com os inúmeros açudes represando os rios e tornando os mesmos perenizados, principalmente do Nordeste brasileiro, os regimes hidrológicos destes rios já não são os mesmos de outrora, portanto em muitos casos o método de Aguiar pode não se aplicar aos dias de hoje.

Campos (2005) cita que Aguiar desenvolveu um método de dimensionamento de reservatório, que consiste em uma fórmula polinomial em que é calculada a lâmina escoada média de uma bacia hidrográfica a partir da precipitação e as características geomorfológicas da bacia.

$$R_{mm} = 28,53H - 112,95H^2 + 351,91H^3 - 118,74H^4 \quad (1)$$

$$V_a = (1/1000) \times R_{mm} \times U \times S \quad (2)$$

Sendo:

R_{mm} = lâmina anual média escoada na bacia (mm);

H = lâmina de precipitação anual (mm);

U = fator de correção que introduz fatores geomorfológicos da bacia hidrográfica;

S = área da bacia hidrográfica em km^2 .

V_a = volume médio escoado (m^3).

O estudo hidrológico interanual de um açude deve buscar conhecer as características do regime hidrológico da bacia hidrográfica de contribuição, dimensionar o tamanho do reservatório conhecendo os volumes de perdas e ganhos, e com isto saber o volume útil do açude (CAMPOS, 2005).

Um grande questionamento é em construir vários pequenos açudes ou construir grandes açudes. Campos e Studart (2006) fizeram uma comparação entre 40 reservatórios na bacia hidrográfica do Jaguaribe, e em média os grandes reservatórios são mais eficientes do que os pequenos, visto que os açudes em que o deflúvio afluente de até $10 \text{ hm}^3/\text{ano}$ regularizam em média 23% e evaporam 18% da água, e os açudes em que o deflúvio afluente é acima de $200 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em média regularizam 33% e evaporam 7% de suas reservas hídricas.

Para Tonello (2005), os reservatórios de água constituem um recurso peculiar não somente pela sua amplitude de utilização, mas também por ser um excelente indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem, visto que atua como agente passivo frente aos acontecimentos que ocorrem a montante.

Em síntese, as águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas próprias que refletem as atividades de uso da terra na respectiva bacia hidrográfica; este evento tem levado a uma demanda crescente por monitoramento da

qualidade das águas nos rios e lagos buscando entender os impactos causados pelo uso das bacias hidrográficas.

No nordeste brasileiro a principal medida para disponibilizar água foi e continua sendo a construção e operação de reservatórios superficiais. No planejamento para a construção de açude, opta-se por um ponto estratégico que permita otimizar uma localização que possa tanto armazenar de forma significativa as águas que drenam numa determinada bacia hidrográfica, e localizando o boqueirão nas proximidades da sociedade para a múltipla utilização deste recurso hídrico (CAMPOS e STUDART, 2006).

É comum dentro da bacia de drenagem de um açude, geralmente existirem diversos outros barramentos para atender a demanda da água no âmbito local. Portanto a construção de açudes, mesmo de pequeno porte, a montante de outro reservatório pode resultar em perdas de vazão regularizada na bacia hidrográfica (CAMPOS e STUDART, 2006).

Para comprovar o quanto a construção de pequenos açudes a montante de outros pode comprometer a vazão de regularização, Campos e Studart (2006) fizeram um comparativo entre dois cenários na bacia hidrográfica de contribuição do açude Várzea do Boi, Ceará, em que um cenário adotou a situação real, com a existência de 37 pequenos açudes a montante do açude Várzea do Boi, e outro cenário foi simulado como se na referida bacia não houvesse nenhum açude a montante. Ficou concluído que no cenário real, com 37 pequenos açudes a montante do açude Várzea do Boi, houve uma redução na vazão de regularização na ordem de 40% em relação a um cenário sem açudes.

3.4 Gestão dos recursos hídricos

O gerenciamento dos recursos naturais é uma ferramenta importante para o equilíbrio ambiental e concomitantemente para uma boa qualidade de vida para os seres humanos. Os resultados deste gerenciamento atingem diretamente os recursos hídricos. A gestão dos recursos hídricos nas regiões áridas e semiáridas tem uma importância ainda maior, por causa da escassez ambiental e fragilidade deste recurso, bem como a urgência exigida por populações humanas envolvidas (TAPIA, 1999).

A implementação de planos de gestão dos recursos hídricos em zonas áridas e semiáridas, exige formação de uma equipe interdisciplinar, aplicação de políticas de gestão dos recursos hídricos, cooperação interinstitucional para aplicação das soluções para os problemas ambientais e sociais, incorporação de sistemas de ensino, profissionais de pesquisa

e de formação contínua aos usuários dos recursos hídricos para um uso sustentável do mesmo, adoção de uma gestão estratégica para suprir os múltiplos usos das águas, e é importante também possuir recursos financeiros para execução das atividades referentes à gestão dos recursos hídricos (TAPIA, 1999).

A importância da educação ambiental e da ação concreta de todos os cidadãos é imprescindível ao bom funcionamento do sistema de gestão dos recursos hídricos, não podendo ser a responsabilidade por sua existência em quantidade e qualidade adequadas, relegada exclusivamente ao poder público (COSTA e PERIN, 2004).

Na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrido em 1992 no Rio de Janeiro, ressaltou-se a necessidade de se agregar à gestão de recursos hídricos, a integração dos aspectos relativos ao solo e à água. Neste contexto, a gestão de recursos hídricos adota uma visão mais holística e abrangente, enfatizando a necessidade de atender a quantidade e qualidade da água; a ecologia; a relação entre o solo e os recursos hídricos; e as condições socioeconômicas das funções da bacia hidrográfica (MOSTERT, 2006).

Nota-se que a gestão dos recursos hídricos engloba os problemas e potencialidades de uma região, refletindo no desenvolvimento da sociedade, interferindo assim na organização do uso e ocupação do solo e das atividades econômicas e sociais a serem realizadas na região (MARINATO, 2008).

3.4.1 Legislação

As leis são umas das principais ferramentas para controlar as atividades humanas, e estas mesmas ferramentas podem ser usadas para manutenção e melhorias na qualidade ambiental. Em relação à água no Brasil, existem diversos dispositivos legais que contribuem para preservação e conservação dos recursos hídricos.

O Código de Águas foi o primeiro diploma a abordar especificamente a proteção da qualidade da água no Brasil. No Código Civil de 1916, em seus artigos 563 e seguinte, quando dispôs sobre o uso da água sem comprometimento de suas qualidades naturais.

O Código Penal de 1945 previu a proteção das águas potáveis contra envenenamento, contaminação ou poluição, em seus artigos 270 e 271.

No ano de 1961 surge então o Código Nacional de Saúde, Decreto nº 49.974, regulamentando a Lei 2.312, de 03/09/1954, que, em seus artigos 37 a 39 trata sobre recursos hídricos. Em 1976, é publicada a Portaria 13 da Secretaria Especial do Meio Ambiente

(SEMA), estabelecendo padrões de qualidade da água, sendo substituída pela resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A Lei 9.605/98, Lei dos Crimes Ambientais, também dispõe sobre quem polui, despejando nos cursos d'água efluentes com características que fiquem acima de certo nível de demanda de oxigênio, ou acima de certas porcentagens de sólidos suspensos; este comete crime, estando sujeito à multa e prisão.

Destaca-se ainda a Política Nacional do Meio Ambiente regida pela lei 6938/1981 e a lei 9433 de 1997 que dispõe sobre a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e a Constituição Federal de 1988 (COSTA e PERIN, 2004).

Silva (2014) sintetiza a lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e expõe que, assim como na Constituição Federal, esta também define água no território brasileiro como um bem de domínio público. Outros fundamentos da PNRH são: a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH); e a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades.

3.4.2 Planos da União

A Política Nacional dos Recursos Hídricos apresentou algumas ferramentas para a gestão dos recursos hídricos, sendo os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água, outorga de direitos de uso de recursos hídricos, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (COSTA e PERIN, 2004).

Os Planos de Recursos Hídricos contemplam os Planos Diretores das bacias hidrográficas, Planos Estaduais e Plano Nacional de Recursos Hídricos. Têm um caráter de planejamento futuro e preocupação com os usos múltiplos, e destaque ao abastecimento das populações. O planejamento é baseado no crescimento demográfico, evolução das atividades produtivas, modificação dos padrões de uso do solo, preservação da quantidade, aumento da disponibilidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos, criação de áreas de proteção, etc. (COSTA e PERIN, 2004).

Rahaman e Varis (2005) citam que a gestão integrada de recursos hídricos consiste no processo que promove o desenvolvimento coordenado e gerenciamento da água,

do solo e recursos relacionados, a fim de maximizar os resultados econômicos e bem-estar social de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais.

O planejamento territorial é muito importante para gestão das bacias hidrográficas, ordenando o uso e ocupação do solo, e assim, a localização das atividades e do uso do espaço, em função da vulnerabilidade de cada ambiente. Observa-se que os desequilíbrios e conflitos na bacia são resultantes da incompatibilidade entre a localização das atividades com relação ao meio social em que se insere e a capacidade de suporte do meio natural (JOURAVLEV, 2003).

Durán (2002) afirma que o objetivo de ordenamento territorial é proporcionar uma relação harmônica entre a ocupação humana e o ambiente, para um desenvolvimento socioambiental equilibrado, nisto é importante tratar os problemas entre a sociedade e a natureza, não a nível territorial de grande escala, mas em escala local.

Sendo o planejamento territorial umas das principais ferramentas para gestão integrada da sociedade, meio ambiente e recursos hídricos, com o foco do desenvolvimento sustentável, é importante que este planejamento inicie já a nível municipal e não só em nível de bacia hidrográfica como o todo.

O zoneamento do uso e ocupação do solo não é uma tarefa fácil, pois o desenvolvimento da sociedade humana se deu às margens dos principais corpos hídricos, na sua grande maioria não respeitando os limites de vulnerabilidade nos mesmo. Por exemplo, é comum observar nas margens de rios e em áreas de recarga de águas subterrâneas a presença de diversas atividades antrópicas, que nestes locais se instalaram em outrora por falta de conhecimento dos níveis de danos que estas atividades podiam causar aos corpos hídricos. Portanto, com estas atividades já consolidadas nos respectivos locais, é de muita dificuldade reordenar a ocupação territorial (MARINATO, 2008).

3.4.3 Outorga

A outorga no Brasil é um instrumento de controle da qualidade e quantidade de água para o disciplinamento de seus múltiplos usos e/ou equacionarem conflitos. Pela legislação brasileira e das unidades federativas, a outorga é determinada somente pela vazão mínima, de acordo com a série histórica hidrológica, no qual se apropria da estatística para determinar Q90% (a vazão observada em 90% do tempo da série história), Q95% (a vazão observada em 95% do tempo da série história) e a Q7,10 (vazão mínima de 7 dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos) (SANTOS e CUNHA, 2013).

Santos e Cunha (2013) dizem que já é realidade em alguns países como a Austrália, a África do Sul, os da América do Norte e outros onde as vazões residuais, remanescentes, ecológicas ou ambientais, para a liberação da outorga do uso/consumo da água, não tem como base somente a vazão mínima do histórico hidrológico, mas que supra todas as necessidades do ecossistema, ou seja, que a quantidade de água que permanece nos corpos hídricos, após as múltiplas utilizações, leva em consideração além dos dados hidrológicos, também as características ecológicas, culturais e econômicas da bacia hidrográfica utilizada.

No Ceará, a lei nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010 que trata da Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos e rege a outorga dos recursos hídricos do estado. Nessa lei a vazão mínima de referência para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos é a Q90%, ou seja, a vazão com 90% de probabilidade de ser igualada ou superada durante a série histórica (SANTOS e CUNHA, 2013).

3.5 Diagrama Triangular de Regularização

O Diagrama Triangular de Regularização, desenvolvido por Nilson Campos em 1987 como resultados da tese de doutorado, se trata de um método para se determinar o balanço hídrico de açudes em relação aos volumes evaporados, de sangria e utilizável para seus múltiplos usos, com base no regime de escoamento hidrológico superficial (CAMPOS, 2005).

Para Campos (1997) desenvolver sua teoria do Diagrama Triangular de Regularização usou das premissas que a unidade de tempo é um ano, dividido em duas estações: seca e úmida, pois a utilização de parâmetros mensais inviabiliza qualquer modelo que procure ser simples. A determinação de volumes dos reservatórios dividindo-o em quantidades suficiente de modo a fornecer resultados precisos. O coeficiente de correlação serial é desprezível se justifica porque o regime hidrológico dos rios da região nordestina do Brasil é intermitente, com longa estação seca (de três a nove meses), o que implica na não existência significativa de transporte de umidade pelo solo de um ano para outro, o que torna desprezível na influência da bacia hidrográfica no coeficiente de variação dos deflúvios.

A dinâmica dos açudes é que as afluências ocorrem na estação úmida e as efluências na estação seca, e que a depleção do reservatório é uma sequência, quando o açude está cheio ocorre a evaporação, em seguida a retirada para seus múltiplos usos, e quando o reservatório atinge o volume morto, predomina a evaporação novamente (CAMPOS, 1997).

As águas superficiais estocadas em açudes são demanda em três processos, uma parte pela sangria do açude por meio do vertedouro, outra parte se perde pela evaporação, do que sobra resulta as águas utilizadas pelo público nos seus múltiplos usos. O volume demanda para cada etapa depende do regime hidrológico do rio, condições climatológicas e geomorfologia da bacia hidráulica, do perfil da barragem e das regras de operação do açude. Por isto que o diagrama triangular de regularização é uma excelente ferramenta para compreender as trocas entre sangria, evaporação e a vazão de regularização nas águas armazenadas em açudes (CAMPOS, 2005).

Para usar o Diagrama Triangular de Regularização é necessário seguir as seguintes etapas: determinar a série histórica de vazões, e submeter esta série ao tratamento estatístico de média, desvio padrão e coeficiente de variação. Do reservatório, obter os dados de volume em cada cota, e com isto calcular o coeficiente ou fator de forma do reservatório (α), obtido pela divisão do volume máximo (K) do açude sobre a respectiva cota (h) elevada ao cubo ($\alpha = K/h_{\max}^3$); por meio do fator de forma se calcula o coeficiente de evaporação (f_e), que se tem pela formula $f_e = (3\alpha^{1/3}/\mu^{1/3})E$, sendo μ o volume afluyente médio anual ao açude em metros cúbicos e E a lâmina de evaporação do reservatório no período da estiagem; calcula-se o fator ou coeficiente de capacidade do açude (f_k) pela relação $f_k = K/\mu$ (CAMPOS, 2005).

Campos (2010) disponibilizou por meio de sua teoria 11 (onze) Diagramas Triangulares de Regularização, sendo um para cada coeficiente de variação dos escoamentos (CV) de 0,60, 0,70, 0,80, 0,90, 1,00, 1,10, 1,20, 1,30, 1,40, 1,50, 1,60, os diagramas estão disponíveis no anexo A. Escolhendo-se o diagrama de acordo com o coeficiente de variação dos escoamentos e utilizando os coeficientes de forma e evaporação, é possível conhecer o percentual de sangria, de evaporação e o de utilização (liberado) para os múltiplos usos de recurso hídrico.

Campos e Studart (2006) afirmam que a problemática da regularização de vazão dos reservatórios perpassa em sanar as seguintes questões: caracterizar os fatores de escoamento estatisticamente por meio da média, desvio padrão e coeficiente de variação e outros; determinar a capacidade de acumulação do reservatório; o estudo dos efeitos da evaporação; e definir o regimento de operação do reservatório para atender a demanda, tanto dos usuários antrópicos, como também os consumos naturais da evaporação e sangria.

O DTR tem sido aplicado em muitos estudos feitos pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) para dimensionamento de açudes, pois o DTR pode ser usado para avaliar a eficiencia do planejamento de reservatório e permitir ou negar a construção (CAMPOS, 2010).

O DRT pode ser utilizado como uma ferramenta didática para aulas sobre planejamento dos recursos hídricos. Como por exemplo, um estudo usando o diagrama para avaliar os ganhos da utilização do reservatório por hipotética de redução dos valores de evaporação (CAMPOS, 2010).

Os reservatórios em que o influxo tem menores valores de coeficiente de variação regularizam maiores valores de vazão do que aqueles que têm mais variação. Para comprovar isto Campos e Studart (2006) efetuaram uma simulação de operação do açude Caxitoré, localizado na cidade de Umirim - Ceará, no estado de equilíbrio, com coeficientes de variação do deflúvio anual afluente ao reservatório entre 0,2 a 1,6, adotando-se o coeficiente de forma 1,5, onde se pode ver na (Tabela 01) a porcentagem do volume da água armazenada no reservatório em relação ao coeficiente de variação do influxo.

Tabela 1: Influência da variabilidade do deflúvio na vazão de regularização dos açudes.

Coeficiente de variação do influxo	Porcentagem de vazão regularizada em açudes
0,2	77
0,4	62
0,6	49
0,8	38
1	30
1,2	24
1,4	20
1,6	19

Fonte: Adaptado de (CAMPOS e STUDART, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterizações dos escoamentos a partir de dados secundários

A priori para o desenvolvimento desta pesquisa, foram feitos os levantamentos bibliográficos relativos à hidrologia, escoamento superficial, açudes, gestão dos recursos hídricos, sobre o Diagrama Triangular de Regularização, entre outros assuntos afins. Este levantamento se deu até a conclusão do estudo.

Como este trabalho consiste em conhecer a variabilidade da lâmina de escoamento superficial no Ceará, e para determinar a lâmina de escoamento de cada bacia hidrográfica dos postos fluviométricos, se busca obter as vazões dos exultórios e as respectivas áreas de contribuição.

As informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho foram obtidas no banco de dados da Rede Hidrometeorológica Nacional (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), composta de estações fluviométricas, onde se monitoram o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas. Esta rede monitora 2.176 dos 12.978 rios cadastrados no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA. No estado do Ceará são monitorados 343 postos fluviométricos, sendo 177 em açudes e 166 em rios, riachos e leitos perenizados (BRASIL, 2015a).

Medeiros (2009) afirma que regiões como o Nordeste brasileiro, com características climáticas semiáridas e com uma grande variabilidade temporal e espacial na precipitação, a escassez de postos pluviométricos pode introduzir erros nas estimativas hidrológicas, portanto ressaltando a importância do banco de dados hidroclimatológicos disponibilizado pela ANA no Sistema de Informações Hidrológicas.

No sítio HidroWeb da ANA estão disponíveis as informações de dados hidrológicos, mapas, documentos, informações, softwares e outros. Nesta pesquisa a princípio estão sendo coletadas as informações existentes no item “dados hidrológicos”, e subitem “série histórica”, como indicado na Figura 2.

Figura 2: Página da HidroWeb no sítio da ANA.



Fonte: (BRASIL, 2015a).

Na lista das estações fluviométricas disponibilizada pela ANA estão postos instalados em rios, riachos e em açudes. Todavia, as medições em açudes referem-se ao nível da água, ou seja, as vazões podem ser obtidas apenas de forma indireta através de cálculo do balanço hídrico nos mesmos.

Assim, este estudo tem como foco os postos fluviométricos instalados nos rios e riachos, para isso, aplica-se um filtro para todos os respectivos postos, com o intuito de elencar os postos que possuem dados consistentes, observando os anos com dados validados e sem falha de informação. E para tratamento dos dados foram utilizadas as estações que tenham no mínimo uma série de cinco anos de informações válidas.

O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil, limitando-se a Norte com o Oceano Atlântico; ao Sul com o Estado de Pernambuco; a Leste com os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba e a Oeste com o Estado do Piauí, possuindo uma área de 148.886,3 km². Aproximadamente 93% de seu território inserido na região do semiárido nordestino, caracterizada principalmente pela irregularidade espaço-temporal e escassez pluviométrica em determinados períodos do ano, tendo seu efeito potencializado pelas altas taxas de evaporação/evapotranspiração. O clima predominante no Estado é o tropical quente semiárido. O índice pluviométrico no Ceará varia entre aproximadamente 400 a 1250 mm/ano, sendo a média normal próximo de 800 mm, e a taxa de evapotranspiração de aproximadamente 2000 mm/ano (CEARÁ, 2016c).

Para uma melhor gestão dos recursos hídricos superficiais, no território cearense há doze divisões de regiões hidrográficas (bacias hidrográficas), sendo Metropolitana, Acaraú,

Coreaú, Curu, Litoral, Serra da Ibiapaba, Sertões de Crateús, Salgado, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe, Baixo Jaguaribe e Banabuiú, sendo estas cinco últimas regiões hidrográficas constituintes da grande bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) monitora cerca de 153 açudes com característica de múltiplos uso das águas represadas (CEARÁ, 2016c).

Portanto a área de estudo sobre o escoamento superficial corresponde a todo o território cearense, mais especificamente onde houver postos fluviométricos com as especificações citadas nos parágrafos anteriores, que no caso resultou em 46 postos (ver Mapa 1).

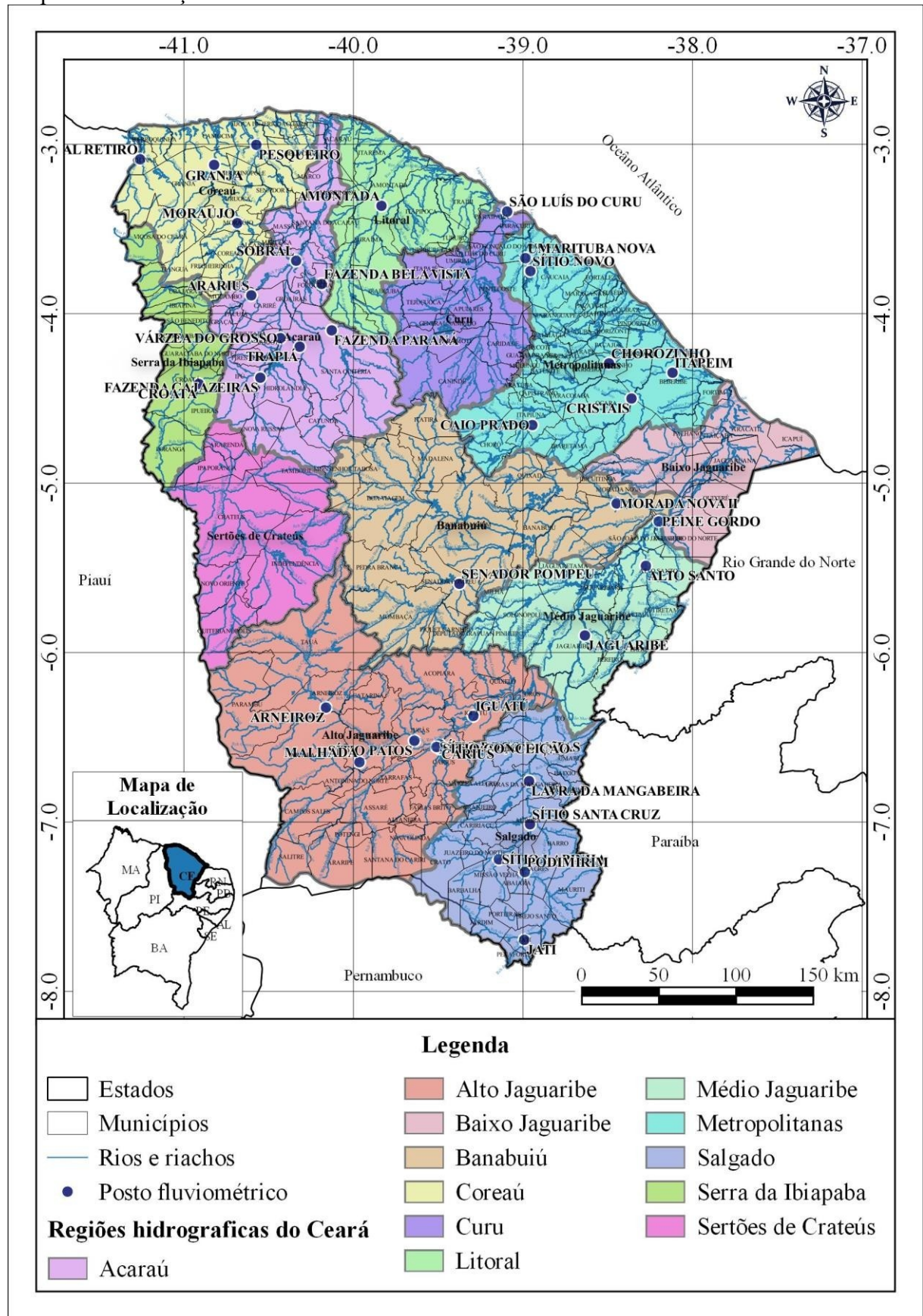
A obtenção dos dados da HidroWeb, a (Figura 3) ilustra um exemplo dos dados disponíveis na estação 36160000, que corresponde a estação localizada no município de Iguatu - Ceará, onde são apresentadas várias informações como: nome da estação; bacia hidrográfica, município, coordenadas geográficas e outros. A HidroWeb disponibiliza os dados hidrológicos dimensionais, quantitativos e/ou qualitativos referentes à estação.

Os dados disponibilizados para cada estação fluviométricos, para esta pesquisa está no formato .TXT, que são abertos e adaptados para trabalhar em planilha de cálculo, que para este estudo está sendo usado uma planilha eletrônica. As séries históricas das vazões, de cada estação fluviométrica são organizadas em ordem crescente dos anos, filtrando-se os anos em que as séries sejam completas e confiáveis. Cada vazão é convertida em lâmina de escoamento diária (Esc) pela equação:

$$Esc(mm/dia) = \frac{vazão(m^3/s) \times 86400}{(área da bacia(km^2) \times 10^6)} \times 10^3 \quad (3)$$

As lâminas de escoamentos diários são condensadas pela somatória de escoamento mensal e anual. O escoamento anual é calculado média aritmética, o desvio padrão da amostra e o coeficiente de variação. De acordo com Triola (2005) a média aritmética é a medida de centro encontrada pela adição dos valores pela divisão do total de número de variáveis, já desvio padrão é uma medida da variação dos valores em torno da média, e o coeficiente de variação descreve o desvio padrão relativo à média, que pode ser representado em percentual.

Mapa 1: Localização da área de estudo.



Fonte: Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); e CEARÁ (2015a).

Figura 3: Ilustração da consulta dos dados da estação fluviométrica de Iguatu
IGUATU (36160000)

Consultando o banco de dados... [Nova Consulta](#)

2114 registros selecionados.

[Clique aqui](#) para baixar o arquivo VAZOES.ZIP contendo os dados da consulta no formato texto.

Dados da Estação	
Código	36160000
Nome	IGUATU
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIO JAGUARIBE (36)
Rio	RIO JAGUARIBE
Estado	CEARÁ
Município	IGUATU
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:22:28
Longitude	-39:17:36
Altitude (m)	213
Área de Drenagem (km2)	20700

Consultar série de:

Arquivo Access

Clique em:

- Vazões (m³/s)
- Cotas (cm)
- Qualidade da Água
- Resumo de Descarga
- Sedimentos
- Perfil Transversal

- **Arquivo Access** - para criar arquivo Access compactado com os dados da consulta (esse arquivo pode depois ser importado)
- **Arquivo Texto** - para criar arquivo texto compactado com os dados da consulta.

Fonte: (BRASIL, 2015a).

Os tratamentos efetuados nos dados das séries históricas das estações fluviométricas no Ceará serão representados em tabelas, diagramas e mapas. Para representação a variabilidade escoamentos superficial em cada estação fluviométrica pretende-se usar o diagrama de caixa, mais conhecido como *boxplot*, pois por meio deste é possível expressar varias informações ao mesmo tempo, como o centro dos eventos e os níveis de variação. No diagrama de caixa se têm representado a mediana, o 1º e 3º quartil e os valores mínimo e máximo (TRIOLA, 2005). Para se confeccionar o *boxplot* foi utilizado o IBM SPSS Statistics.

De acordo com Triola, (2005) a mediana equivale ao número do meio quando um conjunto de dados está organizado em ordem crescente ou decrescente, já o 1º quartil (Q_1) é o valor que corresponde na ordem dos dados de 25%, e com isto quer mostrar que no mínimo 25% dos valores ordenados são inferiores do que ou iguais a Q_1 e 75% dos valores ordenados são superiores do que o Q_1 , o mesmo raciocínio se faz para o 3º quartil (Q_3), mas que separa os 75% inferiores dos valores ordenados dos 25% superiores, ou seja, no mínimo 75% dos valores ordenados são menores do que ou iguais a Q_3 e no mínimo 25% dos valores são maiores do que ou iguais a Q_3 .

Para entender os fatores que influenciam a variabilidade do escoamento superficial será correlacionado, o coeficiente de variação do escoamento superficial entre os anos de cada posto fluviométricos, com algumas variáveis relacionadas, como precipitação média anual, área de drenagem, tipo de geologia e outras variáveis hidrológicas.

Para estabelecer correlações os coeficientes de variação com as características hidrológicas dos postos fluviométricos, foram utilizados diagramas de dispersão, que consiste em relacionar um conjunto de dados, no eixo X, com outro conjunto correspondente de dados, no eixo Y (TRIOLA, 2005). E partir da regressão linear e logarítmica compreender o comportamento da relação das variáveis com ajuda da determinação do coeficiente de determinação ou simplesmente R^2 .

O coeficiente de determinação que consiste no quadrado do coeficiente de correlação de Pearson, que é chamado de uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra (SHIMAKURA, 2015). O valor de R^2 varia no intervalo de 0 a 1, onde valores próximos de 1 (um) indicam que o modelo proposto é adequado para descrever o fenômeno (PERTENELLI, 2015).

Foram plotados mapas no território cearense, com representação do coeficiente de variação de cada posto fluviométrico com sua respectiva bacia hidrográfica, em estudo neste trabalho, para diferenciar o coeficiente de variação das estações foi criada uma legenda de cores. Outros mapas foram confeccionados sobrepondo cartas, como por exemplo o mapa do coeficiente de variação do escoamento superficial sobre a carta do tipo de geologia. Para confeccionar os mapas usou-se o QGIS 2.10.1 – Pisa.

4.2 Método do Diagrama Triangular de Regularização

A partir dos dados gerados de escoamento superficial e coeficientes de variação dos postos fluviométricos, como das correlações determinadas entre os CVs e as características das bacias hidrográficas dos respectivos postos, buscou-se em determinar meio de estimar o volume médio anual de afluente e coeficientes de variação, para região que não possua dados hidrológicos suficientes para usufruir do Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para melhor gestão dos recursos hídricos estocados nos açudes.

O Diagrama Triangular de Regularização desenvolvido por Nilson Campos, parte do princípio que o volume estocado são transformados três tipos de efluentes: a produção, ou vazão regularizada, a perda por evaporação da superfície do lago; e a sangria (CAMPOS, 2010).

Os dados de entrada usados no modelo DTR são: a forma da bacia hidráulica, o nível de evapotranspiração, o volume afluente médio anual no açude e sua variabilidade. Portanto, uns dos fatores importantes para dimensionamento de um reservatório é conhecer o coeficiente de variação (CV) do escoamento da bacia hidráulica de contribuição. Neste estudo se pretende utilizar o coeficiente de variação dos escoamentos anuais para, a partir do Diagrama Triangular de Regularização, promover um zoneamento do Ceará em termos de capacidade regularização de vazão por reservatórios.

Para aplicar o DTR é preciso conhecer o volume afluente médio anual do açude, e determinar o coeficiente de variação deste afluente. A obtenção destas informações a princípio é necessário ter uma série histórica de dados hidrológicos para se efetuar os cálculos estáticos, e assim obter as informações aqui citadas.

Outros dados importantes para usar o modelo DTR é saber o perfil da bacia hidráulica do açude, que consiste principalmente no volume máximo, a profundidade máxima, e o índice de evaporação do reservatório.

Campos (2005) usou como primícias no seu modelo, que tempo de gestão do açude de um ano, sendo que este ano é dividido em dois períodos, o período chuvoso que consisti no momento em que o açude tem aporte de água, e o período da estiagem que é quando a água é demanda para os múltiplos usos e se perde pela evaporação.

Com os dados supracitados em mão vem à efetuação dos cálculos para obtenção dos fatores ou coeficientes para serem aplicados no DTR. A priori se determina o fator de forma do reservatório pela a equação seguinte:

$$\alpha = K/(h_{\text{máx}})^3 \quad (4)$$

Sendo:

α = coeficiente ou fator de forma

K = volume máximo do açude

$H_{\text{máx}}$ = profundidade do volume máximo do açude

Em seguida pode se calcular o fator de evaporação pela equação 5:

$$f_E = (3\alpha^{(1/3)} / \mu^{(1/3)})E \quad (5)$$

Sendo:

f_E = coeficiente ou fator de evaporação

α = fator ou coeficiente de forma

μ = volume afluente médio anual

E = lâmina de evaporação do reservatório

Considerando que o fator tempo usado no laboratório é de um ano, por tanto a lâmina de evaporação do reservatório (E) usado para os cálculos do DTR corresponde à evaporação média ocorrido nos meses de estiagem.

Outra equação a ser executada é a do fator de capacidade do açude de acordo equação seguinte:

$$f_k = K/\mu \quad (6)$$

Sendo:

f_k = fator ou coeficiente de capacidade

K = capacidade do açude

μ = volume afluyente médio anual

Conhecido os fatores de evaporação e de capacidade do açude, resta apenas determinar o coeficiente de variação (CV) do volume afluyente médio anual, para se determinar qual dos 11 diagramas desenvolvidos por Campos (2010) que melhor se enquadra. Escolhido o diagrama encontra-se os fatores calculados e a partir do ponto de cruzamento das linhas correspondentes aos fatores, se conhece as demandas para sangria, evaporação e utilização do volume afluyente no açude. Os diagramas de Campos (2010) estão no anexo A.

Para melhor entendimento do funcionamento do Diagrama Triangular de Regularização, acompanha na seção 5.6 todo o procedimento para encontrar o volume da água disponível para regularizar durante um ano, da que água aflui ao açude de Patu, instalado na cidade de Senador Pompeu na bacia hidrográficas do Banabuiú.

Como se percebe para aplicar o DTR é necessário ter informações sobre as características da bacia hidráulica, dados meteorológicos e hidrológicos referentes ao açude. Porém muitas vezes há pobreza de dados hidrológicos para determinar o volume afluyente médio anual e seu coeficiente de variação.

Para suprir esta pobreza de dados hidrológicos é que se pretende relacionar fatores ambientais com os fenômenos hidrológicos dos postos fluviométricos estudados neste trabalho, e com isto obter modelos que possam ser aplicados em ambientes semelhantes, para obtenção do volume afluyente médio anual e respectivo coeficiente de variação e aplicação do DTR.

Os principais açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú foram usados para validar e aplicar o método aqui proposto para estimativa do volume médio anual afluyente em um açude e seu respectivo coeficiente de variação, para efetuar o DTR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará

Na Rede Hidrometeorológica Nacional (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA), são monitorados 2.176 dos 12.978 rios cadastrados no Sistema de Informações Hidrológicas. No estado do Ceará são monitorados 343 postos fluviométricos, sendo 177 em açudes e 166 em rios, riachos e leitos perenizados (BRASIL, 2015a).

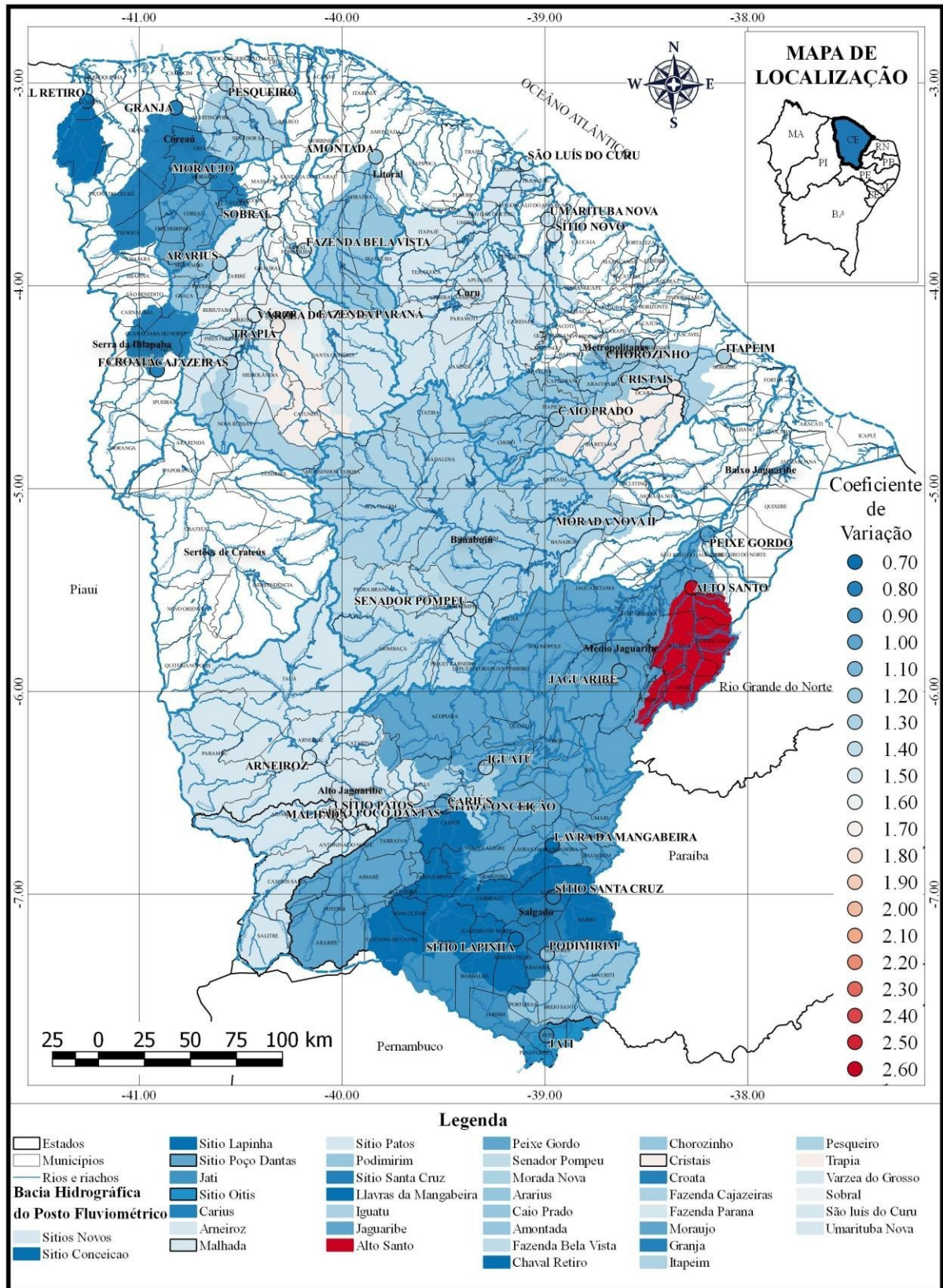
O Mapa 2 apresenta todas as bacias hidrográficas das estações fluviométricas em estudo neste trabalho, sendo identificadas com cores conforme seu coeficiente de variação. O mesmo facilita a identificação e a localização do coeficiente de variação de cada posto fluviométrico, sendo uma importante ferramenta para a gestão de reservatórios uma vez que o CV influencia sua capacidade de regularização de vazão.

No Mapa 2 estão identificados por círculos a localização de cada posto fluviométrico utilizados nesta pesquisa, sendo estes classificados de acordo com o coeficiente de variação da lâmina de escoamento anual. A legenda na parte inferior do mapa, com coloração semelhante à da legenda do coeficiente de variação corresponde ao nome de cada seção de monitoramento de vazão.

Entre os 166 postos fluviométricos instalados no Ceará, os que foram possíveis detectar valores de vazões e com no mínimo cinco anos de dados válidos, ou seja, sem falhas significativas das informações e valores duvidosos, contabilizaram 46 estações, distribuídas em todas as bacias hidrográficas como é possível visualizar no Mapa 2. Após análise dos dados, alguns dos postos encontrados no Mapa 2 foram eliminados do estudo (ver Tabela 2) por apresentarem inconsistências.

Entre os postos removidos estão os que tinham menos de 10 anos de séries históricas consistentes como Arraial, Castanhão, Fazenda Timburana, Quixeré, Santana do Acaraú, Saudoso e Sitio Oitis. Já a estação de Flores foi eliminada por apresentar registro de vazões fora dos padrões para o Ceará, os motivos para isto podem ser vários, entre os quais erro na anotação ou na curva chave utilizada para converter as leituras de nível em vazão. O posto Barra Nova foi retirado por sofrer influência de chuvas orográficas, por estar próximo ao maciço de Baturité, este tipo de regime de precipitação é atípico para a média geral do Ceará.

Mapa 2: Coeficiente de variação do escoamento anual no estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); e CEARÁ (2015a).

No Ceará, assim como em grande parte do semiárido brasileiro, o regime hidrológico é bem peculiar, principalmente alta variabilidade dos fenômenos de precipitação e escoamento superficial, como é possível observar no Mapa 2 e Tabela 2 a partir do coeficiente de variação (CV) da lâmina de escoamento anual no território do estado. Os valores de coeficiente de variação são bem elevados, tendo como valor mínimo de 0,7, a média e a mediana 1,3, e a máxima 2,7.

Com esta grande variabilidade no *runoff* no território cearense, torna-se ainda mais desafiador a gestão dos recursos hídricos, para que nos períodos de estiagem tenha água para seus múltiplos usos, principalmente porque muitas vezes esta estiagem vai além dos últimos seis meses do ano, prolongando-se até por vários anos.

Tabela 2: Postos fluviométricos estudados do estado do Ceará e a caracterização dos escoamentos anuais

Seção	Bacia hidrográfica	Município	Período de dados (ano)	Escoam. médio anual (mm/ano)	Desvio padrão (mm/ano)	CV¹
Chaval Retiro	Coreaú	Chaval	11	125,1	93,2	0,7
Sítio Lapinha	Salgado	Missão Velha	33	101,2	79,9	0,8
Lavra Da Mangabeira	Salgado	Lavras da Mangabeira	28	62,1	47,1	0,8
Sítio Conceição	Alto Jaguaribe	Cariús	12	76,4	63,6	0,8
Croatá	Serra da Ibiapaba	Croatá	35	107,0	96,5	0,9
Granja	Coreaú	Granja	19	223,2	202,2	0,9
Sítio Santa Cruz	Salgado	Aurora	12	33,5	30,5	0,9
Cariús	Alto Jaguaribe	Cariús	21	41,5	38,1	0,9
Jati	Salgado	Jati	14	7,6	7,4	1,0
Moraujo	Coreaú	Moraujo	10	150,3	171,6	1,1
Jaguaribe	Médio Jaguaribe	Jaguaribe	30	35,2	37,4	1,1
Sítio Poço Dantas	Alto Jaguaribe	Cariús	44	38,4	42,8	1,1
Peixe Gordo	Médio Jaguaribe	Tabuleiro do Norte	31	42,9	46,4	1,1
Amontada	Litoral	Amontada	43	121,1	163,4	1,3
Ararius	Acaraú	Cariré	16	213,7	271,5	1,3
Caio Prado	Metropolitana	Itapiuna	54	64,6	84,5	1,3
Chorozinho	Metropolitana	Chorozinho	22	97,8	130,1	1,3
Podimirim	Salgado	Milagres	40	27,5	34,6	1,3
Fazenda	Acaraú	Hidrolândia	16	107,7	150,5	1,4

Cajazeiras

Itapeim	Metropolitana	Beberibe	10	117,3	162,2	1,4
Pesqueiro	Coreaú	Camocim	11	131,7	182,7	1,4
Iguatú	Alto Jaguaribe	Iguatu	74	34,8	48,5	1,4
Morada Nova II	Banabuiú	Morada Nova	35	37,9	51,4	1,4
Fazenda Bela Vista	Acaraú	Forquilha	19	155,4	227,8	1,5
Senador Pompeu	Banabuiú	Senador Pompeu	72	77,1	118,1	1,5
Umarituba Nova	Metropolitana	São Gonçalo do Amarante	29	101,0	160,5	1,6
Fazenda Paraná	Acaraú	Sobral	20	47,0	75,0	1,6
Arneiroz	Alto Jaguaribe	Arneiroz	84	33,5	54,0	1,6
Sítio Novo	Metropolitana	São Gonçalo do Amarante	11	45,8	71,2	1,6
São Luís Do Curu	Curu	São Luís do Curu	36	70,7	116,0	1,6
Várzea Do Grosso	Acaraú	Santa Quitéria	36	94,6	152,1	1,6
Sítio Patos	Alto Jaguaribe	Jucás	13	23,1	36,1	1,6
Malhada	Alto Jaguaribe	Saboeiro	32	26,8	42,2	1,6
Sobral	Acaraú	Sobral	24	127,0	214,2	1,7
Trapιά	Acaraú	Santa Quitéria	33	101,5	179,2	1,8
Cristais	Metropolitana	Cascavel	32	89,6	159,7	1,8
Alto Santo	Médio Jaguaribe	Alto Santo	11	42,4	112,8	2,7

¹ Coeficiente de variação.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); CEARÁ (2015a).

Ainda na Tabela 2 alguns valores reforçam a comprovação do elevado nível de variação da lâmina de escoamento, visto que os valores máximo, mínimo, médio e mediano serem de 223,2 mm, 7,6 mm, 82,0 mm e 76,4 mm, respectivamente. Enfatiza-se ainda que a média do desvio padrão de todos os postos estudados é de 106,9 mm.

Como na Tabela 2 e Mapa 2 também torna-se perceptível a grande variabilidade entre os coeficientes de variação dos escoamentos anuais, visto que mesmo da mesma bacia hidrográfica, como a do Acaraú, a diversidade dos CVs de cada posto fluviométrico é alta, o que ressalta a atenção de que cada açude deve ser dimensionado e gerido de acordo com as características da sua própria área de drenagem.

No Gráfico 1 estão ilustrados dois gráficos do tipo *boxplot*, os quais mostram um resumo geral das lâminas mensais de escoamento registradas nas 46 estações fluviométricas utilizadas neste trabalho, ou seja, têm-se um perfil do *runoff* no estado do Ceará. Para

confeção destes gráficos foram plotados todos os dados de escoamento das estações fluviométricas.

No Gráfico 1A têm-se visualizado o resultado completo de todos os dados das lâminas de escoamento do estado do Ceará usados nesta pesquisa. Observa-se nesse gráfico uma grande quantidade de valores *outliers* ou atípicos que sobressaem os valores entre os quartil 1 e 3, e indo até além dos valores máximos e mínimos estimados pelos cálculos do *boxplot*. Os valores atípicos com símbolos de grau (°) correspondem aos valores que ultrapassam os limites dos percentis 10% e 90% e os simbolizados por asterisco (*) os valores além dos limites dos percentis 5% e 95%.

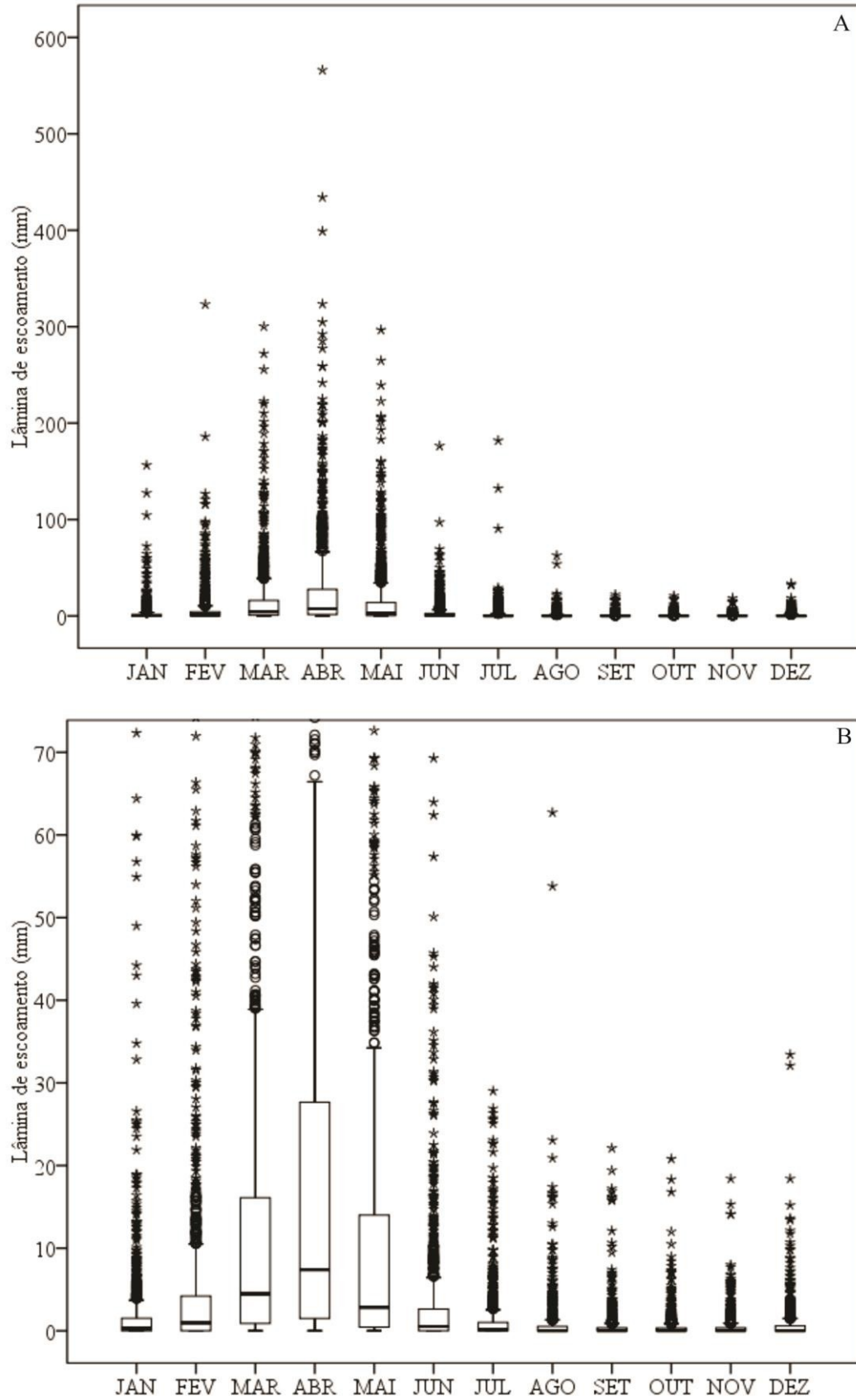
Observa-se no Gráfico 1B um “zoom” para enfatizar as caixas correspondentes aos quartis 1, 2 (mediana) e 3, e também os valores máximos e mínimos. Nesta figura pode-se confirmar o que foi enfatizado por Campos e Studart (2006), que dizem que 90% do escoamento das águas nos rios cearenses fluem entre os meses de fevereiro a maio e com grande variabilidade interanual. Percebe que geralmente os escoamentos dos rios iniciam e/ou se elevam a partir de dezembro, mas de forma muito discreta. O período de maior vazão nos rios se dá entre março e maio, todavia depois de agosto até novembro praticamente os níveis dos rios tendem a zero, mesmo tendo o Ceará uma grande quantidade de açudes que conseguem perenizar alguns dos rios durante a estiagem.

Ainda se observa no Gráfico 1B que a mediana de cada mês, principalmente os meses com maiores variabilidades de lâmina de escoamento, está mais próxima do 1º quartil do que do 3º quartil, ou seja, uma distribuição dos dados positivamente assimétricos o que evidencia que na maioria das vezes as vazões dos rios são muito baixas (PETENATE, 2015).

O Gráfico 1B ilustra também que, além da grande variabilidade interanual da vazão nos rios do Ceará, também há uma grande variabilidade em cada mês, principalmente nos meses referentes ao período chuvoso, como de março a maio. Por exemplo, o mês de abril que se apresenta como o período com maior vazão, possui também uma grande variabilidade, estando os quartis 1, 2 e 3 próximos de 2, 5 e 28 mm respectivamente, e seu mínimo e máximo em 0 e 66 mm.

Camurça (2011) avaliando a precipitação na bacia hidrográfica do rio Jaguaribe constatou que o mês de março é o mais chuvoso, com cerca de 25% do total anual, a pré-estação entre dezembro e janeiro apresenta valores mínimo de 33,41 mm e máximo de 432,21 mm. A quadra chuvosa vai de fevereiro a maio representado 73% da média pluviométrica anual com média de 540,6 mm.

Gráfico 1: Variabilidade dos escoamentos mensais nos postos fluviométricos estudados no estado do Ceará.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a).

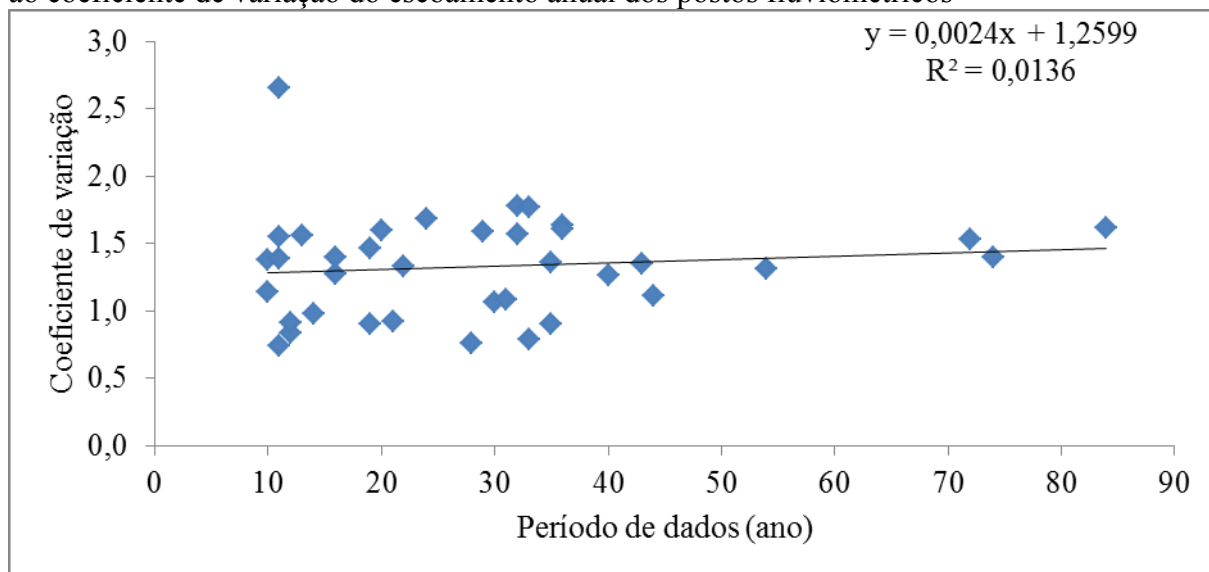
Com este alto índice de variabilidade do escoamento superficial no Ceará surge o questionamento sobre quais fatores influenciam este fenômeno. É sabido que uma série de fatores afeta o padrão dos escoamentos, como: a sazonalidade da precipitação, que tem um perfil estatístico semelhante com *runoff*; as formações geológicas, onde o embasamento cristalino se encontra muito próximo à superfície, em muitos casos até aflorando; a predominância de solos rasos e de pouca intemperização; a vegetação dominante da Caatinga, entre outros fatores. Posteriormente são discutidos alguns destes fatores e sua influência sobre a variabilidade dos escoamentos.

Alencar et al. (2006) observaram que o estudo do escoamento superficial está relacionado ao conhecimento dos fatores que potencializam as relações hídricas de uma bacia hidrográfica. Sabe-se que os principais fatores que contribuem para o aumento do escoamento superficial, são os hidroclimáticos e fisiográficos.

Nos apêndices A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K são apresentados gráficos do tipo *boxplot*, que foram efetuados de cada posto fluviométrico utilizado neste estudo, fazendo o comparativo entre os meses. Também foram confeccionados gráficos *boxplot* para cada região hidrográfica, de acordo com a divisão da Secretaria dos Recursos Hídricos do estado Ceará, comparando a variabilidade interanual dos postos fluviométricos correspondentes à bacia hidrográfica.

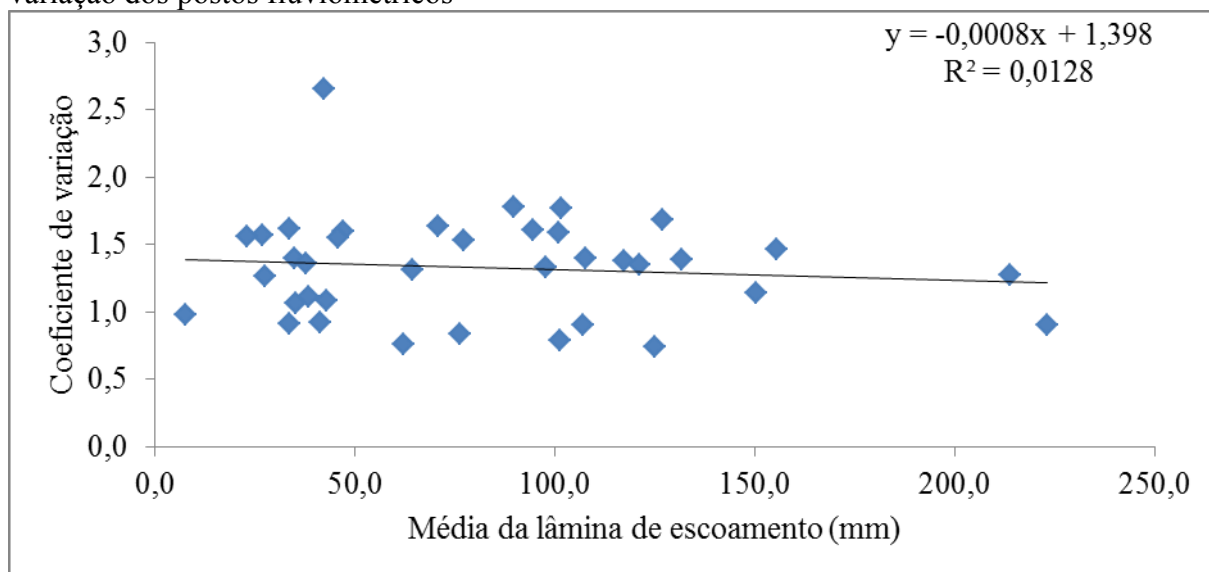
O Gráfico 2 apresenta a correlação entre o período de dados (extensão da série fluviométrica) em relação ao coeficiente de variação do escoamento anual dos postos fluviométricos. No Gráfico 3 é apresentada a correlação da lâmina média anual de escoamento em relação ao coeficiente de variação dos postos fluviométricos.

Gráfico 2: Correlação entre o período de dados (extensão da série fluviométrica) em relação ao coeficiente de variação do escoamento anual dos postos fluviométricos



Fonte: Elaborado pelo auto a partir de (BRASIL, 2015a).

Gráfico 3: Correlação da lâmina média anual de escoamento em relação ao coeficiente de variação dos postos fluviométricos



Fonte: Elaborado pelo auto a partir de (BRASIL, 2015a).

O que se pode notar nos Gráficos 2 e 3 é que os coeficientes de determinação são muito baixos, respectivamente 0,0136 e 0,0128, portanto nem a extensão da série de dados e nem a lâmina média anual do escoamento das estações fluviométricas neste estudo, têm correlação com o coeficiente de variação dos escoamentos anuais. Além disso, os valores dos coeficientes angulares nos Gráficos 2 e 3 são muito baixos (0,0024 e -0,0008), se mostrando com leve inclinação, o que indica que se espera o mesmo coeficiente de variação dos

escoamentos anuais para quaisquer valores de extensão da série de dados e da lâmina média de escoamento anual.

5.2 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará em relação à precipitação média por bacia hidrográfica

Com o intuito de compreender as causas do elevado nível dos coeficientes de variação (CV) nos escoamentos anuais dos rios no estado do Ceará, buscou-se correlacionar as lâminas de escoamentos e os respectivos CVs dos postos fluviométricos com algumas características do território, como precipitação, tipo de geologia, área da bacia hidrográfica de influência entre outros.

Observa-se na Tabela 3 as informações sobre a precipitação média, a lâmina de escoamento médio e o coeficiente de variação do escoamento de cada estação fluviométricos, com intuito de buscar alguma correlação entre a precipitação e o escoamento, com o elevado valores dos coeficientes de variação das lâminas de escoamentos no território cearense.

Tabela 3: Chuva e escoamento médios anuais e coeficiente de variação dos escoamento anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará

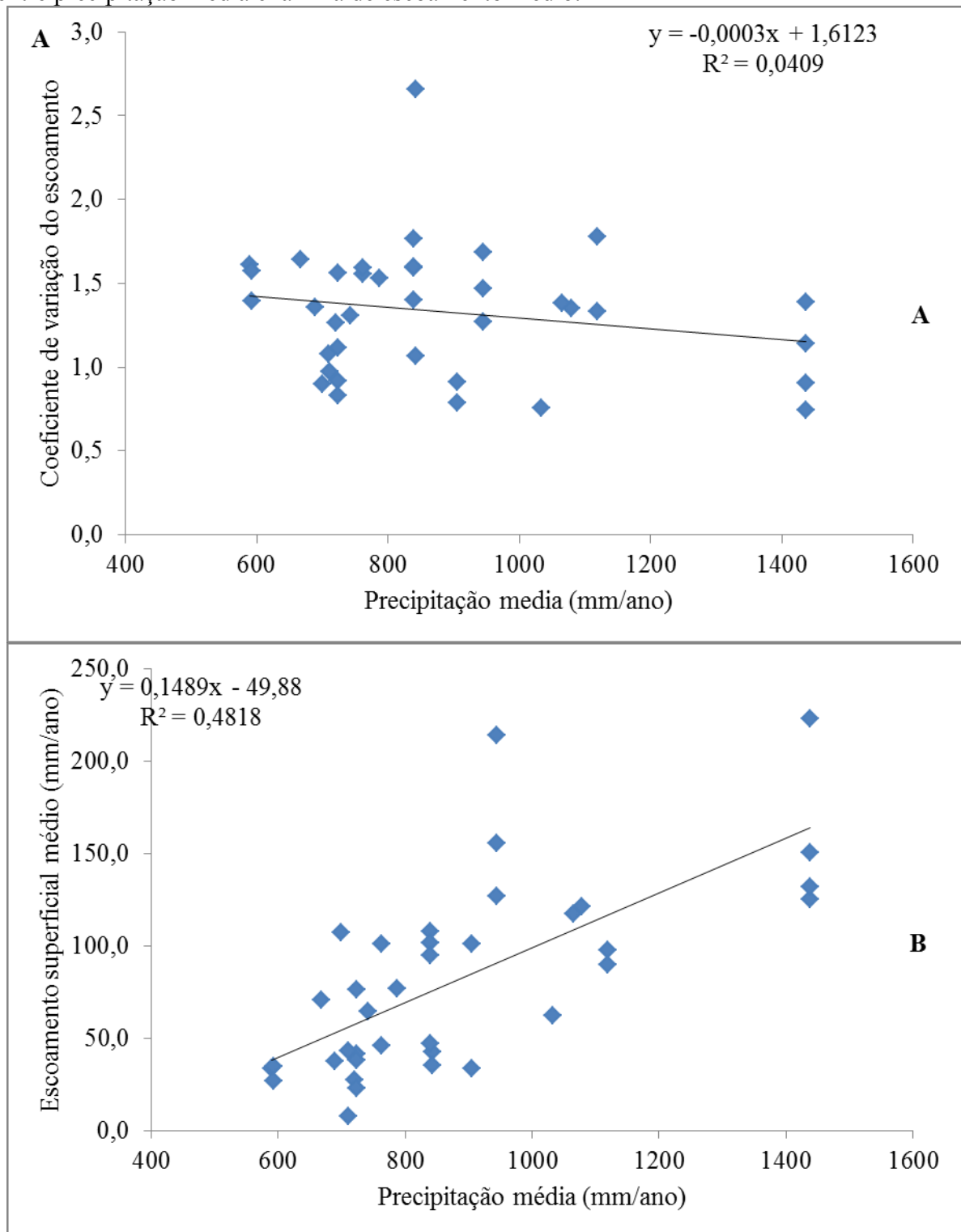
Seção	Bacia hidrográfica	Precipitação Média (mm)	Coeficiente de variação	Lâmina de escoamento médio da bacia (mm)
Chaval Retiro	Coreaú	1438	0,7	125,1
Sítio Conceição	Alto Jaguaribe	724	0,8	76,4
Lavra da Mangabeira	Salgado	1033	0,8	62,1
Sítio Lapinha	Salgado	905	0,8	101,2
Cariús	Alto Jaguaribe	724	0,9	41,5
Granja	Coreaú	1438	0,9	223,2
Sítio Santa Cruz	Salgado	905	0,9	33,5
Croatá	Serra da Ibiapaba	700	0,9	107,0
Jatí	Salgado	711	1,0	7,6
Sítio Poço Dantas	Alto Jaguaribe	724	1,1	38,4
Moraújo	Coreaú	1438	1,1	150,3
Jaguaribe	Médio Jaguaribe	843	1,1	35,2
Peixe Gordo	Médio Jaguaribe	710	1,1	42,9
Ararius	Acaraú	945	1,3	213,7
Amontada	Litoral	1079	1,3	121,1
Caio Prado	Metropolitana	742	1,3	64,6
Chorozinho	Metropolitana	1119	1,3	97,8

Podimirim	Salgado	721	1,3	27,5
Fazenda Cajazeiras	Acaraú	840	1,4	107,7
Iguatú	Alto Jaguaribe	593	1,4	34,8
Morada Nova II	Banabuiú	689	1,4	37,9
Pesqueiro	Coreaú	1438	1,4	131,7
Itapeim	Metropolitana	1065	1,4	117,3
Fazenda Bela Vista	Acaraú	945	1,5	155,4
Senador Pompeu	Banabuiú	788	1,5	77,1
Fazenda Paraná	Acaraú	840	1,6	47,0
Várzea Grosso	Acaraú	840	1,6	94,6
Arneiroz	Alto Jaguaribe	590	1,6	33,5
Malhada	Alto Jaguaribe	593	1,6	26,8
Sítio Patos	Alto Jaguaribe	724	1,6	23,1
São Luís do Curu	Curu	667	1,6	70,7
Sítio Novo	Metropolitana	762	1,6	45,8
Umarituba Nova	Metropolitana	762	1,6	101,0
Sobral	Acaraú	945	1,7	127,0
Trapiá	Acaraú	840	1,8	101,5
Cristais	Metropolitana	1119	1,8	89,6
Alto Santo	Médio Jaguaribe	843	2,7	42,4

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a); (CEARÁ, 2016a).

Os valores de precipitação usados para relacionar com o coeficiente de variação de cada seção fluviométrica, foram obtidos da média normal de precipitação dos açudes com bacias hidrográficas mais próximas de cada seção, disponibilizados no Portal Hidrológico no sítio eletrônico governo do estado do Ceará (CEARÁ, 2016a).

Gráfico 4: A: Correlação entre precipitação média e coeficiente de variação; B: Correlação entre precipitação média e lâmina de escoamento médio.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a); (CEARÁ, 2016a).

Barreto *et al* (2012) constataram que, em média, a precipitação no Ceará é de 875 mm e o desvio padrão de 322 mm, sendo o CV de 26,5% (0,265). Já os coeficientes de

variação do escoamento anual são bem mais elevados, pois como pode ser constatado dos dados apresentados neste estudo, o menor valor de CV é 0,7 ou 70%.

No Gráfico 4A tem-se a correlação entre a precipitação média e o coeficiente de variação correspondente a cada posto fluviométrico, que se mostrou com pouca relação direta, visto que o coeficiente de determinação de 0,04 corresponde a um valor muito baixo.

Já no Gráfico 4B foi feita a correlação entre a precipitação média e a lâmina de escoamento médio, respectivo a cada seção fluviométrico, já neste caso houve certa tendência entre o nível de precipitação e o escoamento, pois como mostra a linha de tendência há proporção entre os dois fenômenos, pois como se vê o R^2 igual a 0,48, há uma certa correlação entre a precipitação e escoamento médio no Ceará.

5.3 Variabilidade do escoamento superficial no Ceará em relação à área de drenagem

Correlacionando os valores de coeficiente de variação do escoamento anual com a área de drenagem de cada seção, observa-se na Tabela 4 e no Gráfico 5 que somente a dimensão da área de drenagem não influencia na variabilidade do escoamento no Ceará. Se vê que há uma densidade de pontos nas áreas de drenagem de pequenas dimensões, mas que os CVs variam nesta região de valores próximos de 0,7 a 2,7.

O coeficiente angular da reta de regressão e o coeficiente de determinação se apresentaram baixos no Gráfico 4, respectivamente -5×10^{-6} e 0,0166. Portanto, o tamanho da área de drenagem tem pouca relação com os elevados valores de coeficiente de variação do *runoff*, e também não justifica a grande variabilidade entre os CVs.

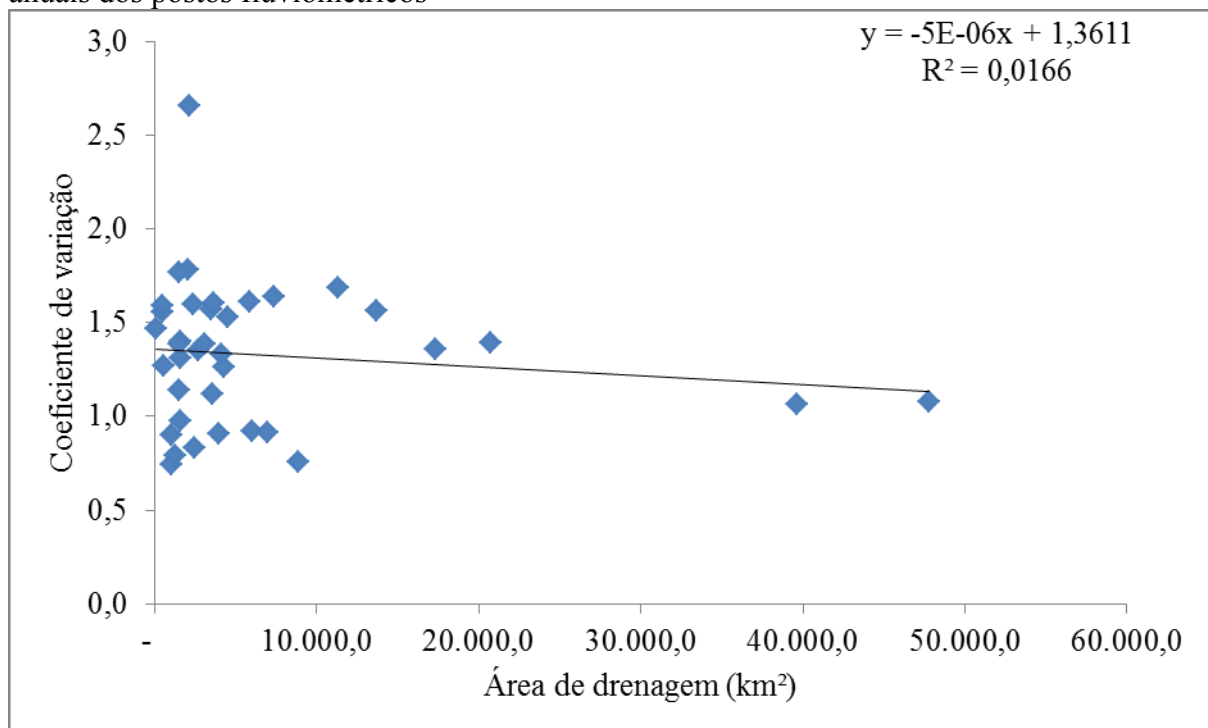
Tabela 4: Área de drenagem e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará

Seção	Bacia Hidrográfica	Curso d'água	Município	Área de Drenagem (km ²)	CV
Chaval Retiro	Coreaú	Rio Ubatuba	Chaval	1.000,0	0,7
Lavra da Mangabeira	Salgado	Rio Salgado	Lavras da Mangabeira	8.840,0	0,8
Sítio Conceição	Alto Jaguaribe	Rio Carius	Cariús	2.430,0	0,8
Sítio Lapinha	Salgado	Rio Salgado	Missão Velha	1.260,0	0,8
Cariús	Alto Jaguaribe	Rio Cariús	Cariús	6.000,0	0,9
Croatá	Serra da Ibiapaba	Rio Macabira	Croatá	1.030,0	0,9
Granja	Coreaú	Rio Coreaú	Granja	3.960,0	0,9
Sítio Santa Cruz	Salgado	Rio Salgado	Aurora	6.940,0	0,9

Jati	Salgado	Riacho Jardim	Jati	1.570,0	1,0
Jaguaribe	Médio Jaguaribe	Rio Jaguaribe	Jaguaribe	39.600,0	1,1
Moraújo	Coreaú	Rio Coreaú	Moraújo	1.500,0	1,1
Peixe Gordo	Médio Jaguaribe	Rio Jaguaribe	Tabuleiro do Norte	47.800,0	1,1
Sítio Poço Dantas	Alto Jaguaribe	Rio dos Bastiões	Cariús	3.530,0	1,1
Amontada	Litoral	Rio Aracatiaçu	Amontada	2.680,0	1,3
Ararius	Acaraú	Rio Jaibaras	Cariré	578,0	1,3
Caio Prado	Metropolitana	Rio Choro	Itapiuna	1.610,0	1,3
Chorozinho	Metropolitana	Rio Choro	Chorozinho	4.100,0	1,3
Podimirim	Salgado	Riacho dos Porcos	Milagres	4.230,0	1,3
Fazenda Cajazeiras	Acaraú	Rio Acaraú	Hidrolândia	1.560,0	1,4
Iquatú	Alto Jaguaribe	Rio Jaguaribe	Iquatú	20.700,0	1,4
Itapeim	Metropolitana	Rio Pirangi	Beberibe	3.100,0	1,4
Morada Nova II	Banabuiú	Rio Banabuiú	Morada Nova	17.300,0	1,4
Pesqueiro	Coreaú	Rio Pesqueiro	Camocim	1.460,0	1,4
Fazenda Bela Vista	Acaraú	Riacho Conceição	Forquilha	46,0	1,5
Senador Pompeu	Banabuiú	Rio Banabuiú	Senador Pompeu	4.530,0	1,5
Arneiroz	Alto Jaguaribe	Rio Jaguaribe	Arneiroz	5.870,0	1,6
Fazenda Paraná	Acaraú	Rio Groaíra	Sobral	2.370,0	1,6
Malhada	Alto Jaguaribe	Riacho Conceição	Saboeiro	3.460,0	1,6
São Luis do Curú	Curú	Rio Curu	São Luis do Curú	7.330,0	1,6
Sítio Patos	Alto Jaguaribe	Rio Jaguaribe	Jucás	13.700,0	1,6
Sítios Novos	Metropolitana	Rio São Gonçalo	São Gonçalo do Amarante	469,0	1,6
Umarituba Nova	Metropolitana	Rio São Gonçalo	São Gonçalo do Amarante	504,0	1,6
Várzea do Grosso	Acaraú	Rio Acaraú	Santa Quitéria	3.640,0	1,6
Sobral	Acaraú	Rio Acaraú	Sobral	11.300,0	1,7
Cristais	Metropolitana	Rio Pirangi	Cascavel	2.040,0	1,8
Trapiá	Acaraú	Riacho dos Macacos	Santa Quitéria	1.530,0	1,8
Alto Santo	Médio Jaguaribe	Rio Figueiredo	Alto Santo	2.150,0	2,7

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a); (CEARÁ, 2016a).

Gráfico 5: Correlação entre a área de drenagem e o coeficiente de variação dos escoamentos anuais dos postos fluviométricos



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a).

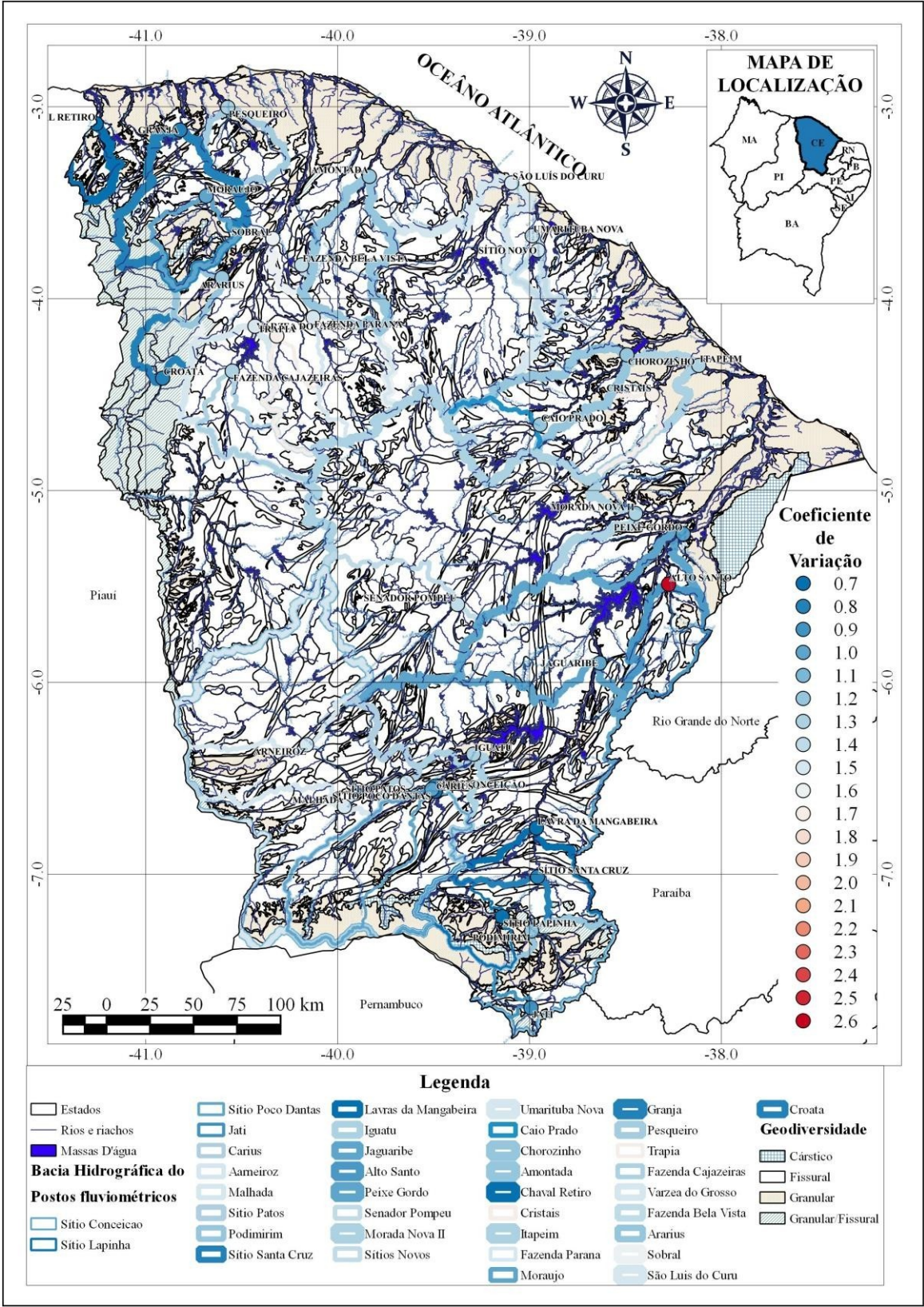
5.4 Variabilidade de escoamento superficial no Ceará em relação à geologia

Os valores de coeficiente de variação da lâmina de escoamento anual foram plotados num mapa geológico do Ceará Mapa 3, para que se pudesse avaliar, o quanto, o tipo do embasamento geológico, cristalino ou sedimentar, pode influenciar na variabilidade do escoamento.

Como a água subterrânea percola nos aquíferos entre os espaços dos grãos ou fraturas, então usou-se o tipo de porosidade para classificar de forma mais generalizada as características das formações geológicas que possam influenciar o escoamento (FEITOSA et al, 2008).

A porosidade de uma formação rochosa pode ser caracterizada em porosidade primária e secundária. A porosidade primária compreende as rochas sedimentares, onde a água preenche e flui entre os grãos. Já a porosidade secundária se desenvolve em rocha cristalina como ígneas, metamórficas ou sedimentares, por fraturamento ou falhamento durante sua formação. Um tipo especial de porosidade secundária se desenvolve em rochas solúveis, como o calcário e mármore, através da criação de vazios por dissolução, caracterizando a porosidade cárstica (KARMANN, 2008; FEITOSA et al, 2008).

Mapa 3: Formações geológicas e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos do Ceará.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b).

No Mapa 3 é possível identificar os tipos de porosidades predominantes nas bacias de drenagem dos postos fluviométricos. Na Tabela 5 estão às seções fluviométricas com as informações do município de situação, área de drenagem, coeficiente de variação do escoamento anual e tipo de porosidade. Para elaboração desta tabela foram eliminadas algumas seções relacionadas na Tabela 1 porque se encontravam em zona de transição do tipo de porosidade, conforme pode ser visualizado no Mapa 3.

A maior parte da rede de drenagem do Ceará está sobre o embasamento cristalino, onde a porosidade é do tipo fissural ou secundária, isto representa 73% do território cearense. Já os 27% restante estão sobre a rocha do tipo sedimentar (granular ou granular/fissural) ver Gráfico 6. Esse talvez seja um dos principais motivos dos elevados valores do coeficiente de variação da lâmina de escoamento, pois como as rochas cristalinas no Ceará estão muito próximas da superfície, a infiltração da precipitação é reduzida, sendo diminuto o volume de água para o fluxo de base, o que torna a maioria dos cursos d'água no Ceará intermitentes e efêmeros.

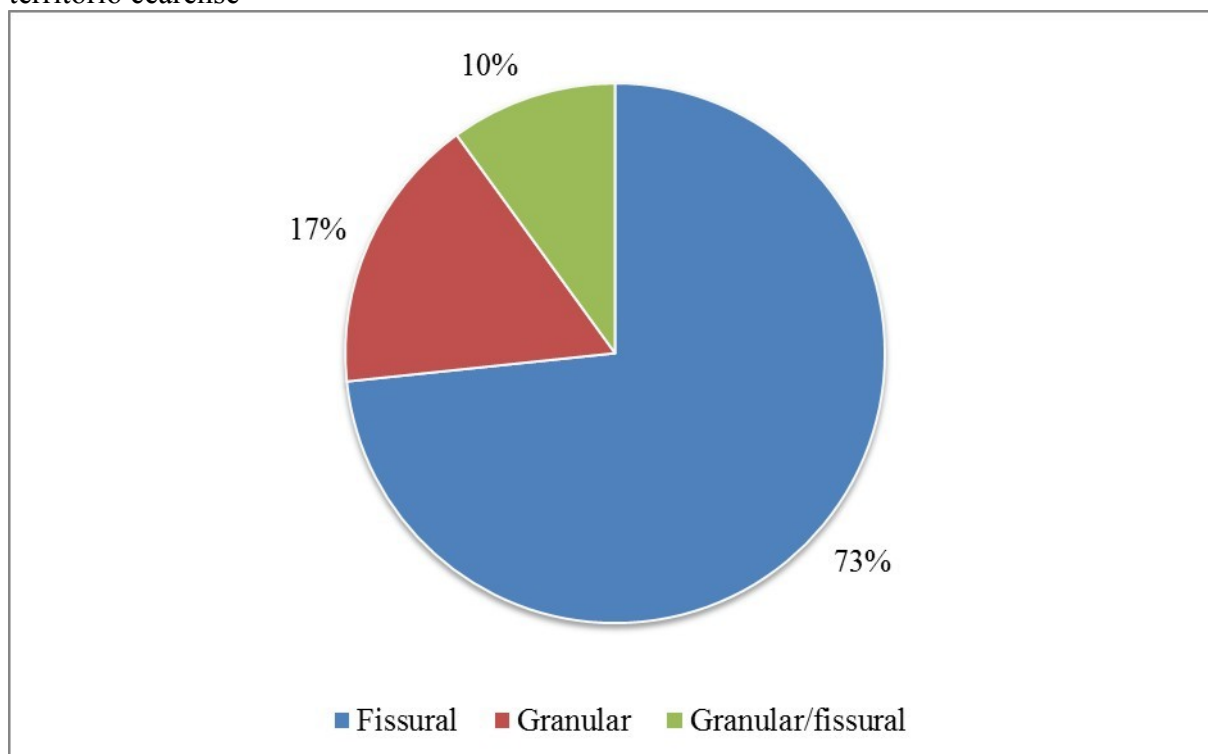
Tabela 5: Tipo de porosidade do embasamento geológico e coeficiente de variação dos escoamentos anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos dos rios do Ceará.

Seção	Município	Área de drenagem (km²)	Coeficiente de variação	Tipo de porosidade
Jaguaribe	Jaguaribe	39.600,0	1,1	Fissural
Peixe Gordo	Tabuleiro do Norte	47.800,0	1,1	Fissural
Caio Prado	Itapiuna	1.610,0	1,3	Fissural
Chorozinho	Chorozinho	4.100,0	1,3	Fissural
Amontada	Amontada	2.680,0	1,3	Fissural
Morada Nova II	Morada Nova	17.300,0	1,4	Fissural
Pesqueiro	Camocim	1.460,0	1,4	Fissural
Iguatú	Iguatú	20.700,0	1,4	Fissural
Fazenda Cajazeiras	Hidrolândia	1.560,0	1,4	Fissural
Fazenda Bela Vista	Forquilha	46,0	1,5	Fissural
Senador Pompeu	Senador Pompeu	4.530,0	1,5	Fissural
Sítio Novos	São Gonçalo do Amarante	469,0	1,6	Fissural
Sítio Patos	Jucás	13.700,0	1,6	Fissural
Malhada	Saboeiro	3.460,0	1,6	Fissural
Umarituba Nova	São Gonçalo do Amarante	504,0	1,6	Fissural

Fazenda Paraná	Sobral	2.370,0	1,6	Fissural
Várzea do Grosso	Santa Quitéria	3.640,0	1,6	Fissural
Arneiroz	Arneiroz	5.870,0	1,6	Fissural
São Luís do Curú	São Luís do Curú	7.330,0	1,6	Fissural
Sobral	Sobral	11.300,0	1,7	Fissural
Trapiá	Santa Quitéria	1.530,0	1,8	Fissural
Cristais	Cascavel	2.040,0	1,8	Fissural
Sítio Lapinha	Missão Velha	1.260,0	0,8	Granular
Moraújo	Moraújo	1.500,0	1,1	Granular
Podimirim	Milagres	4.230,0	1,3	Granular
Ararius	Cariré	578,0	1,3	Granular
Itapeim	Beberibe	3.100,0	1,4	Granular
Saudoso	Poranga	528,0	0,8	Granular/Fissural
Croatá	Croatá	1.030,0	0,9	Granular/Fissural
Jati	Jati	1.570,0	1,0	Granular/Fissural

Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b).

Gráfico 6: Proporção do tipo de geologia na qual as bacias de drenagem estão distribuídas no território cearense



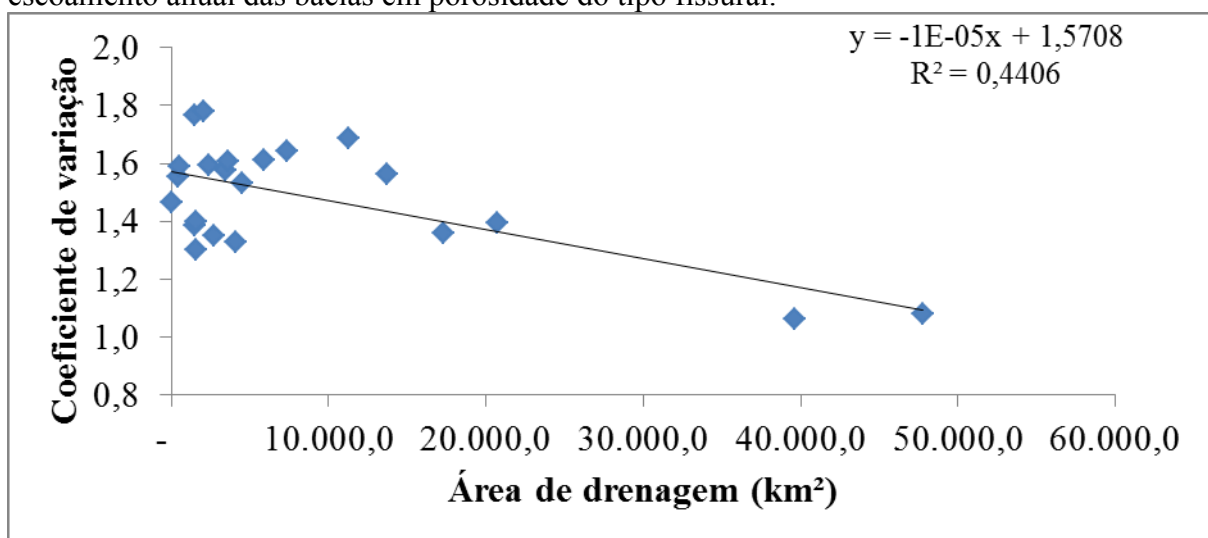
Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b).

Para se verificar o quanto a geologia influencia no escoamento superficial, foram separadas as seções com suas respectivas bacias hidrográficas de acordo o tipo de geologia, entre embasamento cristalino (porosidade secundária), das que são sedimentares (porosidade primária).

O que se percebe pelos Gráficos 7 e 8, que apresentam os coeficientes de variação do escoamento versus a área da drenagem somente para bacias com embasamento fissural (Gráfico 7) e granular (Gráfico 8), os coeficientes de determinação têm ganhado valores bem significativos, sendo os R^2 de 0,44 e 0,36, respectivamente.

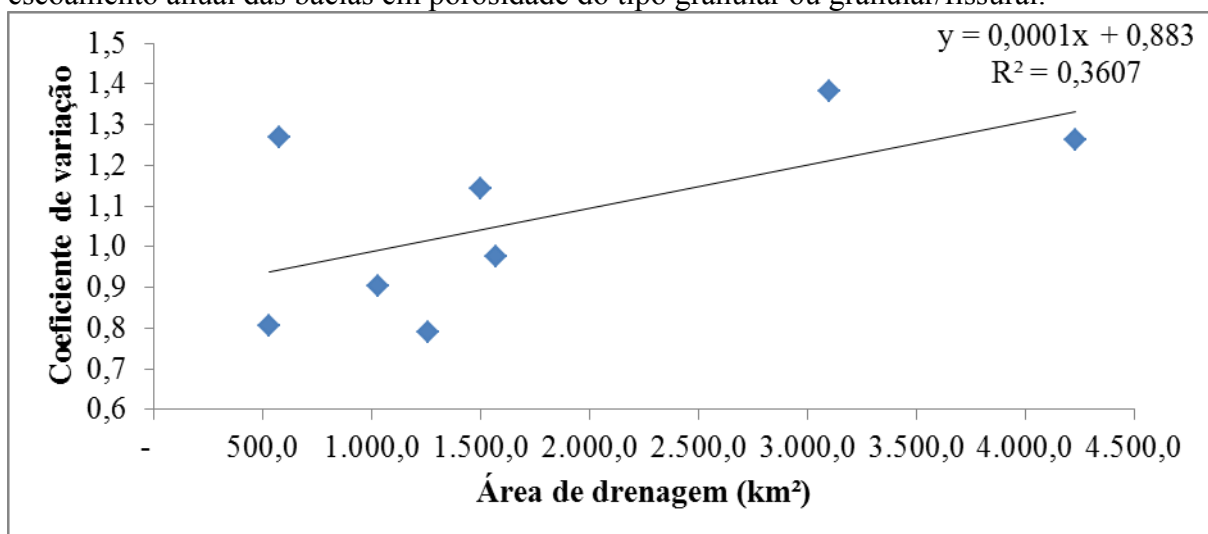
Com esta segregação do tipo de geologia, as correlações entre o coeficiente de variação dos escoamentos em relação à área de drenagem tendem a aumentar, o que mostra o quanto o tipo de geologia dominante pode influenciar no escoamento superficial.

Gráfico 7: Correlação das áreas de drenagem em relação aos coeficientes de variação do escoamento anual das bacias em porosidade do tipo fissural.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b).

Gráfico 8: Correlação das áreas de drenagem em relação aos coeficientes de variação do escoamento anual das bacias em porosidade do tipo granular ou granular/fissural.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b).

5.5 Correlações da lâmina anual de escoamento, precipitação e a área de drenagem das bacias hidrográficas em estudo

Com o intuito de buscar uma relação do escoamento superficial com a precipitação, uma análise entre estes dois processos hidrológicos foi feita por meio da divisão da lâmina média de escoamento pela precipitação média de cada bacia hidrográfica dos postos fluviométrico em estudo (ver na Tabela 6).

Posteriormente foram plotados os valores obtidos na divisão da lâmina de escoamento pela precipitação, como supracitado, pela área de drenagem da bacia hidrográfica de cada um dos postos fluviométricos, sendo traçado uma linha de tendência logarítmica, que neste caso representa melhor o comportamento dos pontos gerados nos Gráficos 9 e 10.

Foram confeccionados dois gráficos, sendo um para as bacias inseridas na geologia de porosidade primária e outro para as seções que estão na porosidade secundária (Gráficos 9 e 10, respectivamente).

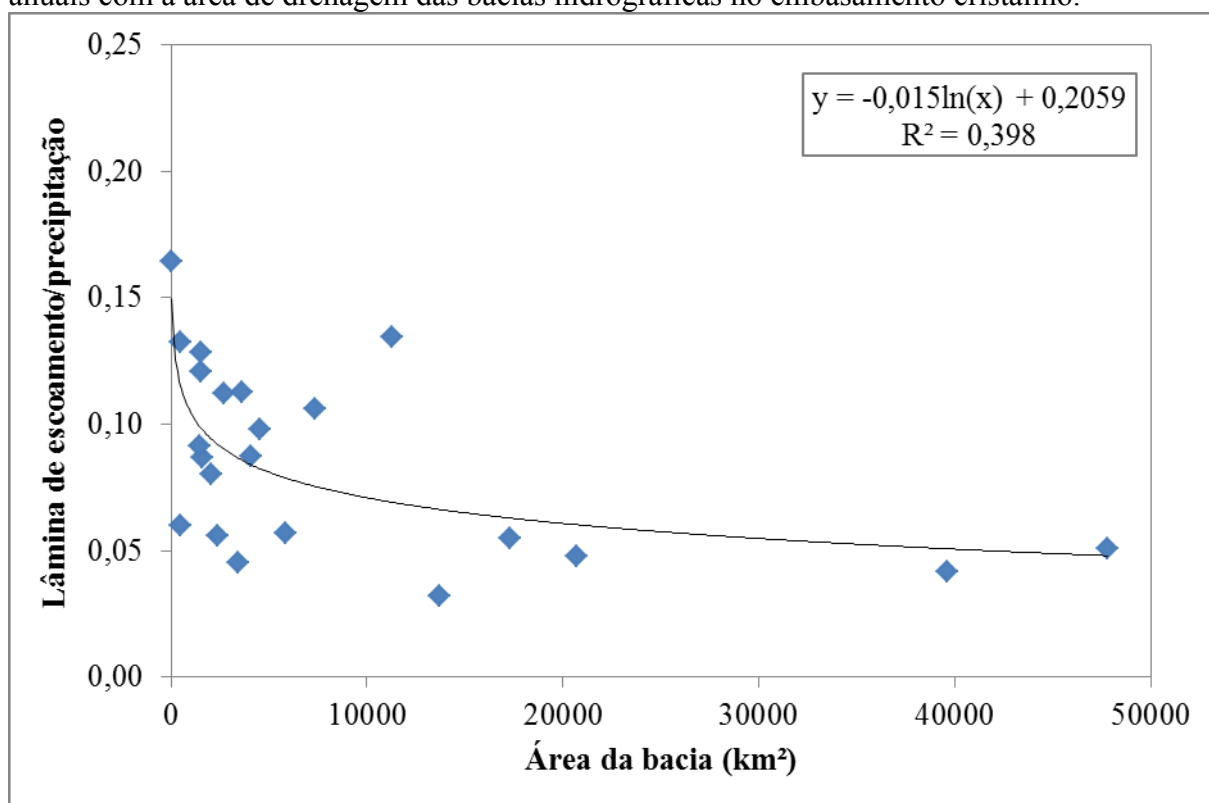
Tabela 6: Razão entre a lâmina de escoamento médio e a precipitação média anuais das bacias hidrográficas dos postos fluviométricos

Seção	Tipo de porosidade	Área de drenagem (km ²)	Lâmina de escoamento médio (mm)	Precipitação média (mm)	Lâmina de escoam. / Precipitação	CV
Sítio Patos	Fissural	13700	23,12	723,7	0,03	1,6
Jaguaribe	Fissural	39600	35,17	843,1	0,04	1,1
Iguatú	Fissural	20700	34,80	723,7	0,05	1,4
Malhada	Fissural	3460	26,81	593	0,05	1,6
Morada Nova II	Fissural	17300	37,87	689,3	0,05	1,4
Peixe Gordo	Fissural	47800	42,93	843,1	0,05	1,1
Arneiroz	Fissural	5870	33,51	590	0,06	1,6
Fazenda Paraná	Fissural	2370	47,03	840,1	0,06	1,6
Sítio Novos	Fissural	469	45,83	762	0,06	1,6
Cristais	Fissural	2040	89,64	1118,8	0,08	1,8
Caio Prado	Fissural	1610	64,57	742,3	0,09	1,3
Chorozinho	Fissural	4100	97,84	1118,8	0,09	1,3
Pesqueiro Senador	Fissural	1460	131,66	1437,5	0,09	1,4
Pompeu	Fissural	4530	77,15	787,6	0,10	1,5
Amontada	Fissural	2680	121,05	1079,4	0,11	1,3
São Luís do Curú	Fissural	7330	70,73	667,3	0,11	1,6
Várzea do Grosso	Fissural	3640	94,62	840,1	0,11	1,6
Trapiá	Fissural	1530	101,48	840,1	0,12	1,8
Fazenda	Fissural	1560	107,67	840,1	0,13	1,4

Cajazeiras						
Sobral	Fissural	11300	126,99	945	0,13	1,7
Umarituba						
Nova	Fissural	504	100,98	762	0,13	1,6
Fazenda Bela						
Vista	Fissural	46	155,38	945	0,16	1,5
Podimirim	Granular	4230	27,45	720,6	0,04	1,3
Moraújo	Granular	1500	150,26	1437,5	0,10	1,1
Itapeim	Granular	3100	117,35	1064,9	0,11	1,4
Sítio Lapinha	Granular	1260	101,25	905,1	0,11	0,8
Ararius	Granular	578	213,71	945	0,23	1,3
Jati	Granular/Fi ssural	1570	7,57	710,9	0,01	1
Croatá	Granular/Fi ssural	1030	106,97	699,6	0,15	0,9

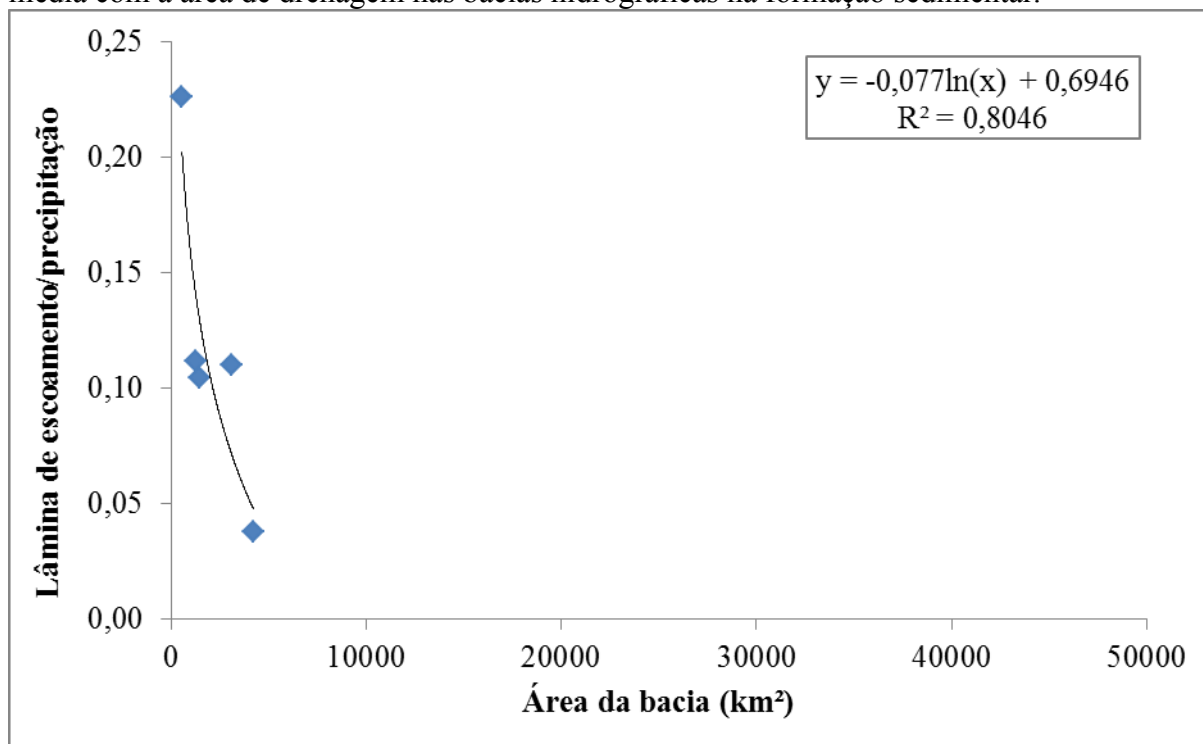
Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2016a).

Gráfico 9: Correlação da razão entre a lâmina de escoamento médio e a precipitação média anuais com a área de drenagem das bacias hidrográficas no embasamento cristalino.



Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2016).

Gráfico 10: Correlação da divisão da lâmina de escoamento médio dividido pela precipitação média com a área de drenagem nas bacias hidrográficas na formação sedimentar.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015a; BRASIL, 2015b; CEARÁ, 2016).

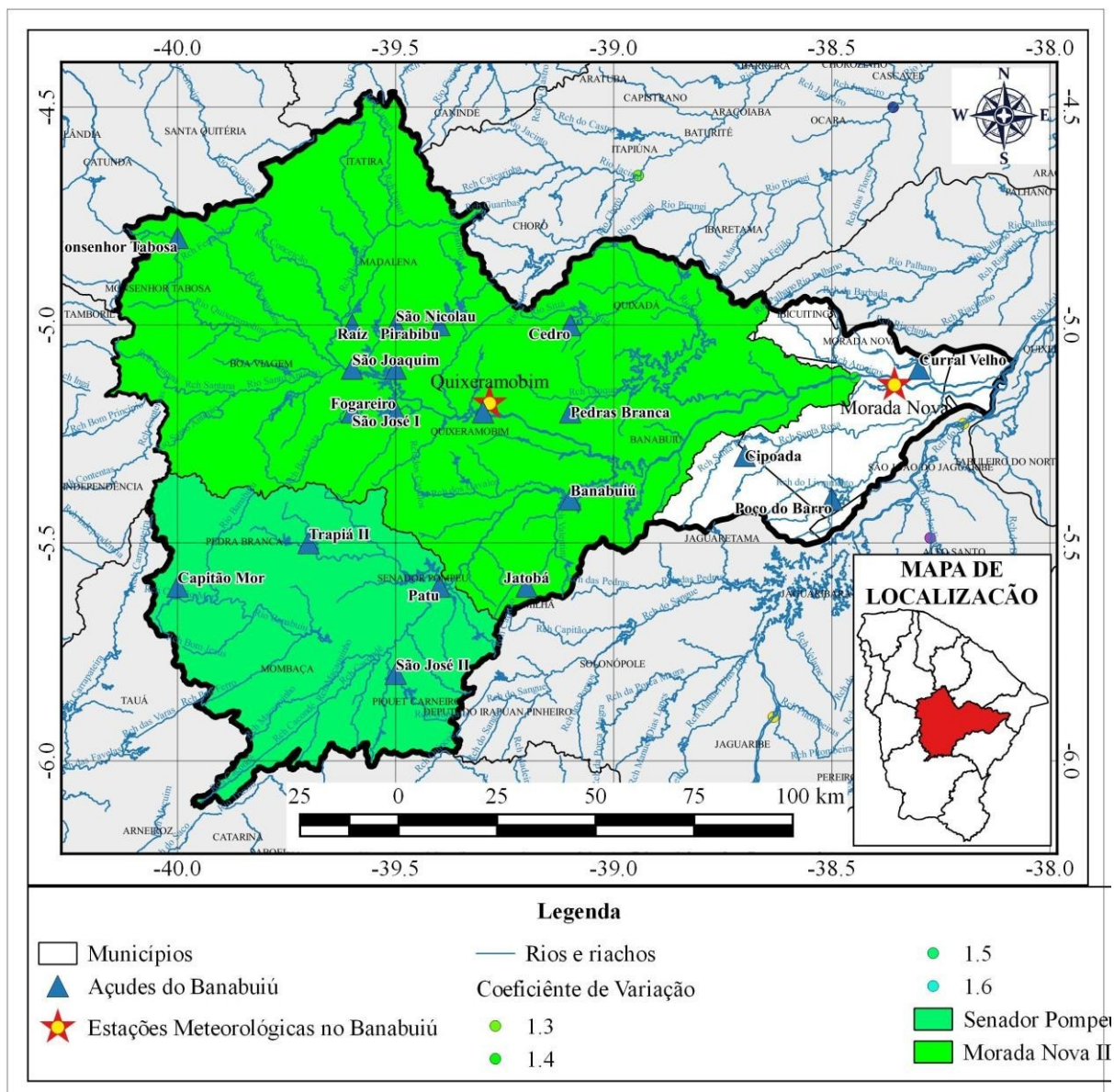
SOUZA et al., (2015) fazendo o balanço hídrico numa bacia hidrográfica na Fazenda Lagoinha, do Município de Serra Talhada, Pernambuco, constataram que o escoamento superficial seguiu diretamente as variações ocorridas na precipitação pluvial sendo seu valor total nos dois anos, de 158,39 mm, o que corresponde a 23,8% de toda a água que chega ao sistema via precipitação pluvial. Analisando os valores anuais do escoamento superficial em 2012 (34,86 mm) e 2013 (123,53 mm) os autores perceberam que, apesar do maior valor total em 2013, a proporção entre o escoamento e a precipitação, praticamente foi a mesma 25,1% (0,251) em 2012 e 23,4% (0,234) em 2013. Esse padrão se aproxima do encontrado nesta pesquisa, porém os valores encontrados na relação escoamento superficial/precipitação para o Ceará na sua maioria ainda são menores.

5.6 Validação da estimativa do volume afluente anual e respectivo coeficiente de variação a partir da relação entre fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos para o uso do diagrama triangular de regularização (DTR) na bacia do Banabuiú

No Mapa 4 referente à bacia hidrográfica do Banabuiú, estão representados os principais açudes monitorados pela COGERH, além de outros quatro pequenos açudes inseridos no Assentamento 25 de Maio, no município de Madalena (Marengo, Raiz, São

Joaquim e São Nicolau). São apresentados também às estações meteorológicas de Morada Nova e Quixeramobim, os postos fluviométricos e respectivas bacias de drenagem das seções de Morada Nova II e Senador Pompeu, entre outros elementos cartográficos.

Mapa 4: Bacia hidrográfica do Banabuiú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); EMBRAPA (2015); CEARÁ (2015a).

A bacia hidrográfica do Banabuiú foi usada para validar e aplicar os resultados obtidos nos tratamentos efetuados nos dados de escoamento das estações fluviométricas em estudo neste trabalho, no qual foi encontrado a lâmina de escoamento médio e respectivos coeficientes de variação, para serem usadas no diagrama triangular de regularização.

Para usar o diagrama triangular de regularização (DTR) proposto por Campos (2010), é necessário ter o coeficiente de variação do escoamento anual da bacia hidrográfica. A estimativa do coeficiente de variação do escoamento anual foi feita a partir da área de drenagem da seção fluviométrica, utilizando-se as equações obtidas nos Gráficos 7.

A escolha da equação do Gráfico 7 se deu por este gráfico representar a relação da área de drenagem e os coeficientes de variação do escoamento anual das seções localizadas no embasamento geológico do tipo fissural, que corresponde ao tipo de geologia predominante na bacia hidrográfica do Banabuiú, como observado no Mapa 3.

A título de exemplo, o CV do escoamento anual afluente ao açude Patu, cuja bacia hidrográfica possui uma área de 1.027,9 km², foi estimado em 1,6 a partir da equação do Gráfico 7. Esse valor pode ser usado para escolher qual o DTR que melhor se adequa, para estimar a vazão anual de regularização do açude Patu para com garantia de 90%. Da mesma maneira foram calculados, os valores de CV para todos os açudes em estudo, e estão apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Outro dado hidrológico que se usa para aplicar a teoria de Campos (2010) é o volume afluente médio ao açude. Para cada açude neste estudo, a razão entre a lâmina média do escoamento e a precipitação média anuais, o tipo de embasamento geológico e a área de drenagem das estações fluviométricas foram utilizados para se estimar o volume afluente anual.

O volume médio afluente anual dos açudes em estudo foi estimado pela equação do Gráfico 9, utilizando-se a área da bacia hidrográfica do açude e obtendo-se a razão lâmina de escoamento/precipitação média anual. Com esta relação, multiplicando-se pela precipitação média e pela área de contribuição do açude, estima-se o volume médio afluente anual.

Seguindo o exemplo do açude Patu, o volume afluente médio a este açude foi estimado em aproximadamente 82.500.000 m³/ano.

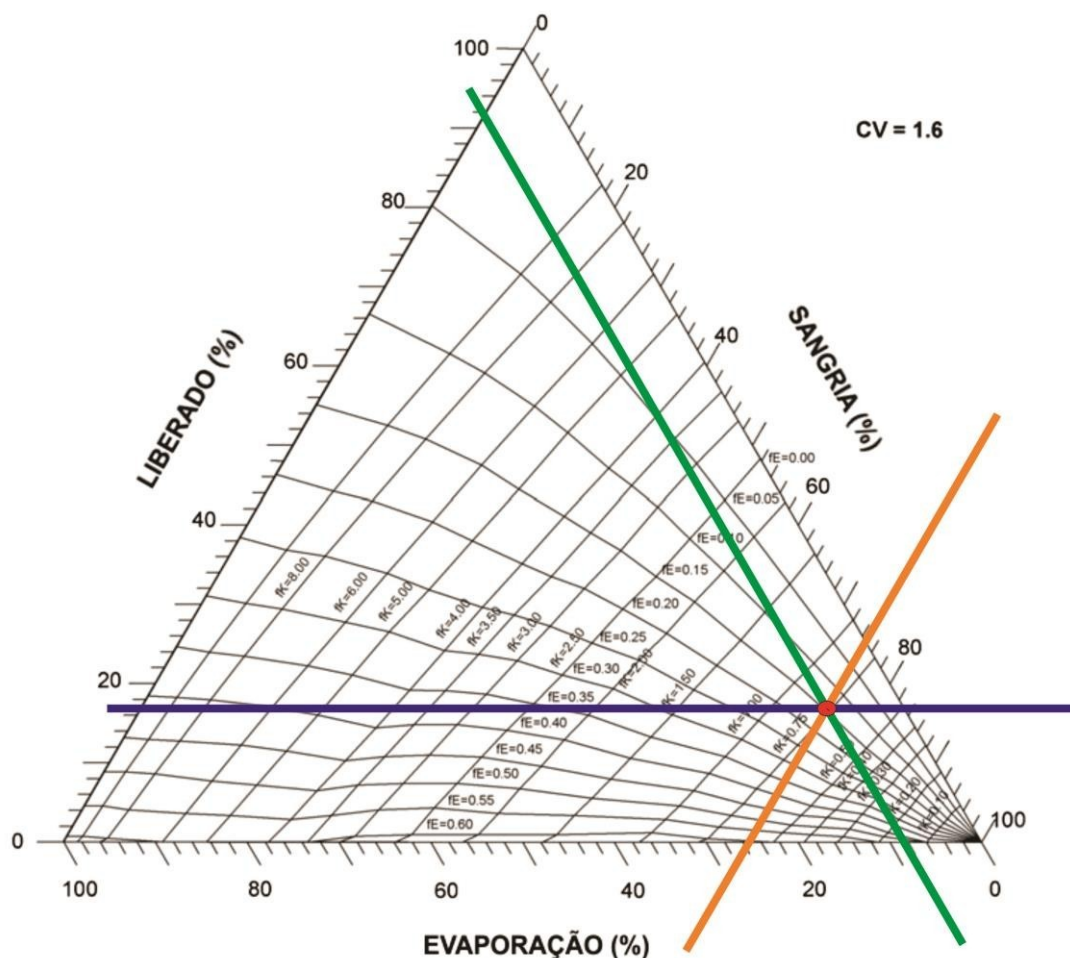
Como se vê nas Tabelas 7 e 8, o coeficiente de variação do volume afluente anual determinado para o açude Patu é de 1,6, e os valores de fK e fE são 0,77 e 0,14 respectivamente. Por meio destes dados busca-se o DTR para o mesmo CV e encontra-se o ponto do gráfico correspondente ao fK e fE, lembrando que no Anexo A estão todos diagrama desenvolvidos por Nilson Campos. Posteriormente, encontram-se as parcelas do volume médio afluente no açude, que no caso correspondem aproximadamente 8% para evaporação, 75% para sangria e 17% para regularização, como mostra a Figura 4.

Nas Tabelas 7 e 8 está apresentada a aplicação dessa metodologia de se determinar o CV do escoamento anual e o volume do afluente médio de açudes, com o intuito de aplicar o modelo DTR de Campos (2010). Com o objetivo de validar essa proposta, foram escolhidos os açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú para os quais já se tinham estimativas da vazão regularizada no projeto do Cinturão das Águas do Ceará (CAC).

O Cinturão das Águas do Ceará (CAC) é um projeto complexo e considerado a maior obra de infraestrutura hídrica do Estado, que pretende levar água para 93% do Estado por meio de canais, túneis e leito natural. O projeto prevê interligar as 12 regiões hidrográficas, a partir da transposição das águas do Rio São Francisco, no município de Jati, no extremo Sul do Ceará. A conclusão da obra está prevista para 2040 (BARBOSA, 2013).

Nos estudos do CAC foram calculados os volumes anuais de regularização para os principais açudes do Estado, inclusive da bacia do Banabuiú (Tabela 8). Esses dados foram usados para comparar com os volumes anuais utilizáveis estimados por esta pesquisa.

Figura 4: Exemplo do uso do diagrama triangular de regularização DTR para o açude Patu.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de CAMPOS (2010).

Tabela 7: Dados hidráulicos e hidrológicos dos açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú usados para validação das equações necessárias para aplicação do DTR

Açude	Capacidade (m³)	Altura (m)	Bacia hidrogr. Fichas Técnicas (km²)	Bacia hidráulica (km²)	Precipit. (mm/ano)	Escoam. (mm/ano)	Vazão Aflição anual (m³/s)
Banabuiú	1.601.000.000	55,0	14.249,5	144,9	702,1	43,8	624
Cedro	126.000.000	15,9	214,6	19,3	744,8	93,4	20
Cipoada	86.090.000	15,0	351,9	14,7	689,3	81,3	28
Fogareiro	118.868.346	23,7	5.105,7	18,0	606,6	47,2	241
Patu	63.906.297	27,9	1.027,9	7,5	787,6	80,2	82
Pedras Brancas	434.040.000	32,0	1.984,6	73,0	697,1	64,1	127
Pirabibu	74.000.000	12,0	513,3	16,2	588,9	66,1	33
Poço do Barro	52.000.000	14,0	379,7	9,6	604,1	70,6	26
Quixeramobim	54.000.000	15,0	7.005,6	11,3	680,6	49,7	348

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2016a).

Tabela 8: Aplicação do DTR por meio das variáveis hidrológicas estimadas por meio dos fatores hidrológicos, h
hidrográficas

Açude	Diagrama Triangular de Regularização (DTR)							
	Fator de capacidade	Fator de abertura	Fator de evaporação	Volume regularizado		Volume sangrado		Volume
	(fK)	(α)	(fE)	%	m³/ano	%	m³/ano	%
Banabuiú	2,56	9.623	0,10	43%	268.584.020	43%	268.584.020	14%
Cedro	6,29	31.346	0,48	12%	2.404.576	10%	2.003.814	78%
Cipoada	3,01	25.508	0,39	16%	4.577.672	34%	9.727.554	50%
Fogareiro	0,49	8.929	0,14	12%	28.925.211	82%	197.655.606	6%
Patu	0,77	2.958	0,14	17%	14.020.246	75%	61.854.029	8%
Pedras Brancas	3,41	13.246	0,19	32%	40.730.267	37%	47.094.371	31%
Pirabibu	2,18	42.824	0,44	12%	4.073.089	42%	14.255.812	46%
Poço do Barro	1,94	18.950	0,37	16%	4.286.934	48%	12.860.801	36%
Quixeramobim	0,15	16.000	0,15	5%	17.423.034	92%	320.583.831	3%

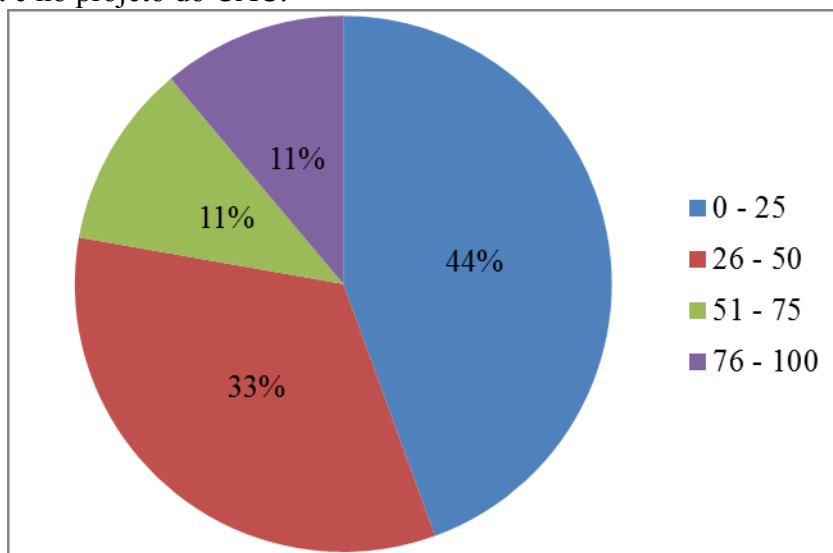
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2016a); CAMPOS (2010)

As lâminas de evaporação foram obtidas das estações meteorológicas de Morada Nova e Quixeramobim, coletado do Portal Hidrológico do Ceará. Os valores de evaporação usados para cada açude foram segregados pela proximidade com a estação meteorológica, por exemplo, o açude Cedro obteve os dados de evaporação da estação de Quixeramobim, já o açude de Poço do Barro os índices de evaporação foram os da estação de Morada Nova.

Como já citado em seções anteriores, o método de Campos usa a lâmina de evaporação, correspondente ao período médio de estiagem em um ano, no caso deste trabalho optou-se em usar a média da lâmina de evaporação do período entre julho a dezembro.

Analisando a Tabela 8, em especial as colunas referentes ao volume regularizado determinado pelo DTR nesta pesquisa e o volume de regularizado estimado no projeto do Cinturão das Águas do Ceará (CAC), observa-se que a diferença entre os métodos está abaixo de 25% na maioria dos açudes. Como se vê no Gráfico 11, 44% das vazões regularizadas por açudes possuem uma diferença de no máximo 25%, e ainda 77% das vazões em comparação têm a diferença de até 50%, mostrando certo nível de segurança em usar as correlações entre área de drenagem, tipo de geologia, precipitação e escoamento aqui propostas para se estimar a vazão regularizada por açudes com 90% de garantia.

Gráfico 11: Distribuição percentual das diferenças entre as vazões de regularização estimadas nesta pesquisa e no projeto do CAC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se então a possibilidade de estimar tanto o volume afluente médio anual como o coeficiente de variação, a partir do tipo de geologia, área de drenagem, e precipitação média de bacias hidrográficas, para aplicar no diagrama triangular de regularização, desenvolvido por Nilson Campos, em áreas que não possuam dados hidrológicos suficientes.

5.7 Aplicação da estimativa do volume afluente anual e respectivo coeficiente de variação a partir da relação entre fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos por meio do diagrama triangular de regularização (DTR) na bacia Banabuiú

Considerando a viabilidade da estimativa das variáveis hidrológicas, por meio das relações e comparações entre fatores hidrológicos, hidráulicos e geológicos de bacias hidrográficas para uso do DTR, ousou-se aplicar esta linha de raciocínio para outros açudes existentes na bacia hidrográfica do Banabuiú, como é possível ver nas Tabelas 9 e 10.

A ferramenta desenvolvida por Nilson Campos, o DTR é uma tecnologia muito simples de gestão do recurso hídricos estocada nos açudes, por permiti estimar o volume de água que poderá usada durante a estiagem. Muitas vezes, por falta de informações hidrológicas, há dificuldade de aplicá-lo, mas a metodologia aqui proposta para estimar as variáveis hidrológicas para aplicação do DTR, tende a suprir esta lacuna, em áreas carentes destes dados.

Então uma das propostas defendidas neste trabalho, quando for necessário saber do volume de água que entra em açude construído ou a construir, o quanto se pode perde na evaporação e sangria, e quanto de volume restará para utilização e regularização de vazão.

Pode-se usar os Diagramas Triangular de Regularização de Campos (2005), como já detalhado, entre as várias variáveis usa o coeficiente de variação do afluente anual em um reservatório. Entre as variáveis necessárias para utilizar o modelo de DTR, estão o volume afluente médio anual do açude e sua variabilidade, e muitas vezes não se tem estas informações.

Portanto, a partir das correlações estabelecidas nesta pesquisa, é possível fazer uma regionalização do volume afluente e do coeficiente de variação, usando cenários semelhantes, no caso deste estudo, usando equação que relacione os fatores hidrológicos e as algumas características no meio. No caso deste trabalho se mostra uma metodologia com uma boa viabilidade.

Tabela 9: Dados hidráulicos e hidrológicos dos açudes da bacia hidrográfica do Banabuiú para aplicação do diag

Açude	Município	Capacidade (m³)	Altura (m)	Bacia hidrogr. Fichas Técnicas (km²)	Bacia hidráulica (km²)	Precipitação (mm/ano)	Escoamento (mm/ano)
Capitão Mor	Pedra Branca	6.000.000	19,3	112,6	1,0	605,2	81,7
Curral Velho	Morada Nova	12.165.745	8,6	110,3	4,6	604,1	81,8
Jatobá	Milhã	1.070.000	9,0	19,9	0,3	787,6	126,8
Monsenhor Tabosa	Monsenhor Tabosa	12.100.000	21,0	80,2	1,8	674,6	94,5
São José I	Boa Viagem	7.670.000	10,0	184,6	2,2	669,8	85,5
São José II	Piquet Carneiro	28.896.891	12,2	225,9	4,5	811,5	101,1
Serafim Dias	Mombaça	40.936.943	19,8	1.617,0	6,0	605,2	57,5
Trapiá II	Pedra Branca	18.190.000	24,0	127,9	2,2	756,0	100,6
Umari	Madalena	35.040.000	14,5	975,0	7,4	588,9	60,5
Vieirão	Boa Viagem	20.713.429	18,9	394,7	4,6	703,1	81,7
Raiz	Madalena	1.500.000	9,0	5,0	0,1	588,9	107,0
São Nicolau	Madalena	890.000	6,3	36,1	0,5	588,9	89,6
São Joaquim	Madalena	5.150.000	7,5	30,8	1,4	588,9	91,0
Marengo	Madalena	16.800.000	16,1	120,0	3,2	588,9	79,0

Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2016a).

Tabela 10: Aplicação do diagrama triangular de regularização por dos fatores hidráulicos, hidrológicos e geológicos

Açude	Município	Fator de capacidade	Fator de abertura	Fator de evaporação	Volume regularizado		Volu
		(fK)	(α)	(fE)	%	m³/ano	
Capitão Mor	Pedra Branca	0,65	835	0,18	14%	1.288.355	78%
Curral Velho	Morada Nova	1,35	19.127	0,53	4%	360.752	58%
Jatobá	Milhã	0,42	1.468	0,34	5%	126.200	79%
Monsenhor Tabosa	Monsenhor Tabosa	1,60	1.307	0,23	22%	1.667.943	58%
São José I	Boa Viagem	0,49	7.670	0,32	6%	946.828	80%
São José II	Piquet Carneiro	1,27	15.914	0,36	12%	2.740.938	62%
Serafim Dias	Mombaça	0,44	5.314	0,16	11%	10.234.540	83%
Trapiá II	Pedra Branca	1,41	1.316	0,19	22%	2.832.012	62%
Umari	Madalena	0,59	11.613	0,24	11%	6.484.174	77%
Vieirão	Boa Viagem	0,64	3.058	0,19	13%	4.193.134	78%
Raiz	Madalena	2,79	2.037	0,64*			
São Nicolau	Madalena	0,28	3.628	0,43	3%	97.010	86%
São Joaquim	Madalena	1,84	12.355	0,67)	*		
Marengo	Madalena	1,77	4.026	0,31	18%	1.705.627	54%

Fonte: Elaborado pelo auto a partir de BRASIL (2015a); BRASIL (2015b); CEARÁ (2015c); CAMPOS (2010).

6 CONCLUSÕES

Ferramentas ou metodologias para a quantificação das vazões regularizadas por açudes, como o Diagrama Triangular de Regularização (DTR), são muito importantes para colaborar com uma boa gestão das águas represadas, visto que as águas armazenadas nos açudes são reflexos dos fenômenos hidrológicos e de todas as características da bacia hidrográfica de contribuição.

Neste estudo, o zoneamento dos escoamentos no Ceará permitiu caracterizar as lâminas médias anuais de escoamento e seu coeficiente de variação, e o relacionamento deste zoneamento com algumas características da bacia hidrográfica, como o embasamento geológico, área de drenagem e a precipitação média. Assim, foi possível compreender melhor e caracterizar a alta variabilidade do escoamento superficial no território cearense.

A partir da relação encontrada entre o escoamento e as características da bacia de drenagem, foi possível aplicar do Diagrama Triangular de Regularização e quantificar a vazão de regularização para açudes da bacia do Banabuiú, tendo-se obtido diferenças em relação a outros estudos menores que 50% em 77% dos açudes analisados.

Além disso, utilizando as relações propostas neste estudo, foi possível estimar as vazões regularizadas de açudes não monitorados na bacia do Banabuiú, indicando o potencial do zoneamento dos escoamentos proposto neste estudo para a caracterização do potencial de regularização de vazão por açudes.

Ainda há muitas variáveis, além das estudadas neste trabalho, que podem apresentar correlação com o escoamento superficial no Ceará, pois com toda a complexidade da natureza, é possível relacionar o escoamento superficial, por exemplo, com a pedologia, a vegetação, declividade, ocupação do solo, outros fenômenos meteorológicos. Portanto, recomenda-se a continuidade e/ou melhoramento das questões respondidas e levantadas neste trabalho para se contribuir com a gestão dos recursos hídricos no Estado do Ceará.

7 REFERÊNCIAS

- ADAM, K. N. e COLLISCHONN, W. **Análises dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.
- Alencar, D. B. S.; Silva, C. L.; Oliveira, C. A. S. **Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.26, p.103-112, 2006.
- ANDRADE, M. A; MELLO, C. R; BESKOW, S. **Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. V.17, N.1, P.69–76, 2013. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 15 set. 2014.
- ARAÚJO, J. C; PIEDRA, J. I. G. **Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed**. HYDROLOGICAL PROCESSES, v. 23, p. 1169–1178, 2009.
- BARBOSA H. Licitação da 1ª etapa do Cinturão das Águas será próximo dia 28. **Diário do Nordeste**, Fortaleza, 21 fev. 2013. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/licitacao-da-1-etapa-do-cinturao-das-aguas-sera-proximo-dia-28-1>. Acessado em: 09 abr. 2016.
- BARRETO, H. B. F; SANTOS W. O; CRUZ, C. M. **Análise da distribuição da precipitação pluviométrica média anual no estado do Ceará**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 2, p. 122-128, abr-jun, 2012.
- BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. (1993). **Precipitação**. In: TUCCI, C. E. M. Org. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**, UFRGS, ABRH, Porto Alegre-RS, Cap 5, p177-200.
- BRASIL. Agência Nacional da Água (ANA). **HidroWeb: Dados hidrológicos: Séries históricas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em: 01 abr. 2015a.
- BRASIL. Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Geobank. **Mapas geológicos estaduais: Ceará**. Disponível em: <http://geobank.cprm.gov.br/>. Acessado em: 13 out. 2015b.
- CAMPOS, J. N. B. e STUDART, T. M. C. **Hidrologia de reservatório: a construção de uma teoria**. Fortaleza. ASTEF/Expressão Gráfica e Editora Ltda., 2006.
- CAMPOS, J. N. B. **Modeling the Yield–Evaporation–Spill in the Reservoir Storage Process: The Regulation Triangle Diagram. Water Resources Management**. Volume 24, número 13, páginas 3487-3511, 2010. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11269-010-9616-x#page-1>. Acessado em 13 dez 2015.
- CAMPOS, J. N. B.; SOUZA F. F. A.; ARAÚJO, J. C. **Errors and variability of reservoir yield estimation as a function of the coefficient of variation of anual inflows**. Managing Water: Coping with scarcity and abundance. Proceeding of 27th IARH congress, São Francisco, USA, 1997.
- CAMPOS, J. N. B; LIMA, H. V. C. **Dimensionamento de reservatórios no Semi-Árido: o paradigma 2Va**. In: CAMPOS, J. N. B. e STUDART, T. M. C. **Hidrologia de reservatório: a construção de uma teoria**. Fortaleza. ASTEF/Expressão Gráfica e Editora Ltda, 2006.
- CAMPOS, Nilson. **Dimensionamento de reservatório: o método do diagrama triangular de regularização**. Expressão Gráfica e Editora, Fortaleza, 2005. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia. Fortaleza, 2011.

CAMURÇA, P. J. **Cálculo da precipitação média de forma automática pelo método de Thiessen e avaliação da precipitação na bacia do Jaguaribe**. 2011. Monografia (Graduação em Licenciatura em Física) – Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2006.

CEARÁ. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br>. Acessado em: 07 mar. 2016a.

CEARÁ, Secretaria do Recursos Hídricos (SRH), **Projeto do Cinturão das Água do Ceará (CAC)**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/franluzparacurubr/projeto-cinturo-das-guas-do-ceara>. Acessado em: 05 abr. 2016b.

CEARÁ. Instituto de pesquisa e estratégia econômica do Ceará (IPECE). **Ceará em mapas**. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br> Acesso em: 28 jun. 2016.

CEARÁ. Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). **Serviços, base cartográficas, mapas**. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/base-cartografica/category/59-mapas>. Acessado em: 11 mai. 2015a.

CEARÁ. Secretária de Recursos Hídricos. **Atlas eletrônico**. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>. Acessado em: 09 mai. 2015b.

CEARÁ. **Calendário das chuvas no estado do Ceará**. Disponível em: www.hidro.ce.gov.br. Acessado em: 14 jun 2015c.

CHEVALLIER, P. **Aquisição e processamento de dados**. In: TUCCI, C. E. M (organizador). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora UFRGS/ABRH, 3ª ed. Porto Alegre, Cap. 13. p. 485-525, 2004.

COSTA, T. P. e PERIN, A. C. A. M. **A gestão dos recursos hídricos no brasil**. Revista do Curso de Direito, v. 1, n. 1, p. 344 – 380, 2004. Disponível em: <https://www.metodista.br/revistas/revistas-ms/index.php/RFD/article/viewFile/499/497>. Acessado em: 04 de setembro de 2014.

DURÁN, D. **Sostenible y Ordenación Territorial: Aplicación al Problema Hídrico Nacional. Buenos Aires, 2002**. Disponível em: <www.ecoportal.net> . Acesso em janeiro de 2008.

EMBRAPA. **Banco de dados climáticos do Brasil**. Monitoramento de Satélite. Disponível em: <http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/index.php?UF=ce>. Acessado em: 17 dez 2015.

FEITOSA, F. A. C; FILHO, J. M; FEITOSA, E. C; DEMETRIO, J. G. A. (organizadores). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. CPRM: LABHID, 3ª ed. Rio de Janeiro, 2008.

FONTES, A. S; OLIVEIRA, J. I. R; MEDEIROS Y. D. P. **A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do brasil e a gestão das águas**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XV, 2013, Curitiba – Paraná. Disponível em: <http://www.grh.ufba.br/Publicacoes/Artigos/Artigos%202003/a%20evapora%C3%A7%C3%A3o%20em%20a%C3%A7udes%20IV%20Simp%C3%B3sio%20Brasileiro%20de%20Rec.%20H%C3%ADd.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2016.

FROTA JÚNIOR, J. I. ET al. **Influência antrópica na adição de sais no trecho perenizado da bacia do Ciro**. Revista Ciência Agronômica, v.38, p.142-148, 2007.

IBM Corporation. **SPSS**. Versão 20, 2011

- JIANG, T; CHEN, Y. D; XU, C. Y; CHEN, X; CHEN, X; XU C. Y; SINGH, V. P. **Review on regional water resources assessment models under stationary and changing climate.** *Water Resources Management*, v. 18, n. 6, p. 591 – 612, 2014.
- JOURAVLEV, A. **Los municipios y la gestión de los recursos hídricos. Serie Recursos Naturales e Infraestructura.** CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, n. 66, 2003.
- KARMANN, I. **Ciclo da água: Água subterrânea e sua ação geológica.** In: TEIXEIRA, W; TOLEDO, M, C, M; FAIRCHILD, T, R; TAIOLI, F. (organizadores). **Decifrando a terra.** Campanha Editora Nacional. São Paulo, 2008.
- KOVÁCS G. **Proposal to construct a coordinating matrix for comparative hydrology.** *Hydrological Sciences - Hydrological Sciences Journal*, V. 29, 4, p. 435 – 443, 1984.
- LANNA, A. E. **Elementos de estatística e probabilidades.** In: TUCCI, C. E. M (organizador). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Editora UFRGS/ABRH, 3ª ed. Porto Alegre, Cap. 4. p.79-176, 2004.
- MARINATO, C. F. **Integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão municipal urbana: estudo da inter-relação entre instrumentos de gestão.** 2008. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo.
- MATOS, A. B; PEDROLLO, O. C; CASTRO, N. M. R. **Efeitos de controle de montante de sub-bacias embutidas na previsão hidrológica de curto prazo com redes neurais: aplicação à bacia de Ponte Mística.** *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 19, n. 1, p. 87 – 89, 2014.
- MEDEIROS, P. H. A. **Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuídas e validação em diferentes escalas.** Tese (Doutorado em engenharia civil – recursos hídricos) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- MOSTERT, E. **Integrated water resources management in the Netherlands: how concepts function.** *Journal of Contemporary water research & Education*, n. 135, p. 19-27, dez. 2006.
- PARAJKA J; KOHNOVÁ S; MERZ R; SZOLGAY J; HLAVČOVÁ K; BLÖSCHL **Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria.** *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, v. 54(3), p. 456 – 473, 2008.
- PEREIRA, S; BATEIRA, C; HERMENEGILDO, C; SEIXAS, A. **Actes de Les Jornades Sobre Terrasses I Prevenció de Riscs Naturals.** Mallorca, v. 14, p. 149 – 158, 15 i 16 de setembro de 2006.
- PETENATE, A. J. **Aprenda como analisar um Box Plot.** Disponível em: <http://www.escolaedti.com.br/o-que-e-um-box-plot/>. Acessado em: 04 nov 2015.
- PETERNELLI, L. A. **Regressão linear e correlação.** Disponível em: <http://www.dpi.ufv.br/~peterneli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>. Acessado em: 21 mai 2015.
- RAHAMAN, M. M; VARIS, O. **Integrated water resources management: evolution, prospects and future challenges.** *Sustainability: Science, Practice & Policy*, Spring, v.1, n.1, 2005.

REBOUÇAS, A. C. **Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez.** Bahia Análises & Dados, v. 13, n. ESPECIAL, p. 341-345, 2003. Disponível em: http://labs.icb.ufmg.br/benthos/index_arquivos/pdfs_pagina/Minicurso/pag_341.pdf. Acessado em 21 set 2015.

Regressão linear e coeficiente de variação. Disponível em: http://www.professores.uff.br/luciane/images/stories/Arquivos/doc_turismo/regressao22.pdf. Acessado em: 23 nov. 2015.

REITZ, K; DIAS, S. F. **Análise comparativa da aplicação de métodos de calibração de curvas-chaves de estações instáveis nas análises de consistência de dados fluviométricos da estação de Barreirinha, no rio Auti-Paraná, na bacia hidrográfica do rio Amazonas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n.1, p. 155 – 163, 2014.

RODRIGUES, J. O; ANDRADE, E. M; MENDONÇA, L. A. R; ARAÚJO, J. C; PALÁCIO, H. A. Q; e ARAÚJO, E. M. **Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. UAEA/UFCG Campina Grande, PB. V.17, n.3, p.312–318, 2013. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 15 set. 2014.

SALGUEIRO, J. H. P. B. **Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: estudo de caso na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco.** Dissertação (mestrado) –Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, Recife, 2005.

SANTOS, C. A. C; BRITO, J. I. B; RAO, T. V. R; MENEZES, H. E. A. **Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, P. V. C. J. e CUNHA, A. **Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, v. 18, n. 3, p. 81 – 95, 2013.

Shimakura, S. E. **Estatística II.** Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node76.html>. Acessado em: 14 abr. 2015.

SILVA, C. H. R. T. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável no Brasil.** Disponível em: www.senado.gov.br/senado/conleg/boletim_do_legislativo.html. Acessado em: 03 de setembro de 2014.

SOUZA, R. M. S; SOUZA, E. S; ANTONINO, A. C. D; LIMA J. R. S. L. **Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.5, p.449–455, 2015. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em: 10 jun. 2016.

TAPIA, R. P. **Análisis de la gestión del agua en zonas áridas y semiáridas: una propuesta de actuación.** Revistacidobd'afersinternacionales. V. 45 – 46, p. 11 – 33, 1999.

THOMPSON S. E; HARMAN C. J.; A. KONINGS G; SIVAPALAN M.; Neal A; and Troch P. A. **Comparative hydrology across AmeriFlux sites: The variable roles of climate, vegetation, and groundwater.** WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 47, p 1 -17, 2011.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Viçosa: UFV, 2005. 85p. Dissertação Mestrado**

TRIOLA, M.F. **Introdução à estatística.** Tradução: FLORES, V. R. L. F. ed. LTC. Rio de Janeiro, 2005.

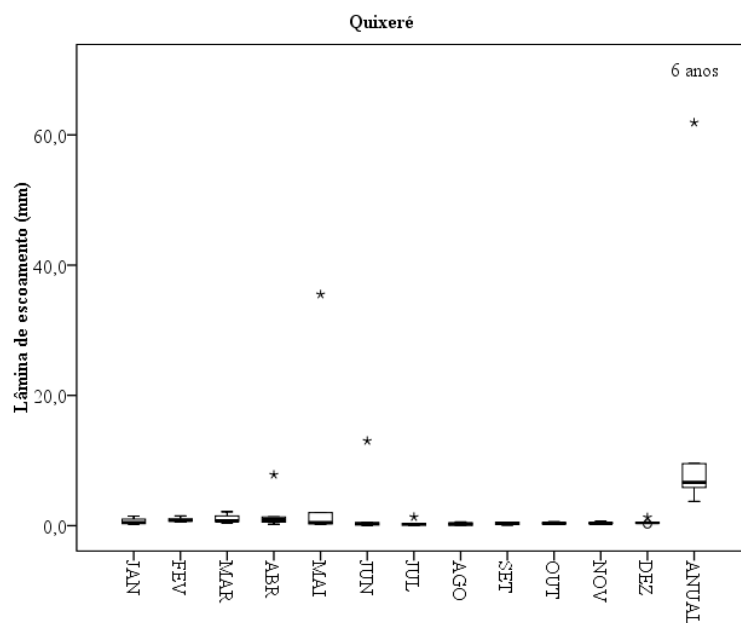
TUCCI, C. E. M; SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Editora da UFRGS, 3. ed., primeira reimpressão. Porto Alegre, 2004.

APÊNDICE

APÊNDICE A – GRÁFICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO JAGUARIBE

A.1 Seção Quixeré

GRÁFICO A1: Perfil intermensal e interanual do escoamento superficial na seção Quixeré na bacia hidrográfica no Baixo Jaguaribe.

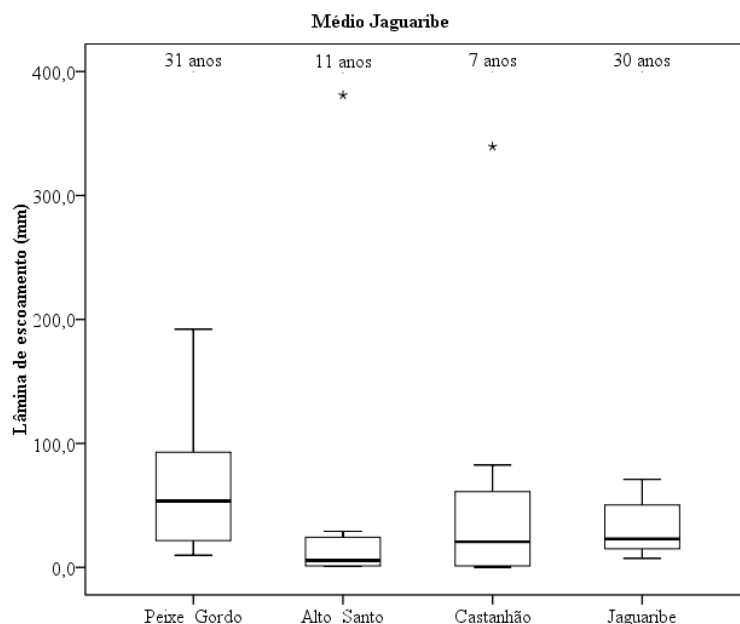


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015)

APÊNDICE B – GRÁFICOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO JAGUARIBE

B.1 Médio Jaguaribe

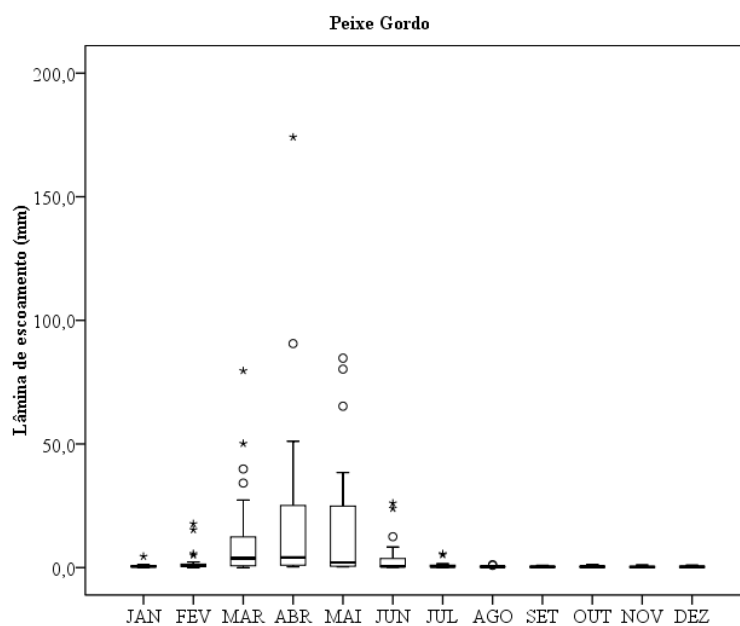
GRÁFICO B1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

B.2 Seção Peixe Gordo

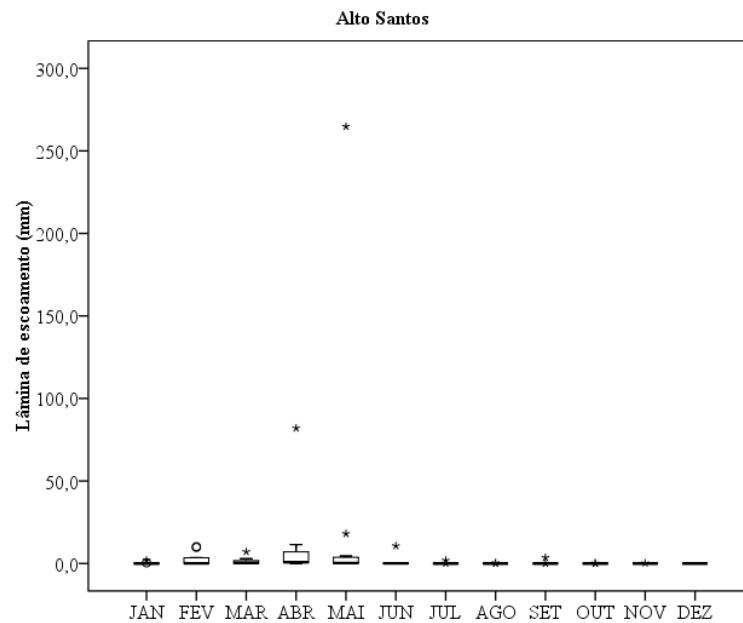
GRÁFICO B2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Peixe Gordo.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

B.3 Seção Alto Santos

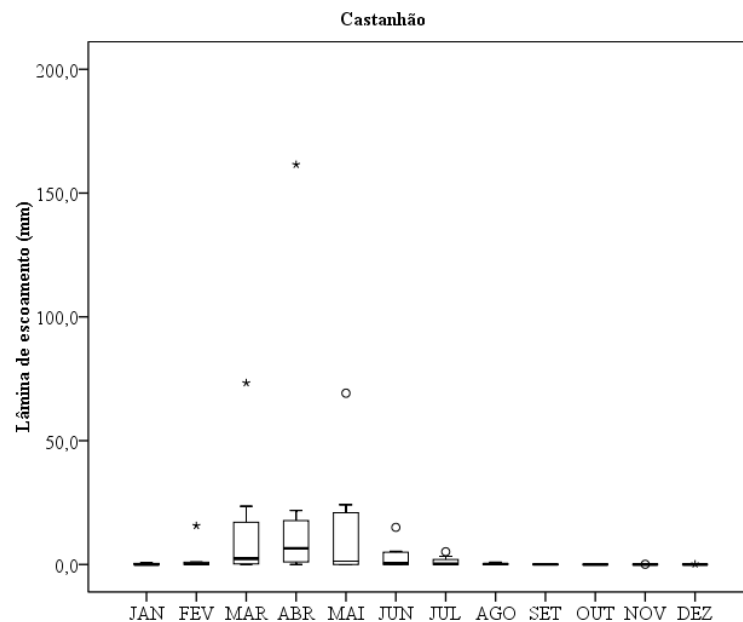
GRÁFICO B3: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Alto Santos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

B.4 Seção Castanhão

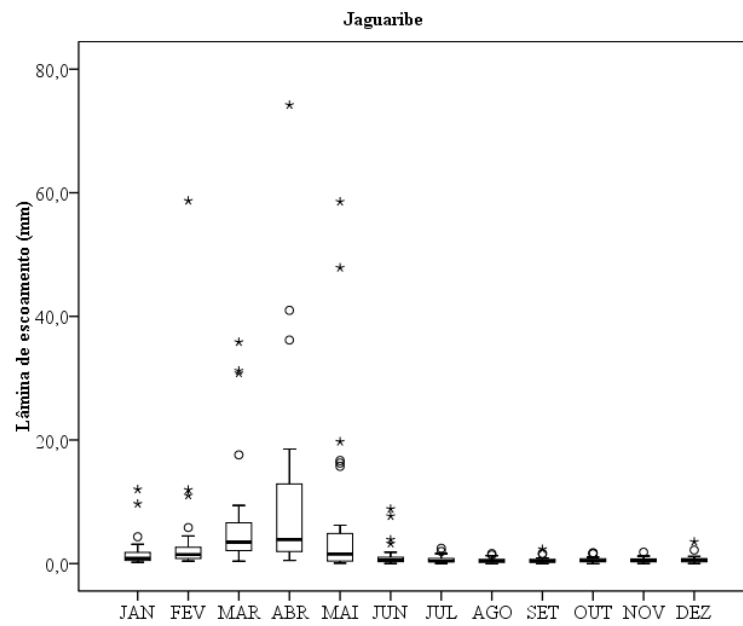
GRÁFICO B4: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Castanhão.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

B.5 Seção Jaguaribe

GRÁFICO B5: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Jaguaribe.

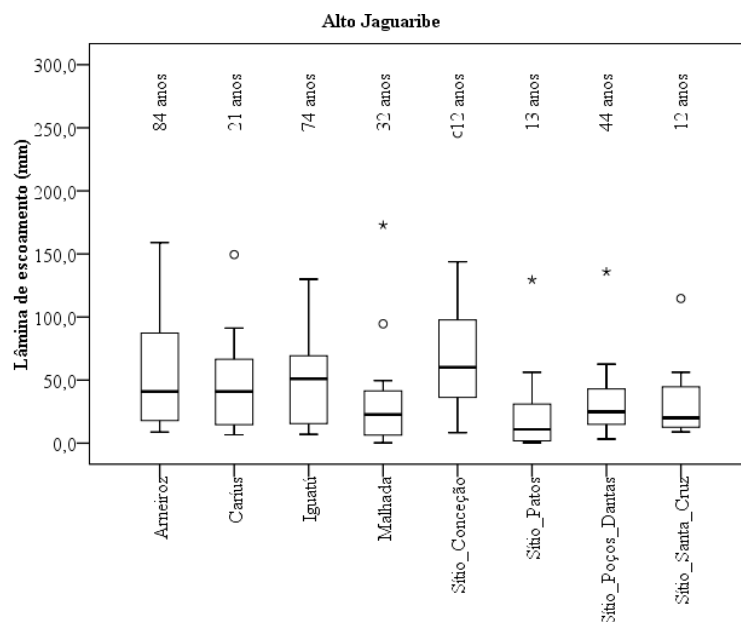


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE C – GRÁFICO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO JAGUARIBE

C.1 Alto Jaguaribe

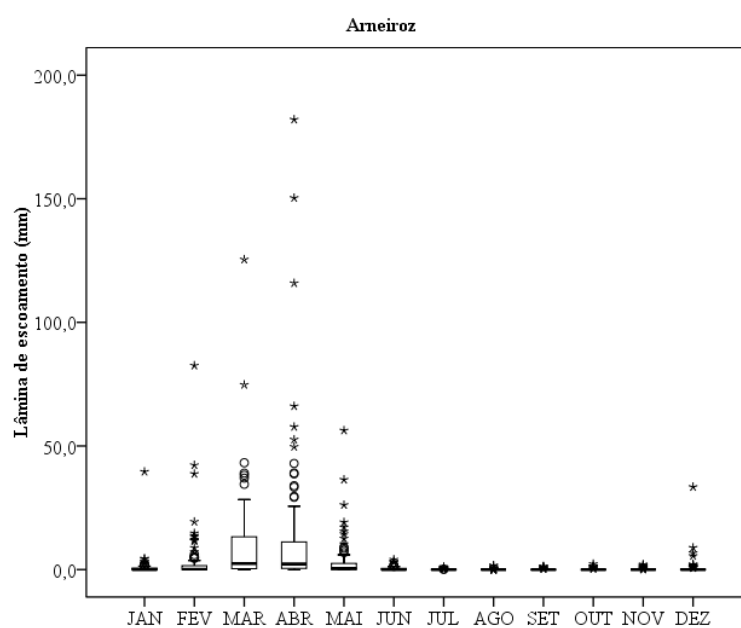
GRÁFICO C1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.2 Seção Arneiroz

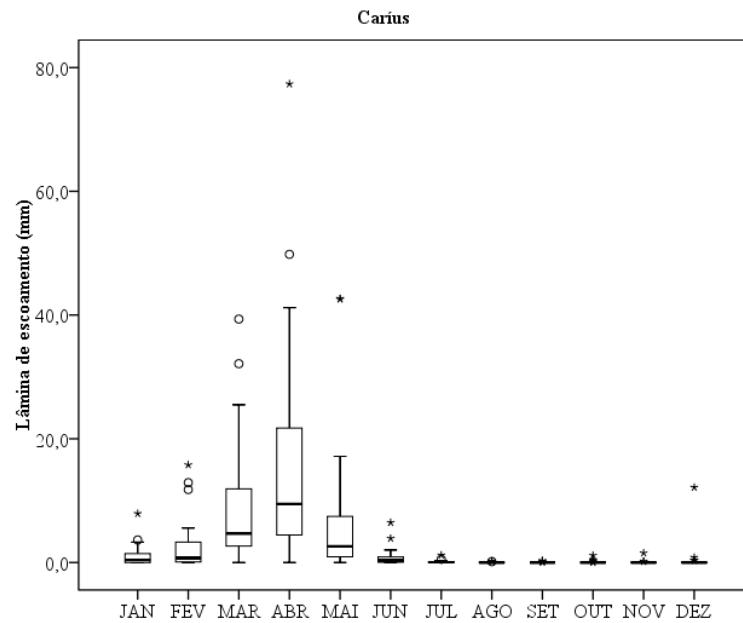
GRÁFICO C2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Jaguaribe.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.3 Seção Caríus

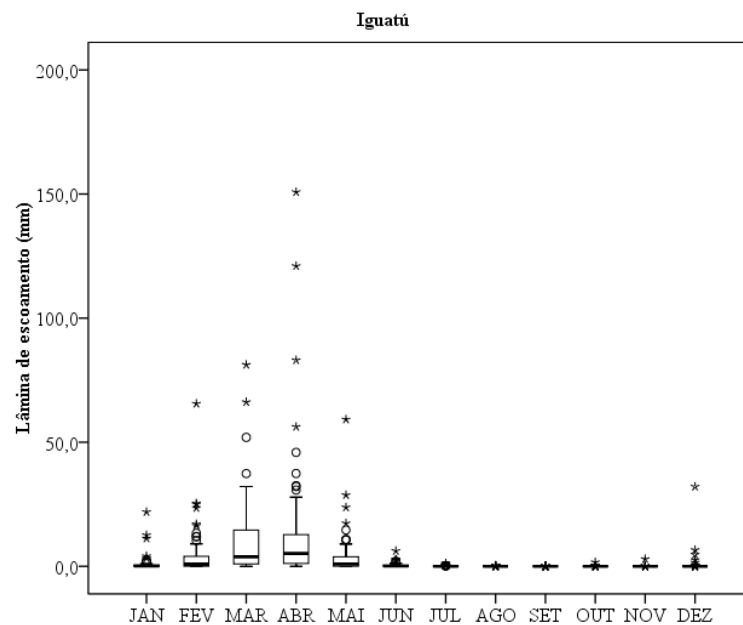
GRÁFICO C3: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Caríus.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.4 Seção Iguatú

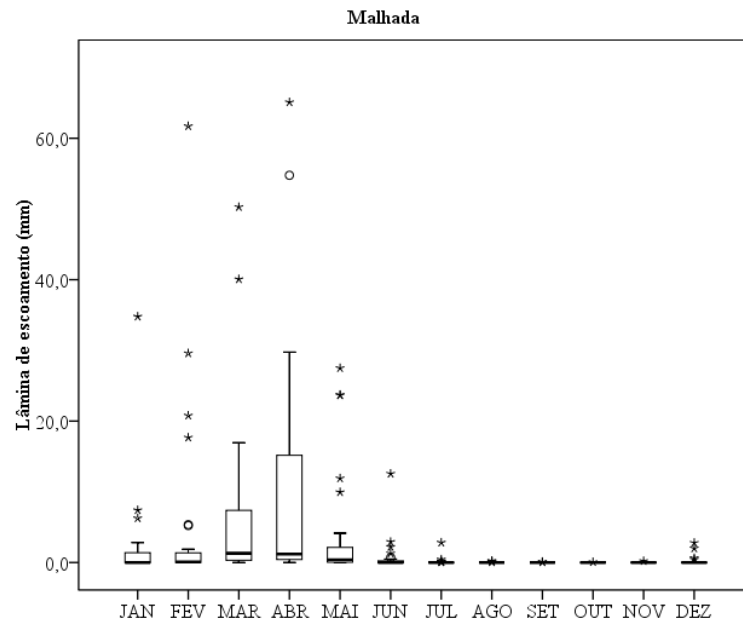
GRÁFICO C4: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Iguatú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.5 Seção Malhada

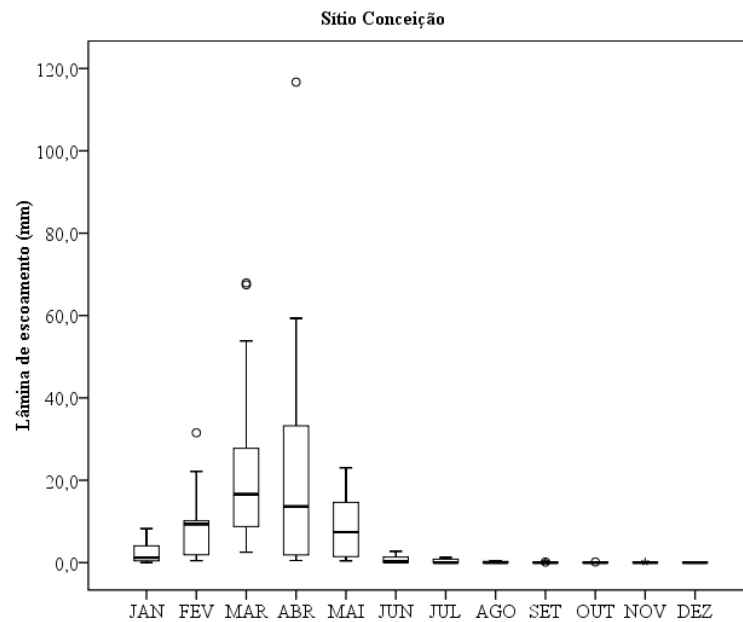
GRÁFICO C5: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Malhada.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.6 Seção Sítio Conceição

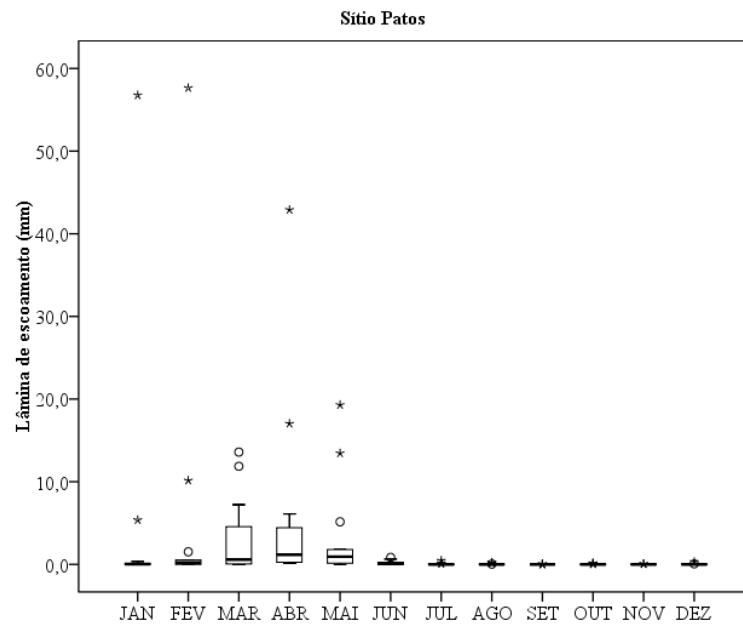
GRÁFICO C6: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Sítio Conceição.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.7 Seção Sítio Patos

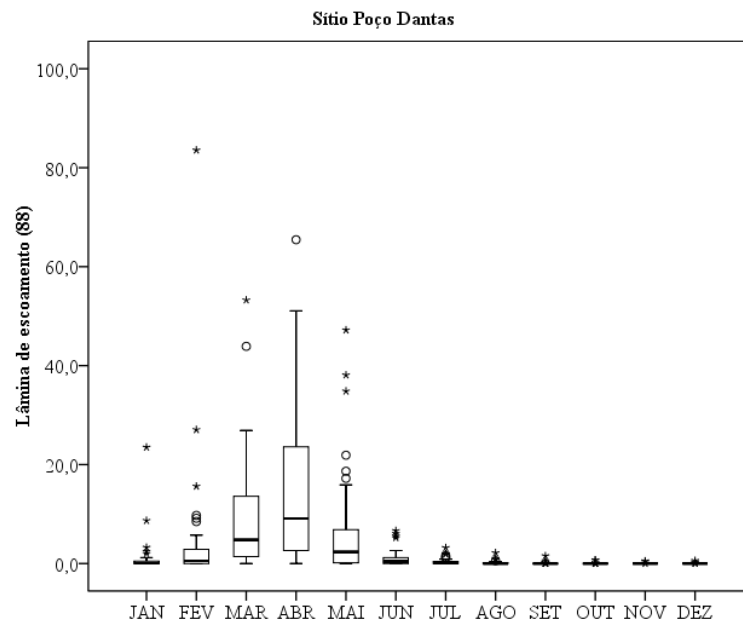
GRÁFICO C7: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Patos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.8 Seção Sítio Poços Dantas

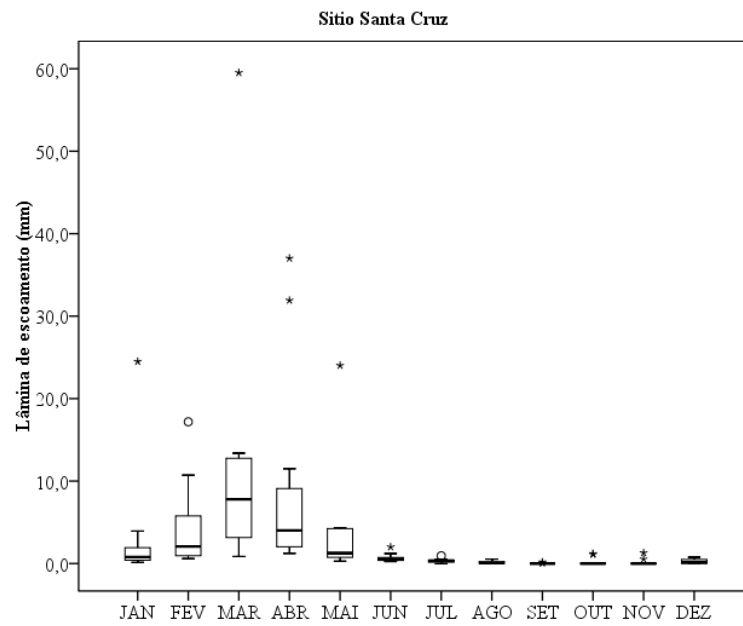
GRÁFICO C8: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Poços Dantas.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

C.9 Seção Sítio Santa Cruz

GRÁFICO C9: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Sítio Santa Cruz.

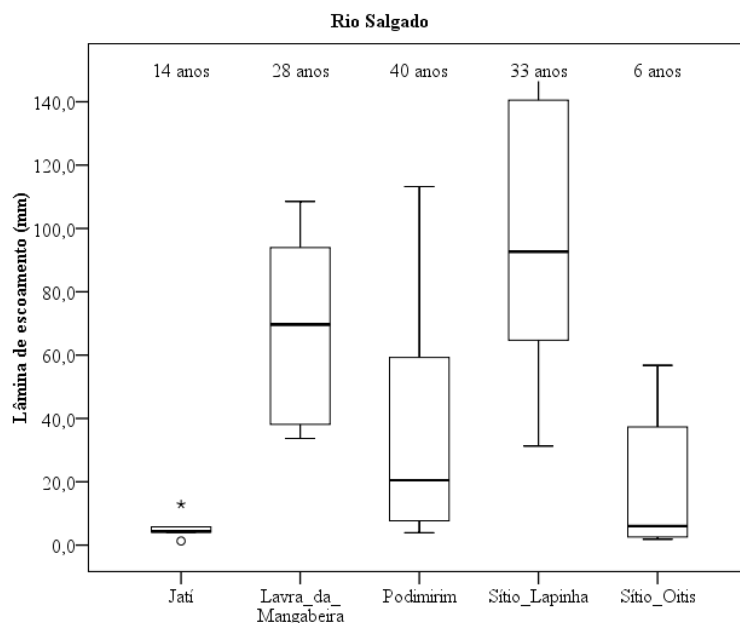


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE D – GRÁFICOS DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SALGADO

D.1 Rio Salgado

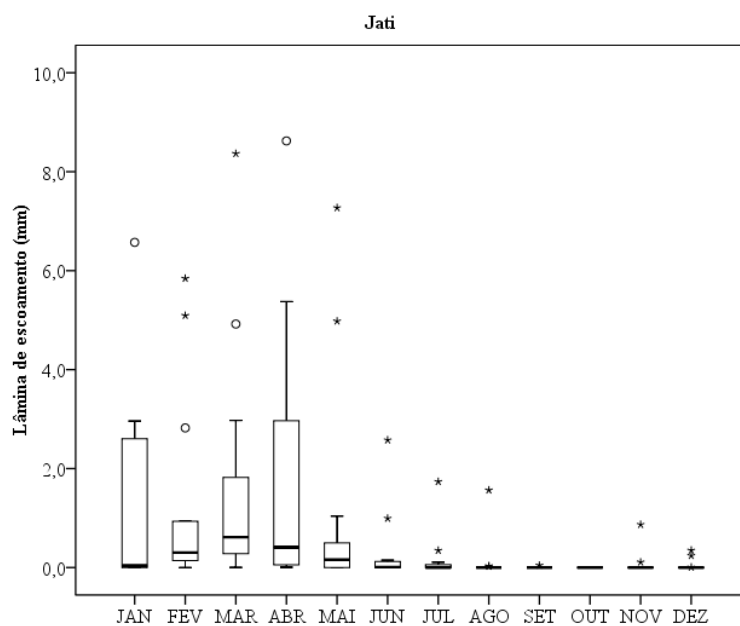
GRÁFICO D1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas bacia hidrográfica do Rio Salgado.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

D.2 Seção Jati

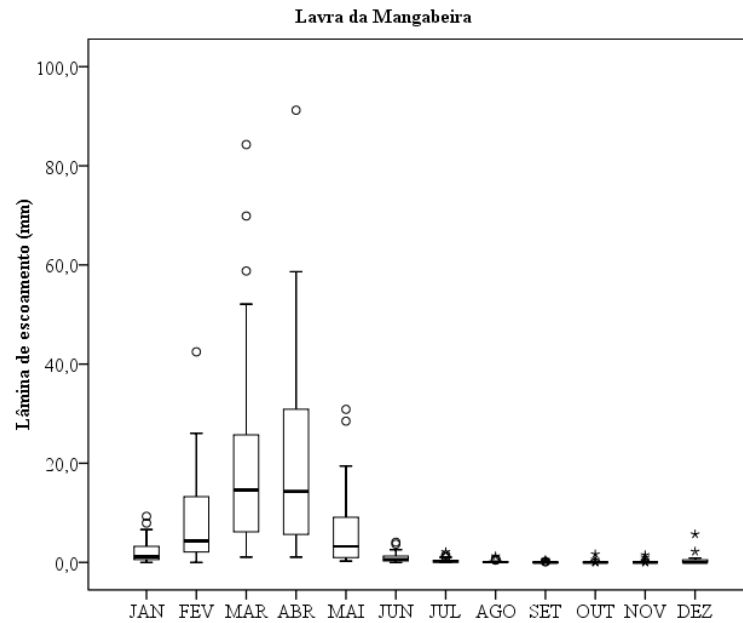
GRÁFICO D2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Jati.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

D.3 Seção Lavra da Mangabeira

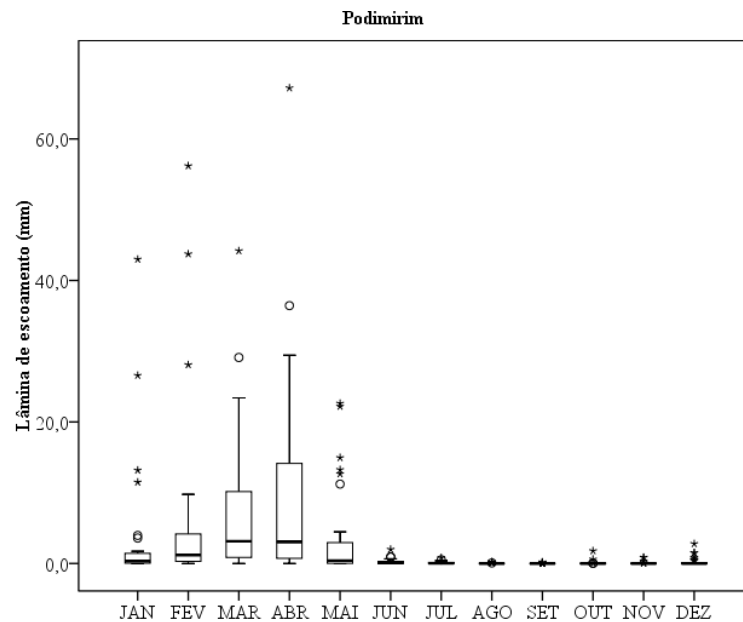
GRÁFICO D3: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Lavra da Mangabeira.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

D.4 Seção Podimirim

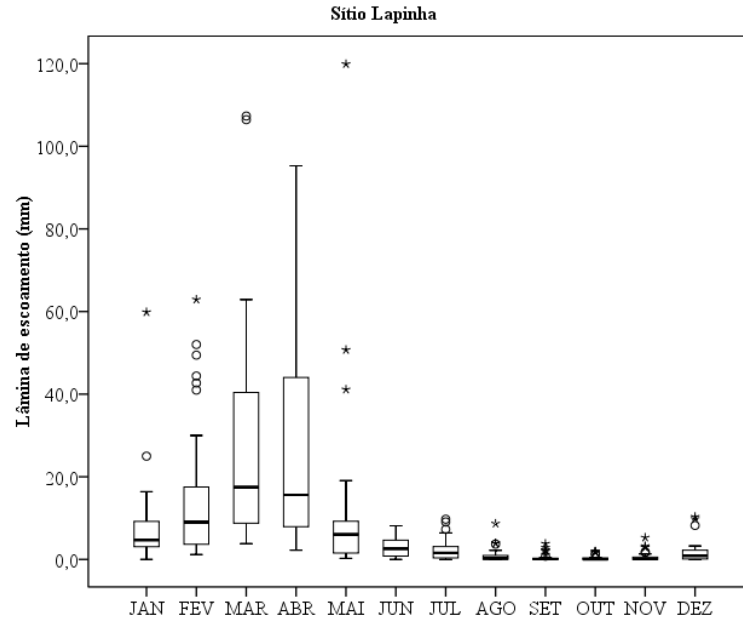
GRÁFICO D4: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Podimirim.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

D.5 Seção Sítio Lapinha

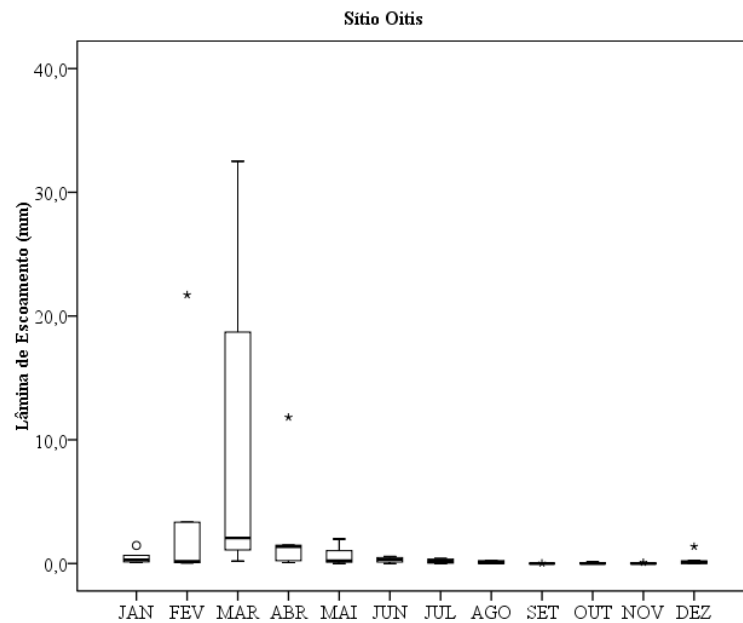
GRÁFICO D5: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Lapinha.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

D.6 Seção Sítio Oitis

GRÁFICO D6: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Sítio Oitis.

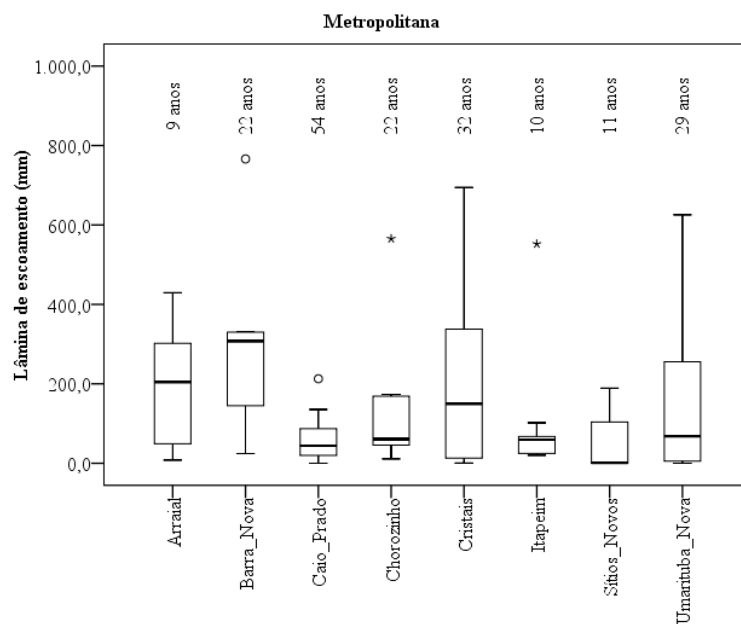


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE E – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA METROPOLITANA

E.1 Metropolitana

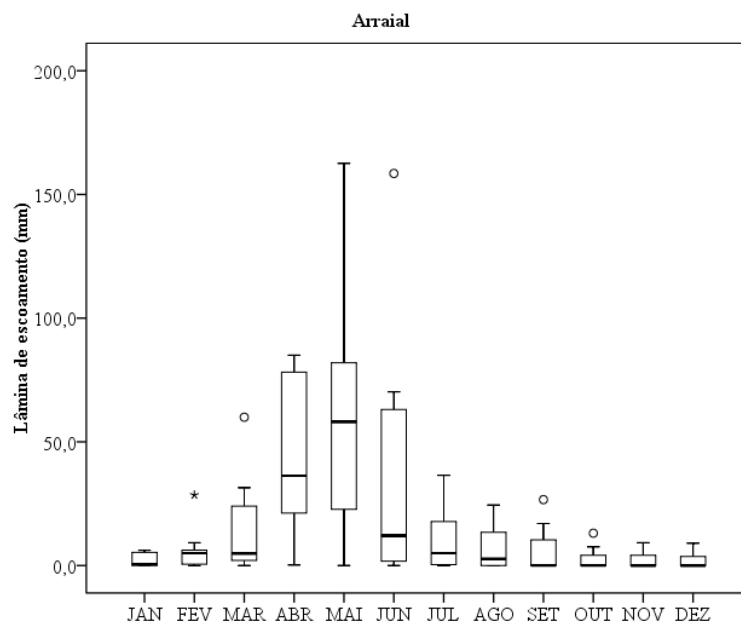
GRÁFICO E1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas bacia hidrográfica Metropolitana.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.2 Seção Arraial

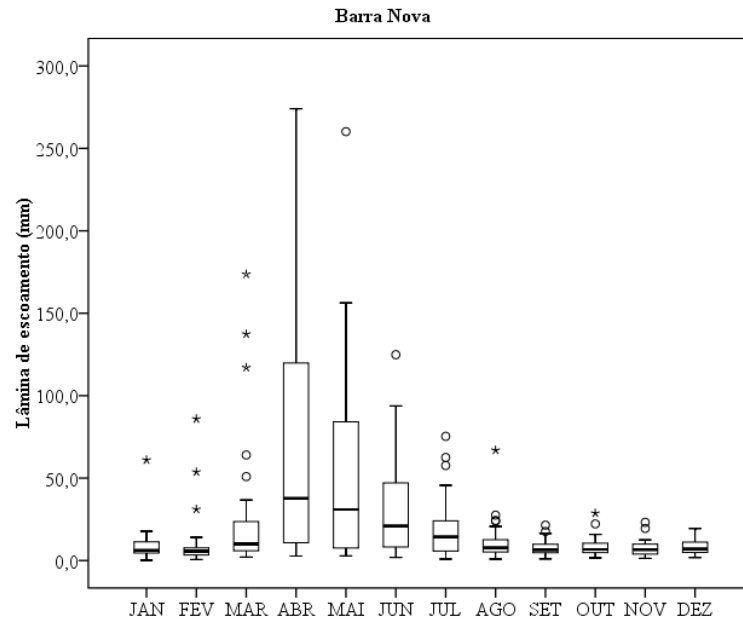
GRÁFICO E2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Arraial.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.3 Seção Barra Nova

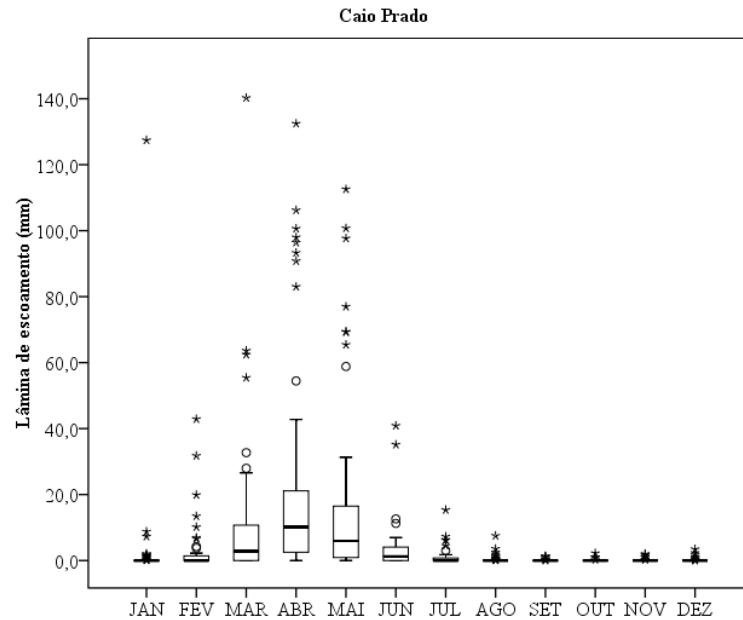
GRÁFICO E3: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Barra Nova.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.4 Seção Caio Prado

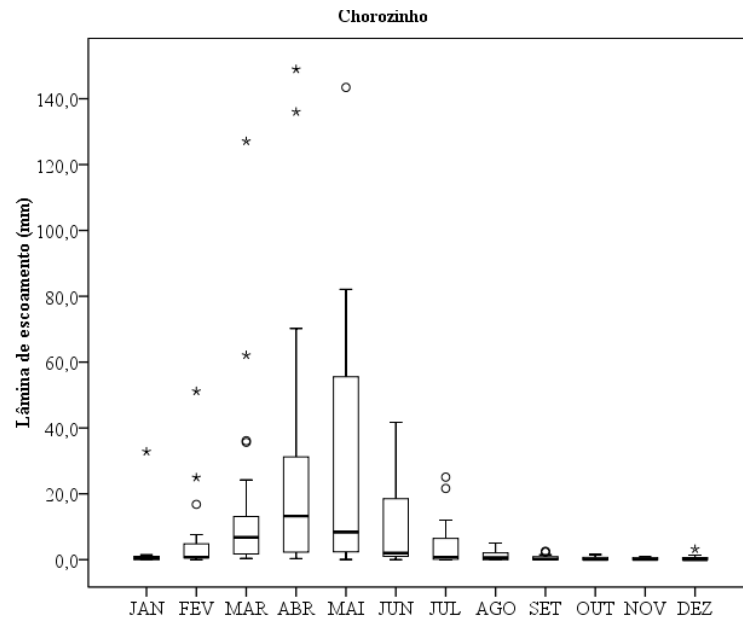
GRÁFICO E4: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Caio Prado.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.5 Seção Chorozinho

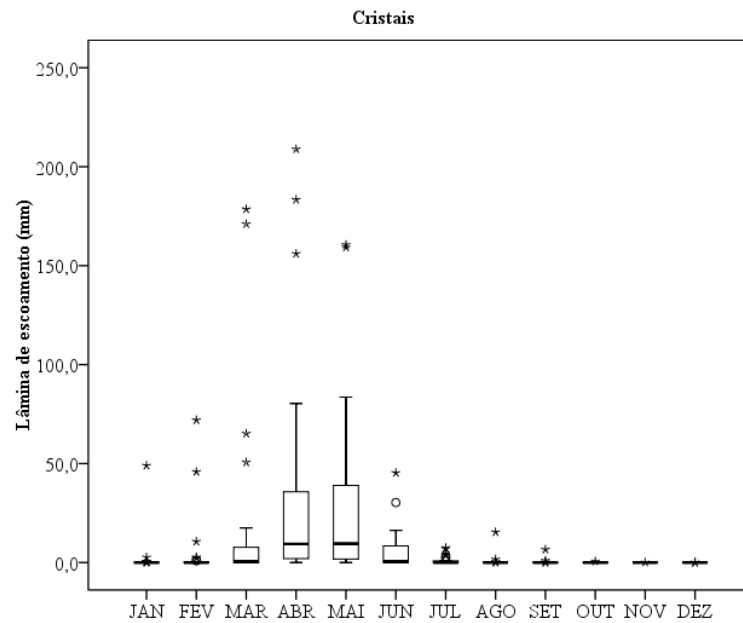
GRÁFICO E5: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Chorozinho.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.6 Seção Cristais

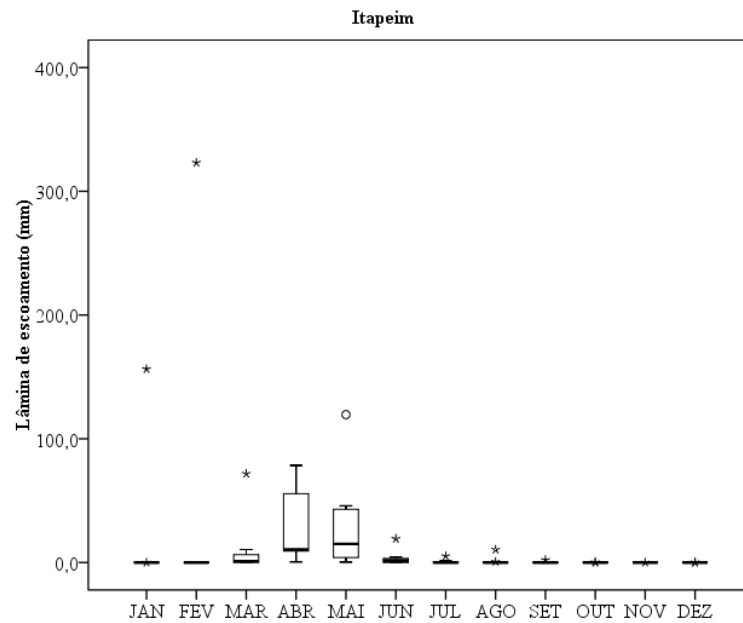
GRÁFICO E6: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Cristais.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.7 Seção Itapeim

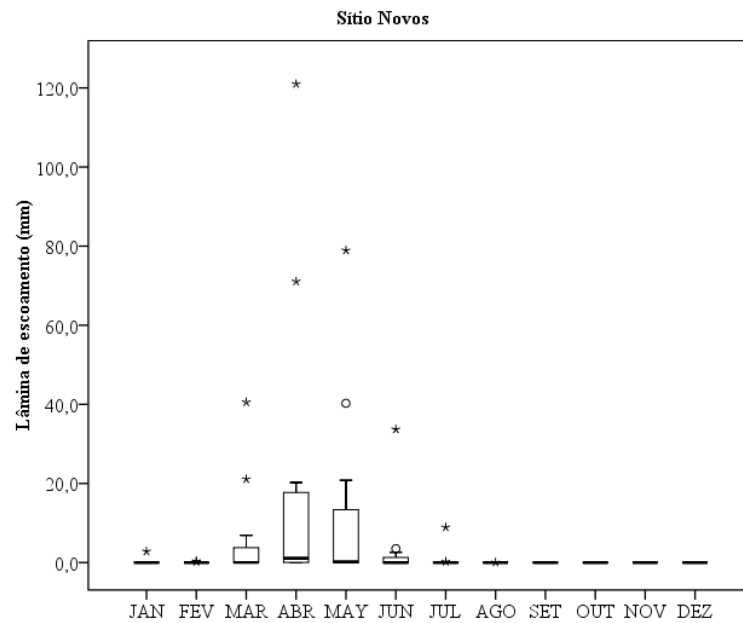
GRÁFICO E7: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Itapeim.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.8 Seção Sítio Novos

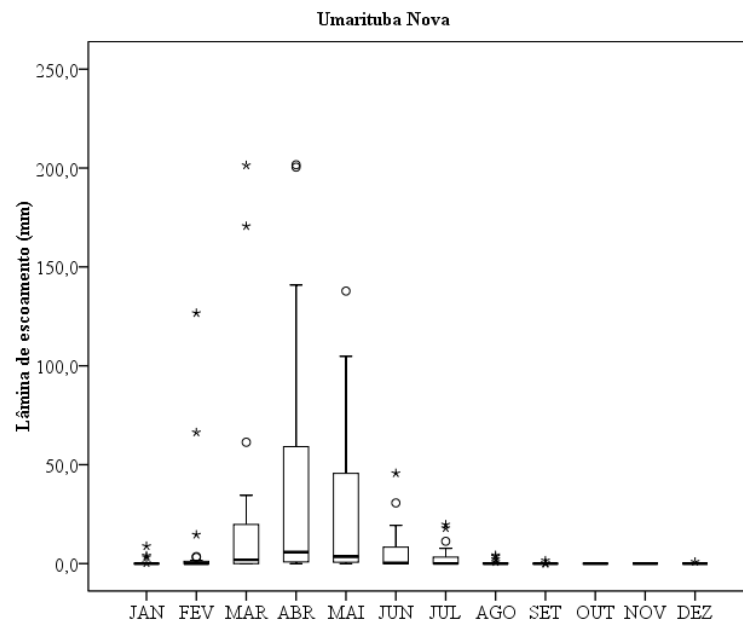
GRÁFICO E8: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Sítio Novos.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

E.9 Seção Umarituba Nova

GRÁFICO E9: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Umarituba Nova.

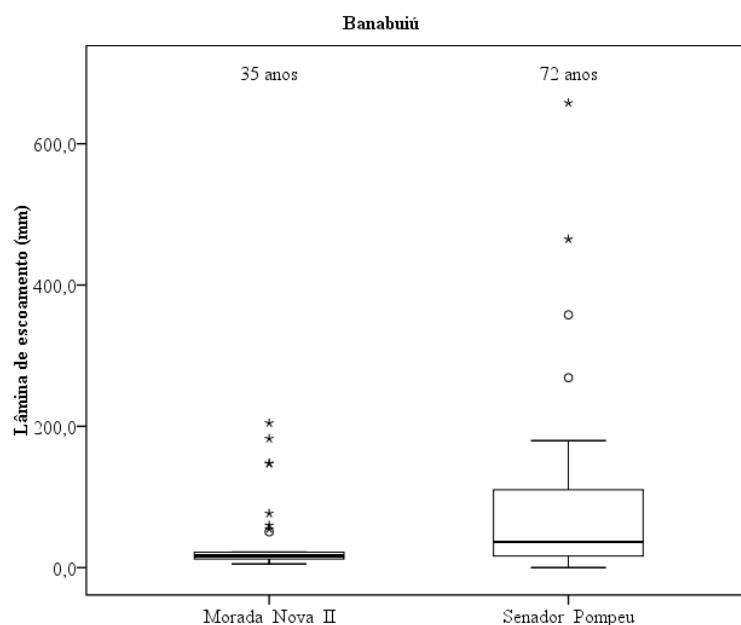


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE F – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BANABUIÚ

F.1 Banabuiú

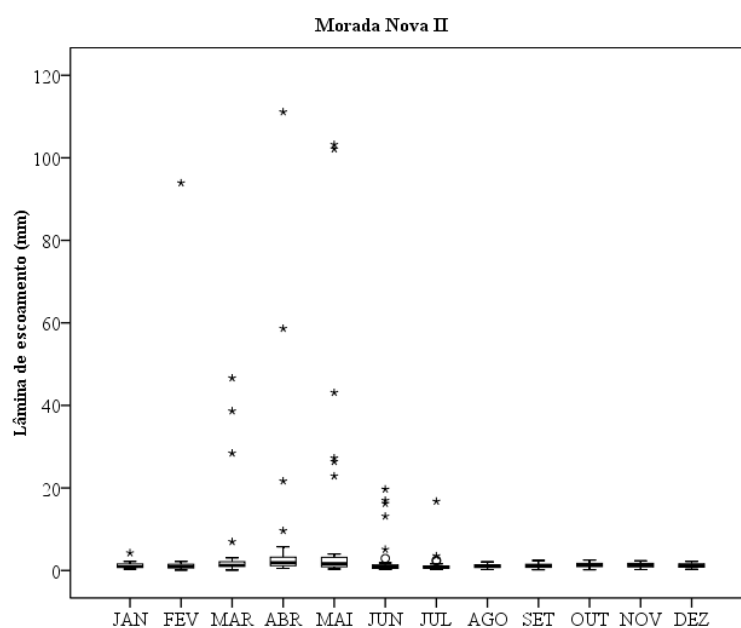
GRÁFICO F1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas bacia hidrográfica do Banabuiú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

F.2 Seção Morada Nova II

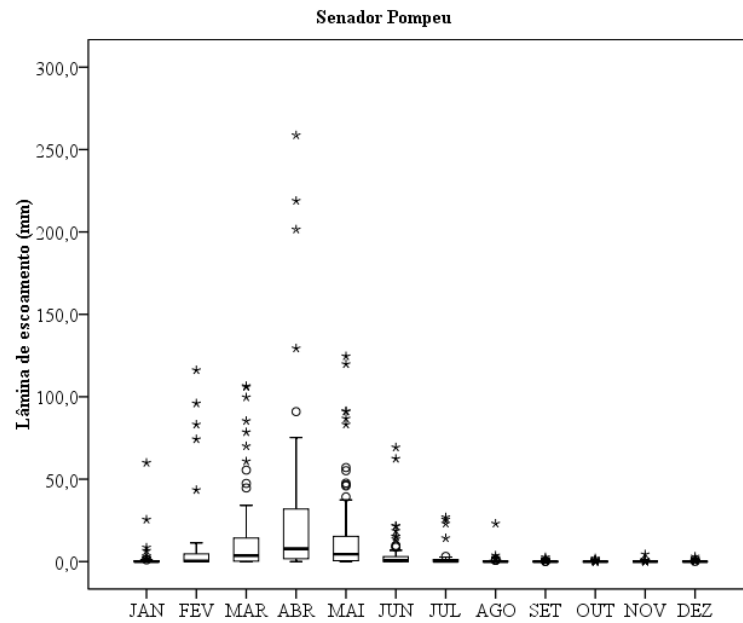
GRÁFICO F2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Morada Nova II.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

F.3 Seção Senador Pompeu

GRÁFICO F3: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Senador Pompeu.

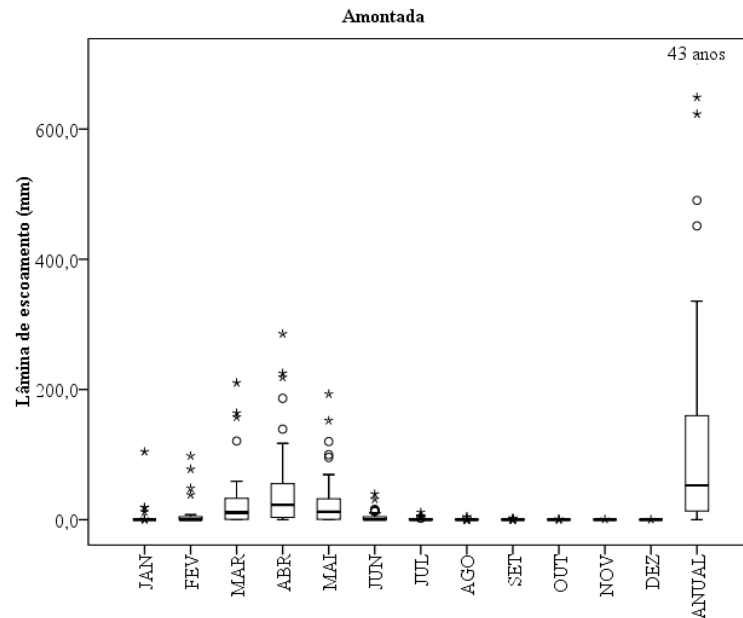


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE G – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO LITORAL

G.1 Litoral

GRÁFICO G1: Perfil intermensal e interanual do escoamento superficial da seção Amontada monitorada bacia hidrográfica do Litoral.

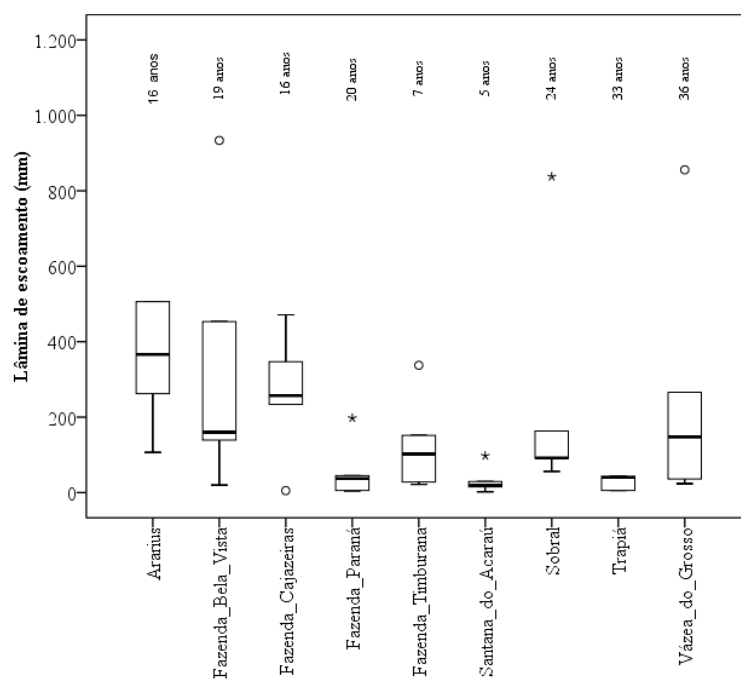


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE H – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ACARAÚ

H.1 Acaraú

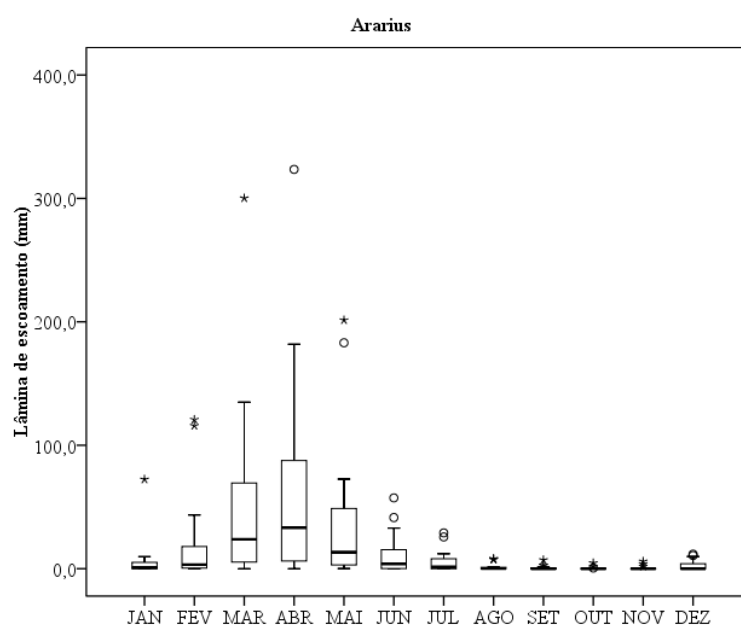
GRÁFICO H1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas na bacia hidrográfica do Acaraú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.2 Seção de Ararius.

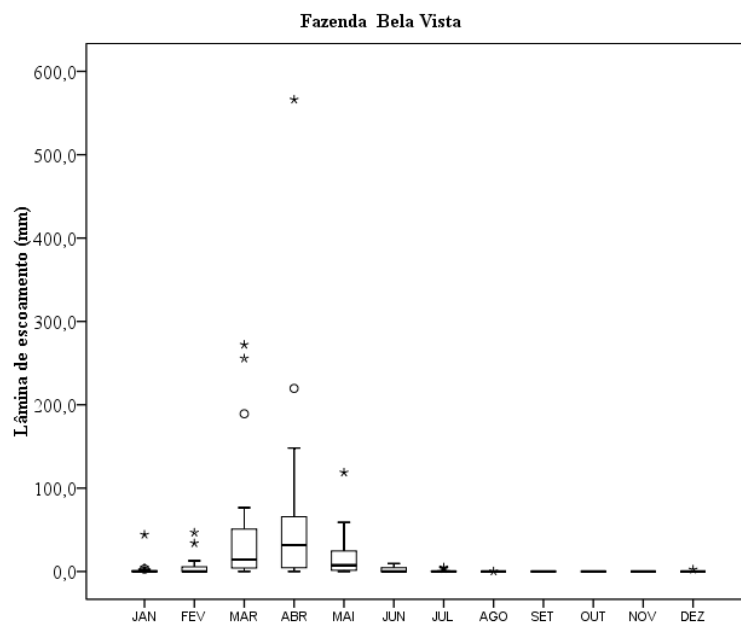
GRÁFICO H2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção de Ararius.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.3 Seção da Fazenda Bela Vista

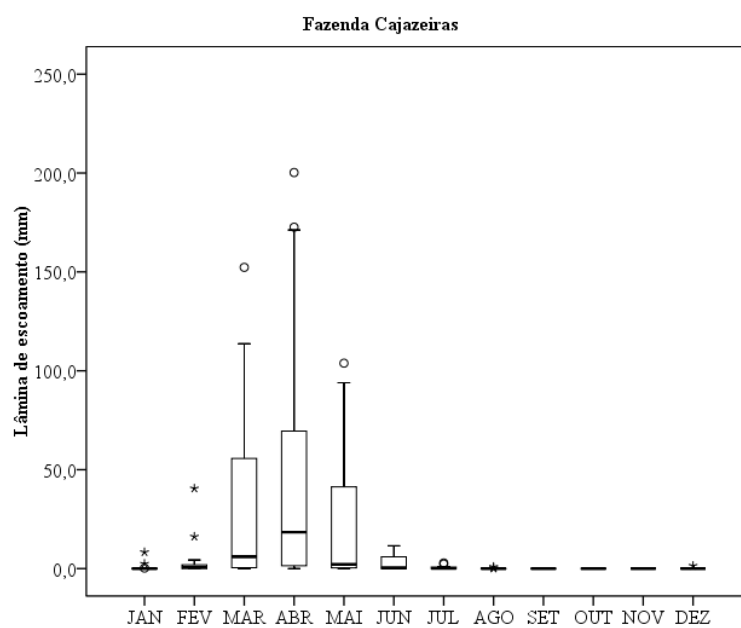
GRÁFICO H3: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção da Fazenda Bela Vista.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.4 Seção Fazenda Cajazeiras

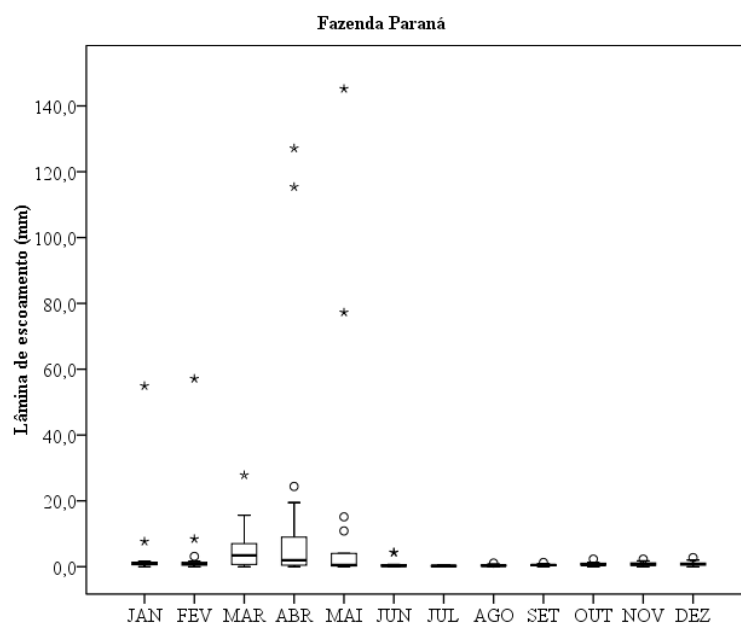
GRÁFICO H4: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Fazenda Cajazeiras.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.5 Seção Fazenda Paraná

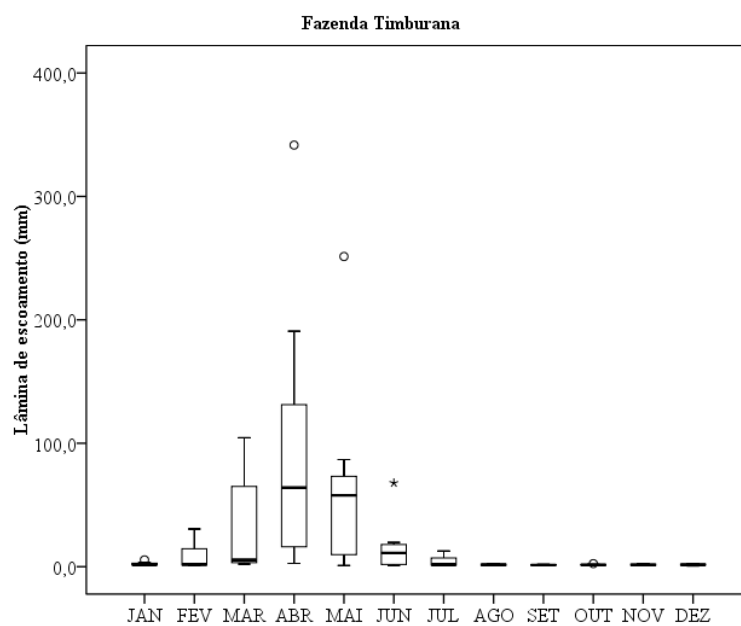
GRÁFICO H5: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Fazenda Paraná.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.6 Seção Fazenda Timburana

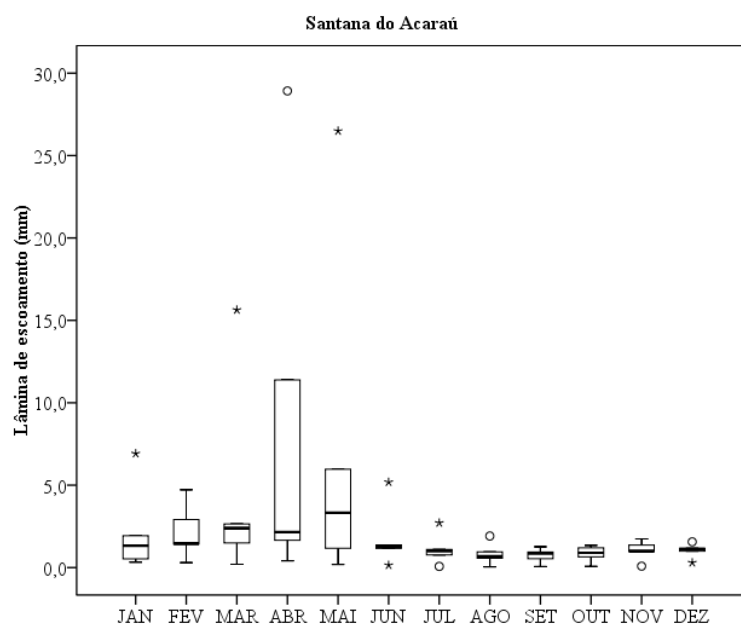
GRÁFICO H6: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção da Fazenda Timburana.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.7 Seção Santana do Acaraú

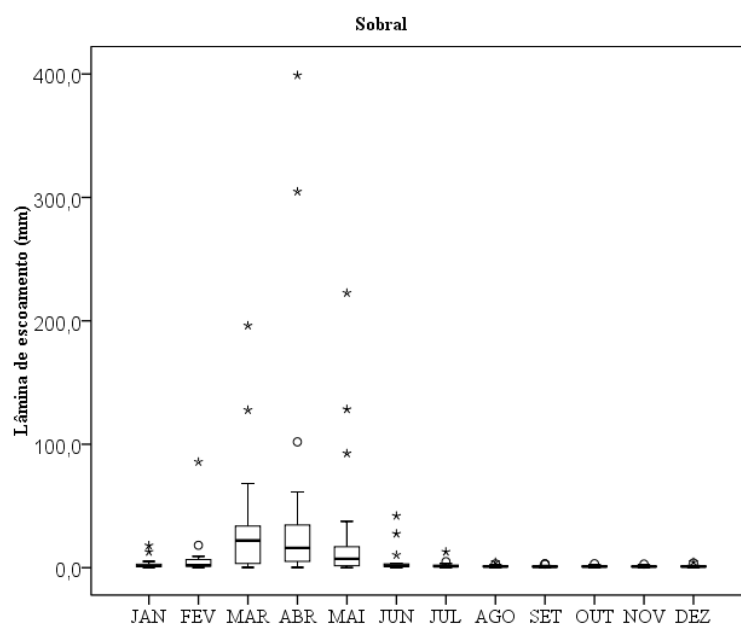
GRÁFICO H7: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção de Santana do Acaraú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.8 Seção Sobral

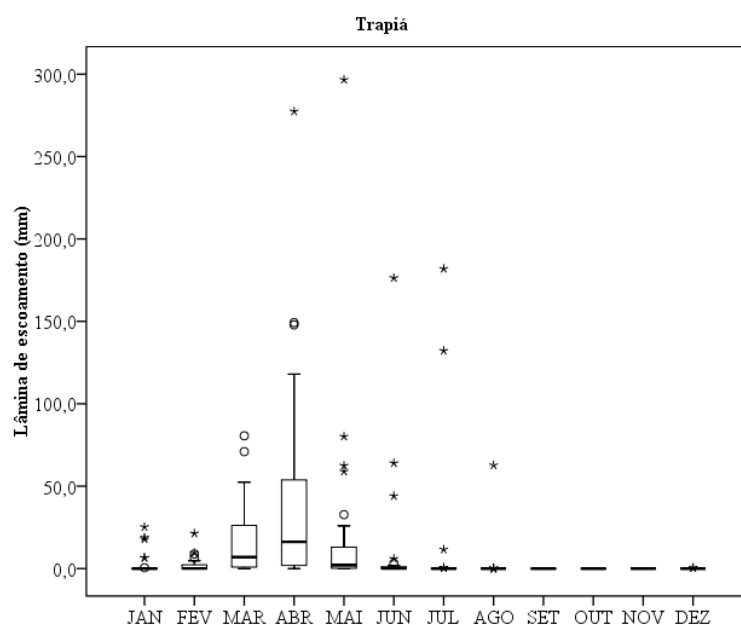
GRÁFICO H8: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Sobral.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.9 Seção Trapiá

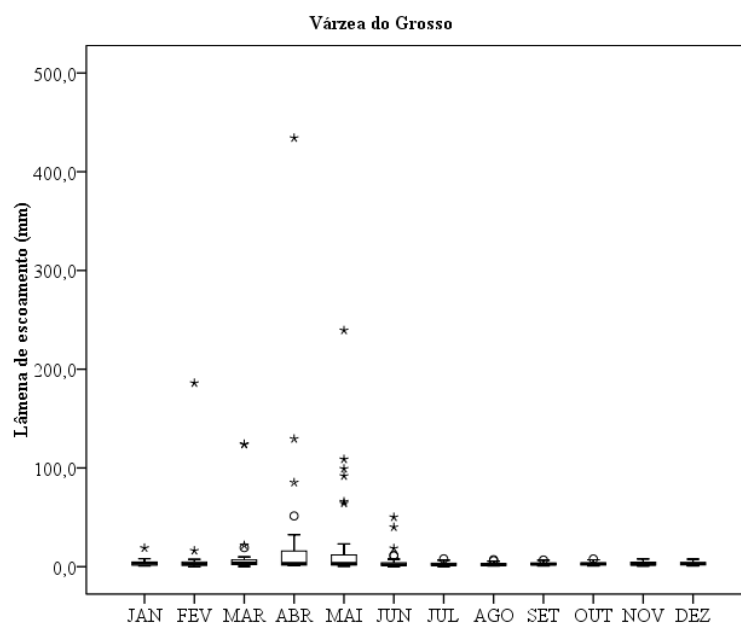
GRÁFICO H9: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Trapiá.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

H.10 Seção Várzea do Grosso

GRÁFICO H10: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Várzea do Grosso.

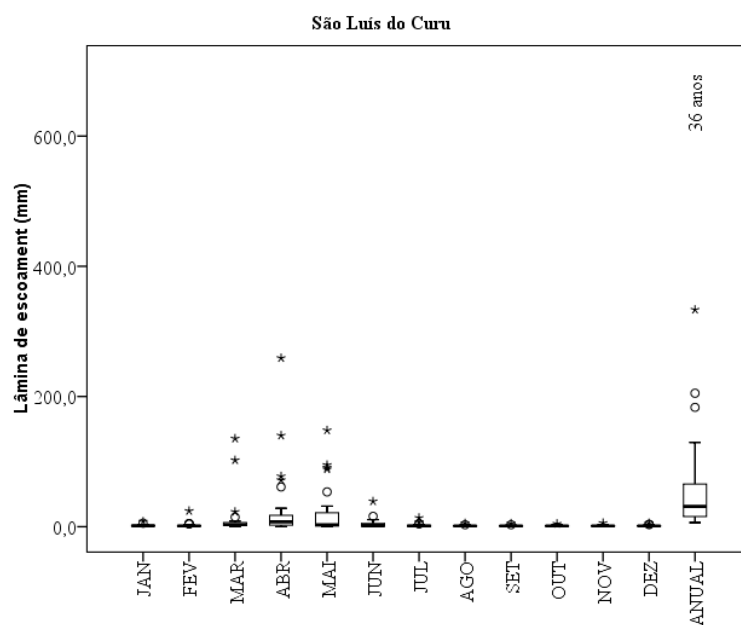


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE I – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CURU

I.1 Curu

GRÁFICO I1: Perfil intermensal e interanual do escoamento superficial da seção Amontada monitorada bacia hidrográfica do Curu.

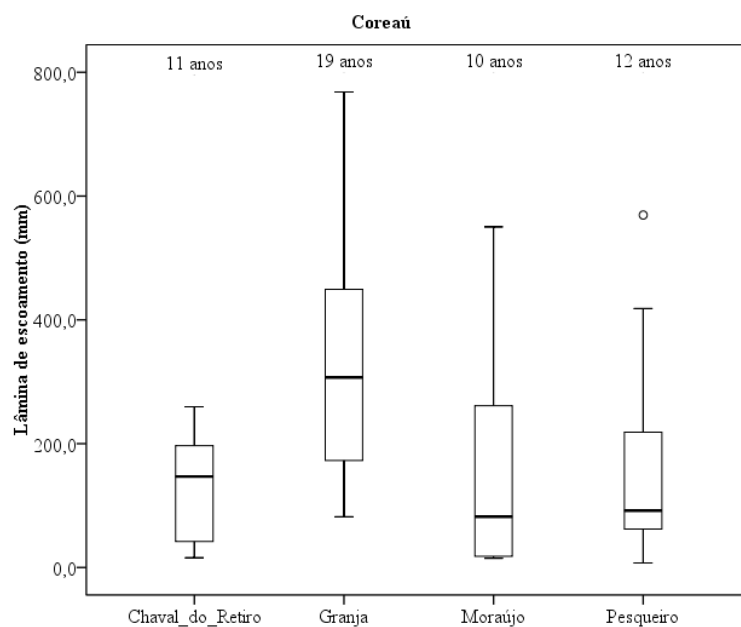


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE J – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO COREAÚ

J.1 Coreaú

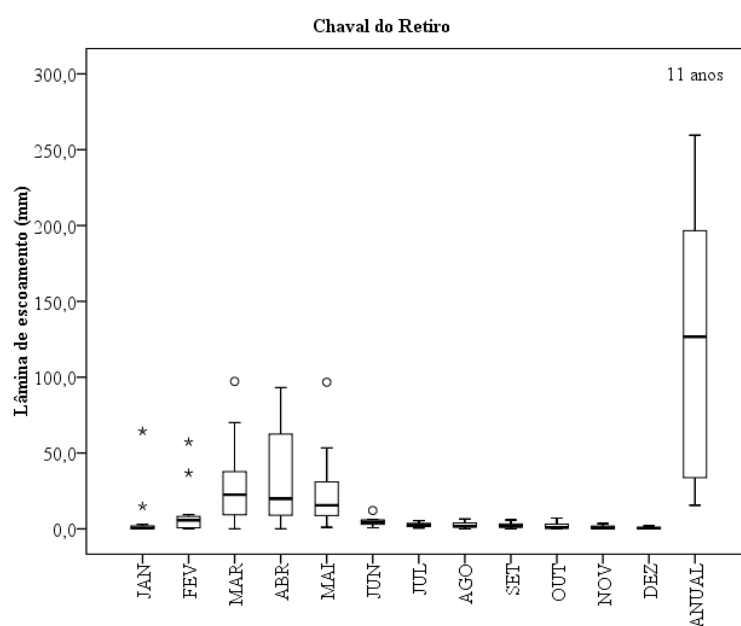
GRÁFICO J1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas na bacia hidrográfica do Coreaú.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

J.2 Seção Chaval do Retiro

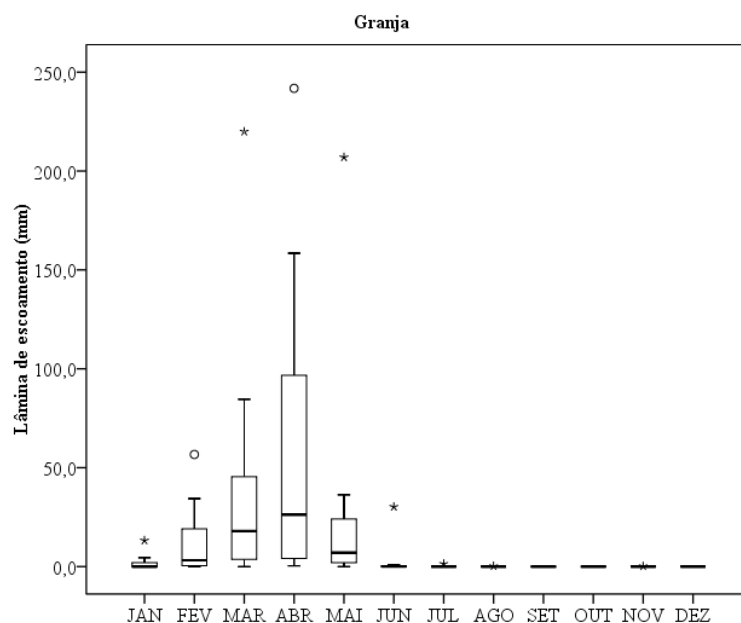
GRÁFICO J2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Chaval do Retiro.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

J.3 Seção Granja

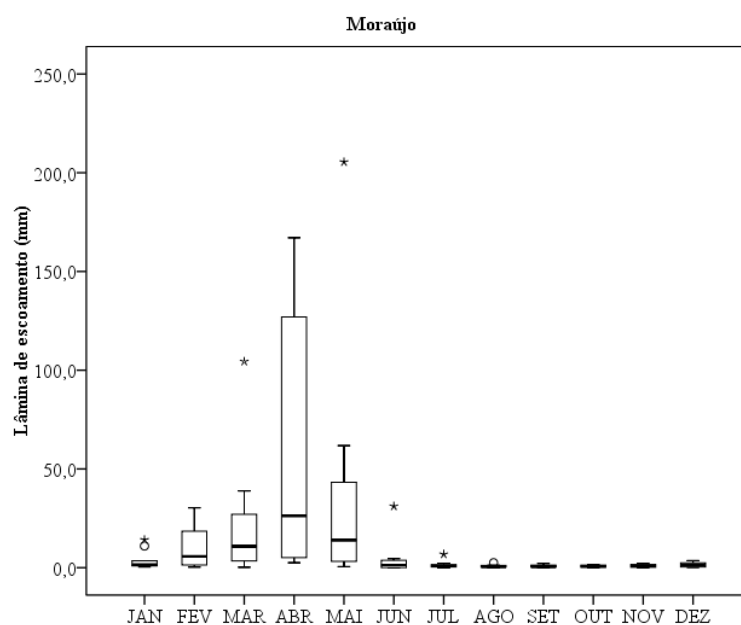
GRÁFICO J3: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Granja.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

J.4 Seção Moraújo

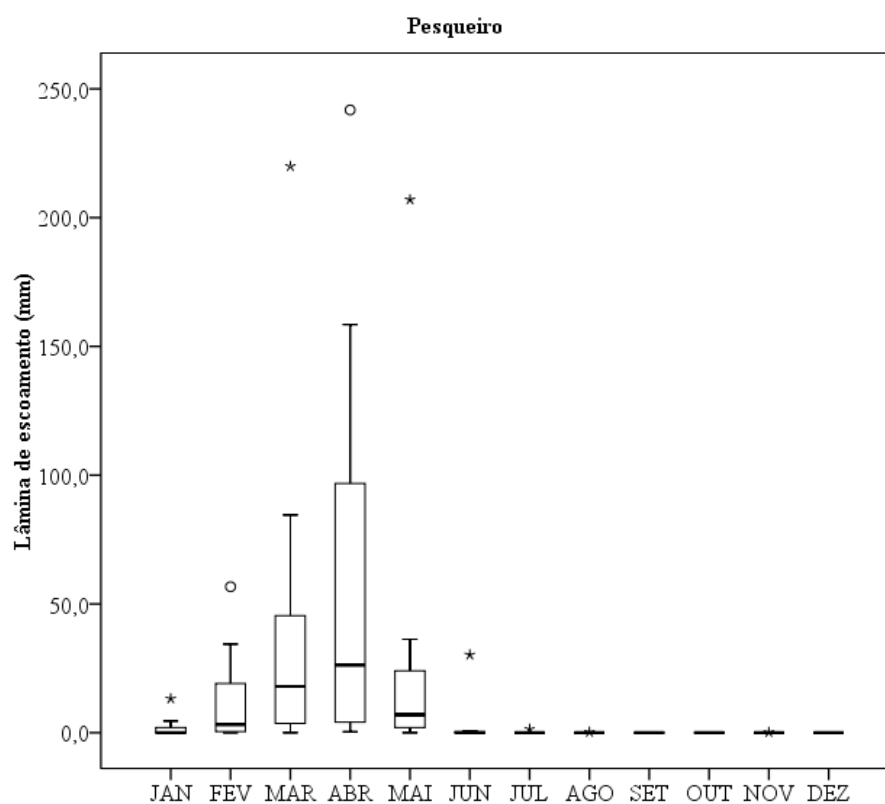
GRÁFICO J4: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Moraújo.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

J.5 Seção Pesqueiro

GRÁFICO J5: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Pesqueiro

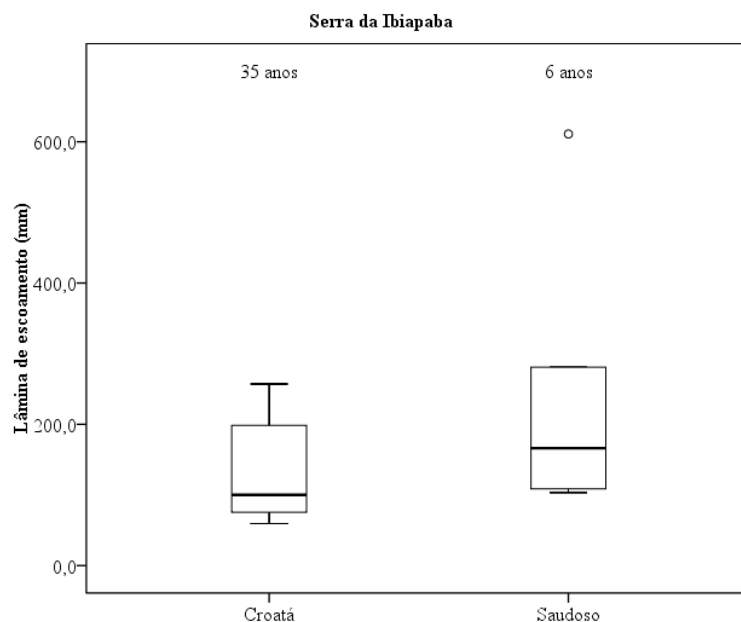


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

APÊNDICE K – GRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA SERRA DA IBIAPABA

K.1 Serra da Ibiapaba

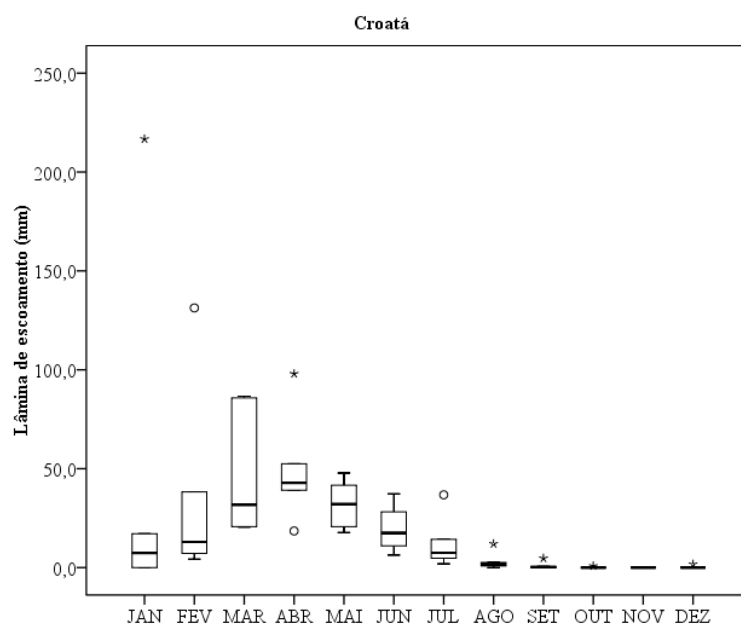
GRÁFICO K1: Perfil interanual do escoamento superficial das seções monitoradas na bacia hidrográfica da Serra da Ibiapaba.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

K.2 Seção Croatá

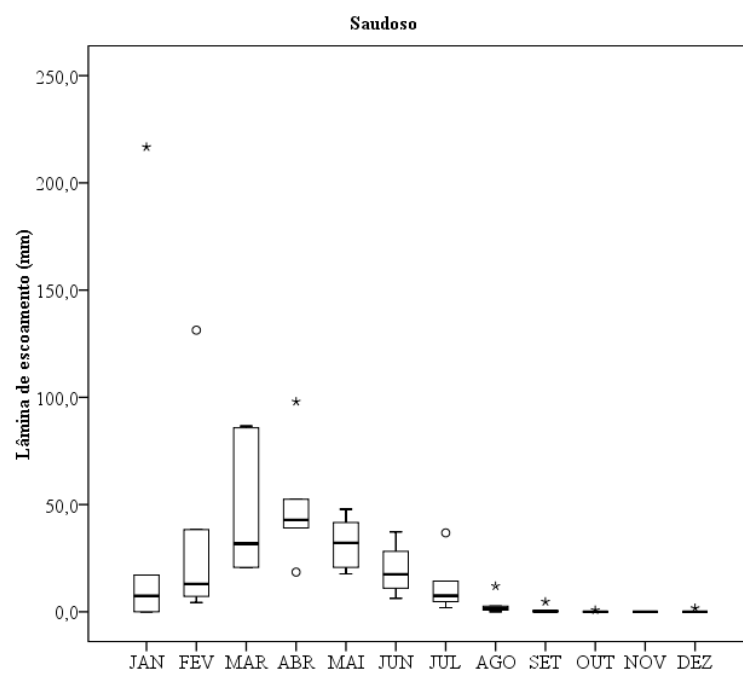
GRÁFICO K2: Perfil intermensal do escoamento superficial da seção Croatá



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

K.3 Saudoso

GRÁFICO K3: Perfil intermensual do escoamento superficial da seção Saudoso

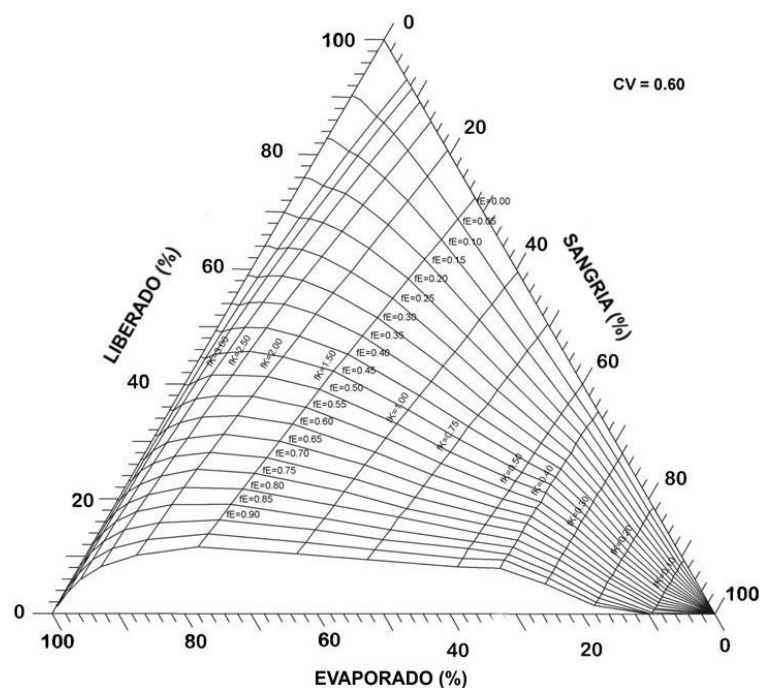


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de (BRASIL, 2015).

ANEXOS

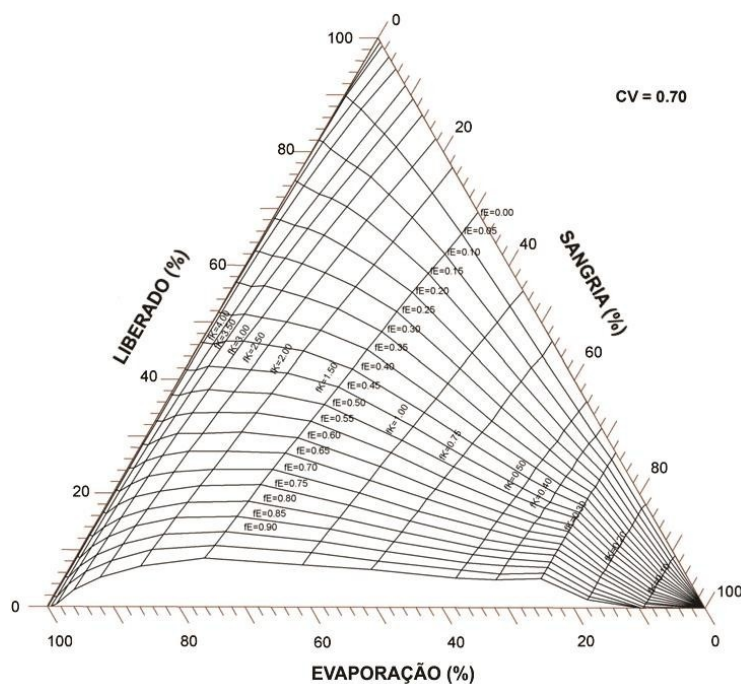
ANEXO A – DIAGRAMAS TRIANGULARES DE REGULARIZAÇÃO (DTR)

Anexo A1: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,60.



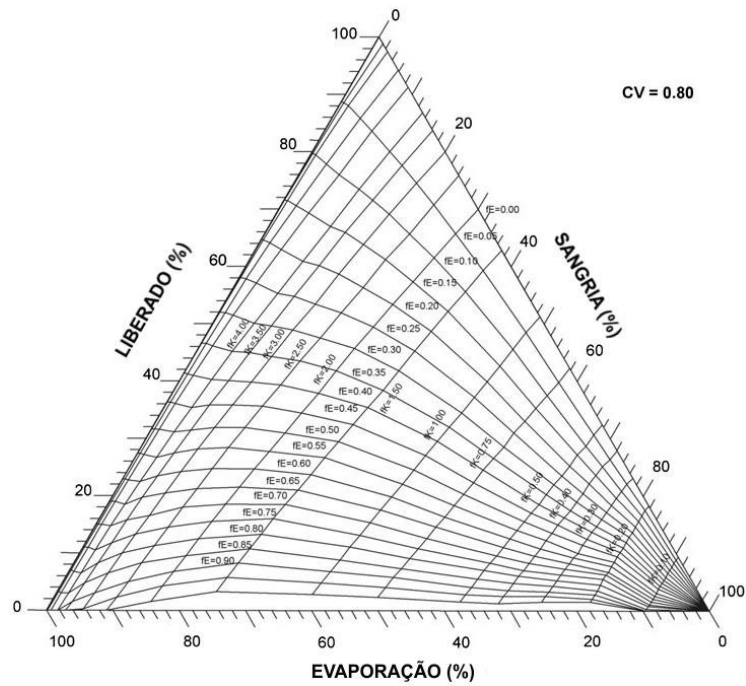
Fonte: Campos (2010).

Anexo A2: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,70.



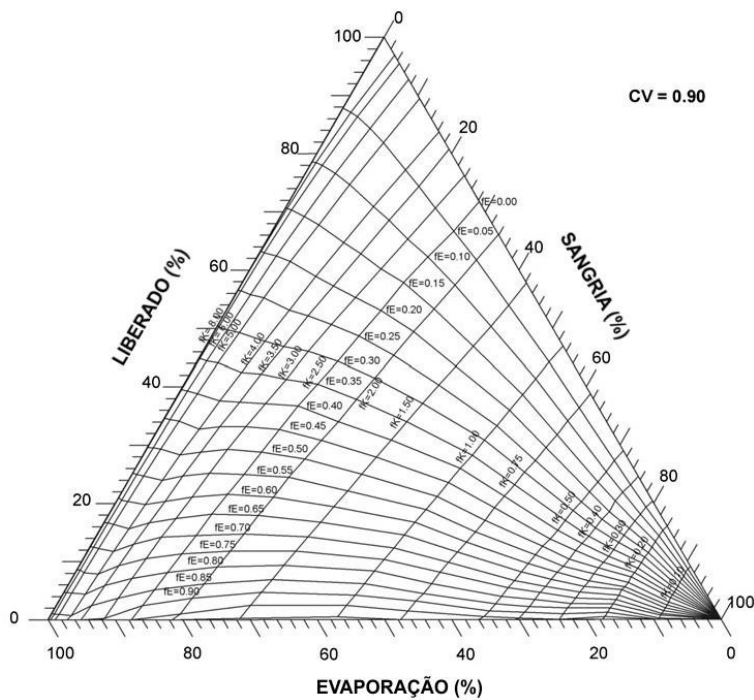
Fonte: Campos (2010).

Anexo A3: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,80.



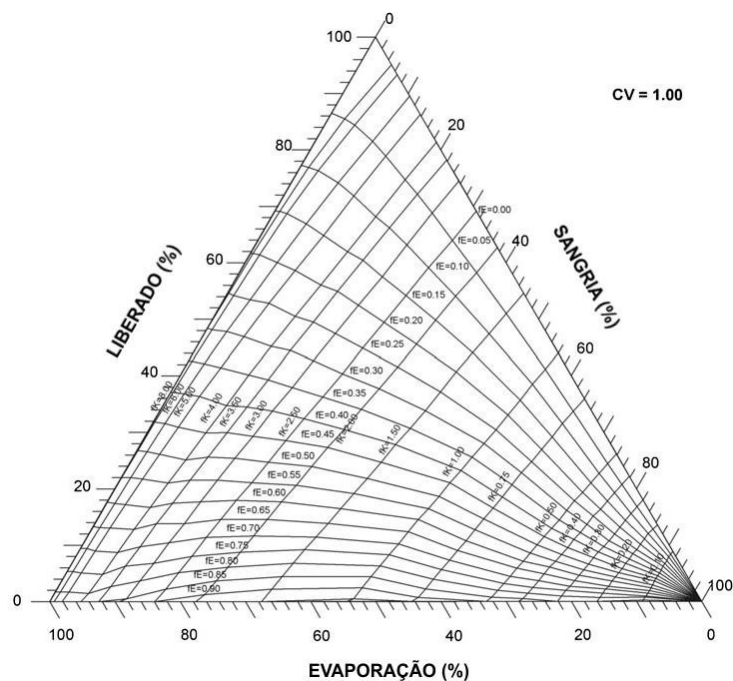
Fonte: Campos (2010).

Anexo A4: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 0,90.



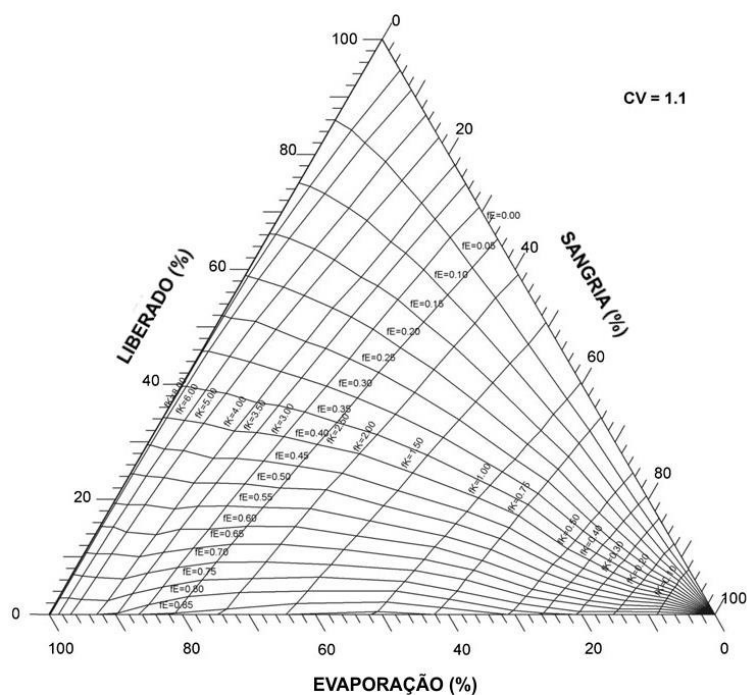
Fonte: Campos (2010).

Anexo A5: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,00.



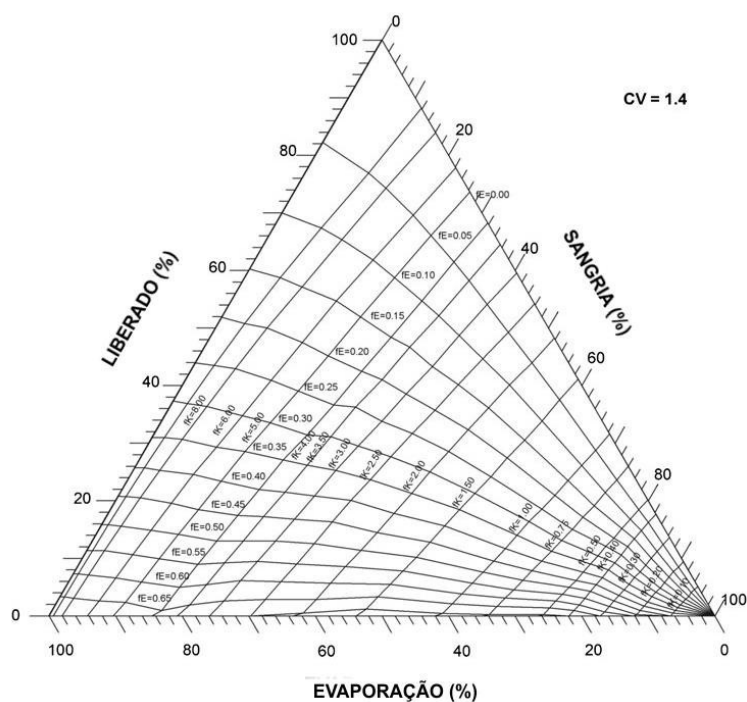
Fonte: Campos (2010).

Anexo A6: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,10.



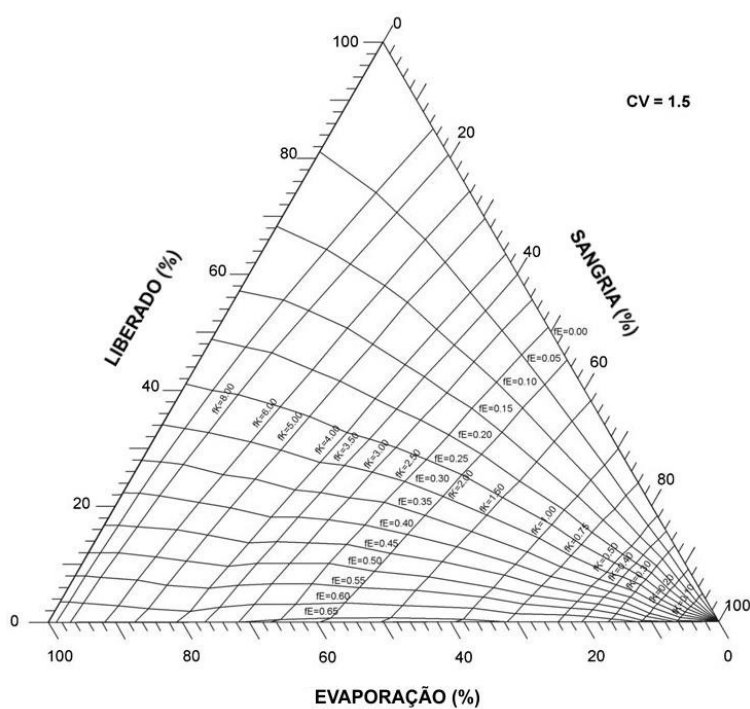
Fonte: Campos (2010).

Anexo A9: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,40.



Fonte: Campos (2010).

Anexo A10: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,50.



Fonte: Campos (2010).

Anexo A11: Diagrama Triangular de Regularização (DTR) para volumes afluentes anuais com coeficiente de variação de 1,60.

