

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES NO RIO TODOS OS SANTOS:
VARIAÇÃO DA VAZÃO $Q_{7,10}$ NO PERÍODO 1945 - 2014**

TEÓFILO OTONI

2017

**CAMILA RIBEIRO DE FREITAS
HISLANE LEMES STOLTZENBURG
LEILIANE LEAL MARCELO PEREIRA**

FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

**ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES NO RIO TODOS OS SANTOS:
VARIAÇÃO DA VAZÃO $Q_{7,10}$ NO PERÍODO 1945 - 2014**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária das Faculdades
Unificadas de Teófilo Otoni, como
requisito parcial para a obtenção do
grau de bacharel em Engenharia
Ambiental e Sanitária.**

Área de concentração: Hidrologia

**Orientador: Prof. Victor Luiz Batista
Aguiar**

TEÓFILO OTONI

2017



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DE SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES NO RIO TODOS OS SANTOS: VARIAÇÃO DA VAZÃO $Q_{7,10}$ NO PERÍODO 1945 - 2014, elaborado pelas alunas, CAMILA RIBEIRO DE FREITAS; HISLANE LEMES STOLTZENBURG e LEILIANE LEAL MARCELO PEREIRA, foram aprovadas por todos os membros da banca examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Ambiental e Sanitária das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Teófilo Otoni, 13 de dezembro de 2017

BANCA EXAMINADORA

Victor Luiz Batista Aguiar
Prof. Orientador

Examinador

Examinador

A Deus, que nos criou e foi criativo nesta tarefa. Seu fôlego de vida em nós nos foi sustento e nos deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que nos deu saúde, sabedoria e fé para superar as barreiras e as dificuldades. Aos nossos pais que sempre nos apoiaram em todos os momentos. A esta Faculdade, coordenação, direção e a equipe docente por nos proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

Ao nosso orientador Victor Luiz Batista Aguiar, pelo apoio e suporte no tempo que lhe coube, pelas suas correções e os incentivos. Agradecemos ao nosso amigo Bruno Balarini pelo incentivo e por não medir esforços em nos ajudar, e demais pessoas que fizeram parte direta ou indiretamente da minha formação, o nosso muito obrigado.

O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional das Águas

CNARH – Cadastro Nacional de Recursos hídricos

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental

HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

InfoHidro – Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos

SEMAD – Secretária de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Ponto específico da coleta de dados da vazão do rio Todos os Santos..... | 38 |
| Figura 2 - Pontos de interesse na análise da vazão do Rio Todos os Santos. | 39 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas para a série histórica (1945 – 2014)..... | 45 |
| Gráfico 2 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1945 a 1954..... | 46 |
| Gráfico 3 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1955 a 1964..... | 46 |
| Gráfico 4 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1965 a 1974..... | 47 |
| Gráfico 5 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1975 a 1984..... | 47 |
| Gráfico 6 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1985 a 1994..... | 48 |
| Gráfico 7 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 1995 a 2004..... | 48 |
| Gráfico 8 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivas no período de 2005 a 2014..... | 49 |
| Gráfico 9 - Variação da Precipitação, no período de 1968 a 2014..... | 50 |
| Gráfico 10 - Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada período..... | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1- Valores críticos da estatística $D_{N\alpha}$ do teste de aderência KS..... | 43 |
| Tabela 2 - Dados de Precipitação da cidade de Teófilo Otoni no período de 1968 a 2014. | 49 |
| Tabela 3 - Dados calculados da vazão $Q_{7,10}$ do Rio todos os Santos no período de 70 anos..... | 51 |

RESUMO

Como a escassez de água vem se tornando um problema amplamente discutido no decorrer dos anos, a determinação da vazão mínima de um corpo d'água contribui para o conhecimento dos recursos hídricos disponíveis, podendo servir de ferramenta para a conservação dos mesmos. O presente trabalho apresenta como objetivo analisar a variação da vazão hídrica na série histórica estudada, comparando com os dados de precipitação em um período semelhante no Rio Todos os Santos, na cidade de Teófilo Otoni-MG. Foi realizado o levantamento de dados da vazão diária pelo HIDROWEB da Agência Nacional das Águas, em seguida foi feito o cálculo da média móvel de sete dias para cada ano da série de dados e a seleção dos menores valores obtidos em cada amostra, posteriormente foi aplicado às distribuições de probabilidade de Weibull e Gumbel, o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e assim foram aplicados os resultados obtidos na equação de Ven Te Chow. Obtendo os resultados verificou-se que, a vazão $Q_{7,10}$ do rio, ao longo do tempo esteve em variação os períodos de 1945 a 1994, após estes, houve uma queda sucessivamente ao longo dos seguintes anos, ocorrendo o mesmo com os resultados de precipitação. Alguns fatores que podem ter levado o rio a reduzir sua vazão foram, aumento da população, destruição de matas ciliares, desenvolvimento urbano, má conservação das nascentes, entre outros. Em tempos de amplas discussões a respeito da crise hídrica, é necessário a proteção e conservação dos mananciais, visando a quantidade e qualidade da água para a população e futuras gerações.

Palavras-chave: Recurso Hídrico. Método $Q_{7,10}$. Gestão Ambiental. Outorga de água. Vazão Mínima.

ABSTRACT

As water scarcity has become a problem widely discussed over the years, the determination of the minimum flow of a water body contributes to the knowledge of available water resources and can serve as a tool for their conservation. The objective of this work is to analyze the water flow variation in the historical series studied, comparing it with precipitation data in a similar period in the Rio Todos os Santos, in the city of Teófilo Otoni-MG. The daily flow data was collected by HIDROWEB from the National Water Agency, then the seven-day moving average was calculated for each year of the data series and the selection of the lowest values obtained in each sample was then applied to the probability distributions of Weibull and Gumbel, the Kolmogorov-Smirnov adhesion test and thus the results obtained in the Vem Te Chow equation were applied. Obtaining the results it was verified that, the flow rate $Q_{7,10}$ of the river, over time had in variation until a certain period, after this, there was a fall successively over the following years, occurring the same with the precipitation results. Some factors that may have led the river to reduce its flow were, population increase, destruction of riparian forests, urban development, poor conservation of springs, among others. In times of broad discussions about the water crisis, it is necessary to protect and conserve the springs, aiming at the quantity and quality of water for the population and future generations.

Keywords: Water Resource. Method $Q_{7.10}$. Environmental management. Water grant. Minimum Flow.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 25 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 27 |
| 2.1 Importância da água como recurso natural | 27 |
| 2.1.1 A importância da gestão dos recursos hídricos | 27 |
| 2.1.2 Gestão da água no Brasil | 28 |
| 2.1.3 Legislação estadual de Minas Gerais referente ao uso da água..... | 29 |
| 2.2 Outorga de direito de uso de recursos hídricos..... | 30 |
| 2.2.1 Aspectos legais da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos | 31 |
| 2.2.2 Outorga de direito de uso dos recursos hídricos, seus fundamentos e atributos | 33 |
| 2.3 Vazões de referência..... | 35 |
| 2.3.1 Vazão $Q_{7,10}$ | 35 |
| 2.3.2 Análise estatística da $Q_{7,10}$ | 36 |
| 3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA | 37 |
| 3.1 Aquisição e processamento de dados de vazão | 37 |
| 3.2 Cálculo da média móvel de sete dias para cada ano da série..... | 37 |
| 3.3 Aquisição e processamento de dados de vazão | 38 |
| 3.4 Cálculo da média móvel de sete dias para cada ano da série..... | 39 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 45 |
| 5 CONCLUSÃO | 53 |
| REFERÊNCIAS..... | 55 |
| APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA E VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS CALCULADAS NOS PERÍODOS ANALISADOS. | 61 |

1 INTRODUÇÃO

Em consequência do crescimento econômico e populacional associado à crise hídrica que o Brasil vem enfrentando nos últimos anos, a disponibilidade de recursos hídricos esta cada vez menor. A Lei Federal nº 9433 (BRASIL, 1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, contempla em sua redação que a água é um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.

A escassez dos recursos hídricos leva a uma série de implicações econômicas e políticas para as nações. Os grandes problemas ligados à água não acontecem por causa da natureza, mas sim pela má utilização com desperdício e imprevidência. Na verdade suas principais soluções deveriam ser em preservar seus aspectos naturais como a proteção das florestas nativas, margens dos rios, nascentes e reservatórios para sua melhor conservação.

O conhecimento da vazão ecológica de um manancial é necessário para se determinar a disponibilidade hídrica de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais. Desse modo, a determinação da vazão ecológica fornecerá informações como parâmetro orientador de outorga de uso de água, pois o conhecimento da quantidade mínima de água necessária à conservação do ecossistema fluvial possibilita o uso mais racional dos recursos hídricos.

No Brasil, para o aproveitamento dos recursos hídricos, são estabelecidos os valores máximos de retirada de volumes de água de um corpo hídrico, outorgados a usuários a partir da disponibilidade hídrica real. A outorga é dada a usuários após definir-se a vazão ecológica. Contudo, cada Estado da federação brasileira estabelece critérios de outorga e direito de uso da água, ou seja, possui um critério para a definição da vazão ecológica. No Brasil, os critérios para definição da vazão ecológica basicamente são fundamentados em dados de séries históricas de vazão (VESTENA et al., 2012).

O método do $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de dez anos) é um parâmetro hidrológico com aplicação nos estudos de planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos. Com o entendimento da quantidade de água comprometida pelas outorgas já autorizadas é essencial para que o poder público possa efetuar a gestão entre a disponibilidade e a demanda dos

recursos hídricos. A estimativa da $Q_{7,10}$ de um manancial, serve como ferramenta de controle dessas outorgas, de forma que através dessa estimativa é possível determinar o limite permitido de outorgas.

O Rio Todos os Santos é pertencente à bacia do Rio Mucuri e se origina no município de Poté- MG. Percorre mais de 172 Km, cortando os municípios de Poté, Teófilo Otoni e Carlos Chagas, onde deságua no Rio Mucuri. Na cidade de Teófilo Otoni o rio é o principal manancial do sistema de abastecimento (MORAIS et al., 2011). A água do Rio Todos os Santos é captada em diversos pontos do seu curso hídrico e na maioria das vezes serve para irrigação nas demandas da agropecuária, tornando assim necessário assegurar o controle quantitativo e qualitativo do uso da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos de acordo com a Lei Federal nº9433 (BRASIL, 1997).

A finalidade desse estudo foi analisar a variação da vazão $Q_{7,10}$ do Rio Todos os Santos através de análise de séries históricas de vazões, em períodos distintos entre 1945 e 2014 e comparar com os dados de precipitação em um período semelhante.

Nesta monografia, a pesquisa foi classificada quanto à natureza dos dados como quantitativa, aos fins como descritiva e aos meios como pesquisa documental. O trabalho foi iniciado com o levantamento dos dados com base no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional das Águas em que foi coletada a vazão diária da estação fluviométrica código 55610000 no Rio Todos os Santos, localizada em Francisco Sá, após a cidade de Teófilo Otoni-MG. A determinação da vazão mínima anual foi considerada, uma média móvel de sete dias, para cada período descrito, e a partir destes, o valor mínimo encontrado foi considerado para o cálculo da $Q_{7,10}$ com os dados de vazão mínima organizados, para cada ano da série. E foram aplicadas as distribuições de probabilidade de Weibull e Gumbel, testes de aderência dos resultados obtidos de Kolmogorov-Smirnov (KS), assim, podendo utilizar os resultados obtidos na equação de Ven Te Chow.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da água como recurso natural

Segundo Oliveira (2013), a água é um recurso natural renovável, de suma importância para a vida, necessário para as atividades humanas, caracterizando-se como um fator principal e limitante para o desenvolvimento da sociedade.

Os ambientes aquáticos vêm sendo utilizados em grandes escalas e com distintas finalidades, como abastecimento de água, geração de energia entre outros. O intenso uso da água tem gerado preocupações devido às ações irregulares do ser humano, que resulta em diversos impactos ao meio ambiente e aos recursos hídricos (SILVA, 2014).

Almeida *et al.* (2014) ressaltam que a crescente demanda de água aumenta a necessidade de estudos investigativos respeito da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas. Devido ao crescimento da população é de fundamental importância a aplicação de ferramentas de gestão de recursos hídricos.

Barros e Amin (2008) ressaltam que para a promoção da gestão de recursos hídricos é preciso compreender que a água é um bem comum para todos, que possa ter acesso ao recurso.

De acordo com Oliveira (2013, p.14):

Após a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n.9433/1997), foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com a finalidade de conservar e recuperar os recursos hídricos degradados, bem como mitigar os impactos danosos que possam alterar a qualidade dos recursos hídricos.

2.1.1 A Importância da gestão dos recursos hídricos

A Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 define bacia hidrográfica como unidade de estudo da interação entre a rede de drenagem e as populações locais, o que envolve o uso desses recursos e os impactos das atividades humanas para os usos múltiplos atuais e futuros da água (BRASIL, 1997).

A importância na gestão da água está diretamente ligada com a questão da sustentabilidade ambiental, sendo uma função do desenvolvimento dos diversos

componentes políticos, econômicos e sociais atuantes dentro da bacia hidrográfica (OLIVEIRA; FIOREZE, 2010).

A constatação de excesso de uso dos recursos naturais pode levar a humanidade a reconhecer sua importância para a economia e a necessidade de mudança de comportamento dos agentes econômicos, que passem a incorporar o meio ambiente em suas análises, com uma nova gestão de forma economicamente destes recursos (BARROS; AMIN, 2008).

Percebe que em relação aos recursos hídricos, com o atual desenvolvimento da sociedade moderna, é um aumento na quantidade de atividades que demandam o uso da água e o aumento de conflito entre oferta e demanda (SILVA, 2010).

De acordo com Barros e Amin (2008), para que os recursos hídricos sejam administrados é preciso estabelecer um modelo de gestão dos recursos hídricos que aprecie a água como um bem econômico e criar mecanismos que promovam a cobrança pelo uso do recurso.

Determinar uma gestão dos recursos hídricos que promova não só a administração, conservação e preservação da água e que lhe permita determinar valor econômico, passa a ser de fundamental importância para que as transações de mercado ocorram sem prejuízo para os consumidores internos, externos e sem desrespeitar a soberania nacional sobre a posse dos recursos (BARROS e AMIN, 2008, p.101).

A criação da Lei 9.433/97, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e desenvolve o Sistema Nacional de Recursos Hídricos, foi de suma importância para a gestão dos recursos hídricos no Brasil (FARIAS, 2006).

2.1.2 Gestão da água no Brasil

De acordo com a Lei Federal nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos fundamentos, que a gestão dos recursos hídricos deve sempre garantir o uso múltiplo das águas e com objetivo de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997).

Na Lei nº 9.433, foi criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com finalidade de coordenar a gestão integrada das águas e de planejar,

regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

O Brasil é o possuidor de aproximadamente 12% das águas doces do planeta, a maior parte 70% dessa água está na bacia Amazônica. Os 30% restantes do volume de água doce disponível, têm que se abastecer 93% da população do Brasil, incluindo a agricultura irrigada. Esta atividade econômica consome quase que a metade da água em cerca de 5% da área cultivada; entretanto, o consumo humano urbano e rural corresponde a 27% do uso total (ANA, 2015).

A quantidade de água no Brasil é consideravelmente alta, mesmo com as distribuições irregulares pelo território brasileiro, sendo assim, para manter seus padrões de qualidade e quantidade adequadas para as necessidades da população e as gerações futuras são necessários estudos que avaliem os estados das reservas hídricas (SILVA, 2014).

Com a desigualdade brasileira e a expansão desordenada dos centros urbanos, o recurso hídrico torna-se escasso devido o lançamento de esgotos em rios, o desmatamento e a falta de gestão inadequada dos ecossistemas aquáticos (BARROS; AMIN, 2008).

Nesse sentido, é necessário estabelecer uma nova forma de pensar e agir, inclusive mudando hábitos, usos e costumes, alicerçados no uso sustentável da água, onde se promova a proteção dos mananciais que ainda estão conservados e a recuperação daqueles que já estão prejudicados (BARROS; AMIN, 2008).

2.1.3 Legislação estadual de Minas Gerais referente ao uso da água

A gestão das águas em Minas Gerais é regida pela Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei 13.199/199). Essa Política visa a assegurar o controle, pelos usuários atuais e futuros, do uso da água e de sua utilização em quantidade, qualidade e regime satisfatórios. Para apoiar e direcionar o trabalho do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos existe instrumentos e ferramentas de gestão. Entre elas estão o Plano Estadual de Recursos Hídricos; os Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas; o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos (InfoHidro); o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo seus usos preponderantes; o cadastro de usos e usuários de recursos hídricos, o monitoramento da qualidade da água, a outorga dos direitos de

uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos, entre outros (IGAM, 2017).

O IGAM é o órgão gestor de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais e integra o Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e está vinculado à SEMAD (Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável), que exerce a função de órgão executivo e de assessoramento técnico à Câmara Especializada de Recursos Hídricos e ao Plenário do COPAM (Dec. 39.490/98, Art. 26 e 27). Foi criado em 1997, pela Lei Estadual Nº 12.584, com a responsabilidade de propor e executar as diretrizes relativas à gestão das águas no estado, viabilizar a realização de estudos que possibilitem a elaboração e a implementação de instrumentos de gestão e da política de águas e promover as condições necessárias à proteção e conservação das águas visando o uso racional e múltiplo dos recursos hídricos.

Para o desempenho de suas atribuições o IGAM publica Portarias, contendo instruções sobre procedimentos técnicos e administrativos, que dão publicidade aos seus critérios para dirimir questões relacionadas à gestão das águas, em especial, à concessão de outorga de direito de uso de recursos hídricos.

Em 06 de julho de 2010, foi publicada a Portaria IGAM nº49, de 01 de julho de 2010, que estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado (Minas Gerais, 2010).

2.2 Outorga de direito de uso dos recursos hídricos

A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo, mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado o direito de uso de recurso hídrico e suas implicações na atividade agropecuária por prazo determinado, não excedente a trinta e cinco anos, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato (SIMPLÍCIO; FARIA, 2016).

A outorga de direito de uso de recursos hídricos foi estabelecida como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos pelo art. 5º da Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997. A mesma lei, nos seus artigos 11 a 18, regulamentou uma série de aspectos relacionados à outorga.

A outorga tem a finalidade de garantir a disponibilidade hídrica para as demandas existentes e as demandadas futuras, viabilizando o desenvolvimento

econômico sustentável, o abastecimento público e a preservação do meio ambiente (SIMPLÍCIO; FARIA, 2016).

A análise do pedido de outorga de direito de uso de recursos hídricos, depende de informações contidas nos planos de recursos hídricos. Exemplo disso é a previsão das demandas hídricas nas bacias hidrográficas. A distribuição espacial da demanda de água por município foi prevista no Plano Estadual de Recursos Hídricos (IGAM, 2011).

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos poderá ser suspensa, em caso de descumprimento, pelo outorgado, dos termos da outorga. E também tem hipóteses de suspensão como: a não utilização da água por três anos consecutivos; a necessidade premente de água para atender as situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; a necessidade de se prevenir ou fazer reverter grave degradação ambiental; a necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas e as necessidades de se manterem as características de navegabilidade do corpo de água (SIMPLÍCIO; FARIA, 2016).

De acordo com o Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2010), os usos de recursos hídricos que alteram a quantidade de água existente em um corpo hídrico são as captações, as derivações e os desvios. Alguns usos somente poderão ser outorgados se houver disponibilidade hídrica, considerados os usos já outorgados a montante, a jusante de determinada seção do curso de água e avalia-se o balanço hídrico na seção considerada, tendo-se por base a vazão de Outorga de Direito de uso dos Recursos Hídricos adotada pelo Estado, verificando as finalidades a que se destinam as águas captadas, derivadas ou desviadas, de acordo com procedimentos e critérios definidos para cada finalidade de uso.

2.2.1 Aspectos legais da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos

Conforme estabelecido na Lei nº 9.433/1997, a outorga visa assegurar o controle quali-quantitativo dos usos da água, razão pela qual são passíveis de outorga tanto as captações quanto os lançamentos de efluentes. Assim, a Lei denota claramente a inter-relação entre esses dois tipos de interferências. Tem-se, no entanto, a necessidade de comparar os usos em uma base única e integrada, pois

as captações de água são usos consuntivos expressos em vazão demandada, enquanto os lançamentos são considerados usos não consuntivos representados pelas cargas poluentes (SANTILLI, 2001).

A mesma lei, nos seus Artigos 11 a 18, regulamentou uma série de aspectos relacionados à outorga (MINAS GERAIS, 2010):

Art. 11. O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Art. 12. Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos

Art. 13. Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso.

Art. 14. A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.

Art. 15. A outorga de direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensão parcial ou totalmente, em definitivo ou por prazo determinado, nas seguintes circunstâncias.

Art. 16. Toda outorga de direitos de uso de recursos hídricos far-se-á por prazo não excedente a trinta e cinco anos, renovável.

Art. 17. (VETADO)

Art. 18. A outorga não implica a alienação parcial das águas, que são inalienáveis, mas o simples direito de seu uso.

A Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que dispõe sobre a criação da ANA e dá outras providências, complementou a regulamentação da outorga, estabelecendo a possibilidade da emissão das outorgas preventivas, definindo limites para os prazos de vigências das outorgas preventivas e de direito de uso e ainda dispondendo sobre a declaração de reserva de disponibilidade hídrica (SANTILLI, 2001).

De acordo com a Resolução CNRH nº 16/2001, para a emissão das outorgas preventivas e de direito de uso deverão ser observadas as prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos, a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, a preservação dos usos múltiplos previstos, a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso, e demais restrições impostas pela legislação (MINAS GERAIS, 2010).

É expressa na Resolução ANA nº 833/2011 que o interessado deve cumprir todas as condições estabelecidas no ato de outorga e responderá civil, penal e administrativamente por danos causados à vida, à saúde, ao meio ambiente, a terceiros e pelo uso inadequado que vier a fazer da outorga ou em decorrência de

condições inadequadas de manutenção, operação ou funcionamento das obras e interferências (BRASIL, 2013).

2.2.2 Fundamentos e atributos da outorga de direito de uso dos recursos hídricos

A disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser avaliada pela análise das vazões mínimas, caracterizadas pela sua magnitude, duração e frequência de ocorrência, refletindo o potencial natural disponível para abastecimento humano, industrial, navegação, geração de energia e lançamento de efluentes (RODRIGUES, 2004).

A alocação deve considerar os aspectos quantitativos, qualitativos, o uso racional e a distribuição temporal e espacial da água. Para isso, devem ser avaliadas questões técnicas relacionadas à hidrologia, hidráulica e qualidade da água, questões legais tratando de competências, direitos e responsabilidades dos usuários, bem como questões políticas referentes a acordos entre setores usuários e governos para o desenvolvimento sustentável da bacia e a articulação institucional (SILVA; MONTEIRO, 2004).

A Lei no 13.199/99 estabelece, em seu Art. 18, que independem de outorga pelo Poder Público, conforme definido em regulamento, o uso de recursos hídricos para satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural, bem como as acumulações, as derivações, as captações e os lançamentos considerados insignificantes (MINAS GERAIS, 2010).

Com as alterações da legislação ambiental e de recursos hídricos, é premente a atualização dos enquadramentos já realizados, segundo os procedimentos estabelecidos pelas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357/2005 e da Resolução CNRH nº 91/2008 (BRASIL, 2008).

Com o objetivo de orientar o procedimento de elaboração do enquadramento nas bacias hidrográficas, a Resolução do CNRH nº 91/2008 definiu o seguinte conteúdo mínimo, de modo a subsidiar as propostas de enquadramento, a citar: (BRASIL, 2008).

I. Diagnóstico: Caracterização geral da bacia hidrográfica; assim como do uso e ocupação do solo; identificação e localização das interferências que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo d'água; disponibilidade, demanda e condições de qualidade das águas superficiais e subterrâneas, entre outros;

II. Prognóstico: Deverão ser avaliados os impactos sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos advindos da implementação dos planos e programas de desenvolvimento previstos, com horizontes de curto, médio e longo prazo, entre outros;

III. Propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento: deverão ser elaboradas com vistas ao alcance ou manutenção das classes de qualidade de água pretendidas em conformidade com os cenários de curto, médio e longo prazos, elaboradas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade de água e das vazões de referência; e

IV. Programa para efetivação: deve conter propostas de ações de gestão e seus prazos de execução, os planos de investimentos para o alcance das metas intermediárias e final de qualidade da água etc.

Os usos de recursos hídricos que alteram a quantidade de água existente em um corpo hídrico são as captações, derivações e desvios. Estes usos poderão ser realizados dependendo da disponibilidade hídrica existente e considerados os usos já outorgados à montante e a jusante de determinada seção do curso de água (MINAS GERAIS, 2010).

Conforme está disposto na Lei Federal nº 9.433/1997, dependem de outorga: (BRASIL, 1997).

- A derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- A extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- Uso de recursos hídricos com fins de aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

De acordo com o §1º do Art. 12 da Lei 9433/97, regulamentado pelo Art. 6º da Resolução 707/2004 da ANA, não são objeto de outorga de direito de uso de recursos hídricos, mas obrigatoriamente de cadastro no CNARH (BRASIL, 1997).

- I - serviços de limpeza e conservação de margens, incluindo dragagem, desde que não alterem o regime, a quantidade ou qualidade da água existente no corpo de água;
- II - obras de travessia de corpos de água que não interferem na quantidade, qualidade ou regime das águas, cujo cadastramento deve ser acompanhado de atestado da Capitania dos Portos quanto aos aspectos de compatibilidade com a navegação; e
- III - usos com vazões de captação máximas instantâneas inferiores a 1,0 L/s, quando não houver deliberação diferente por parte do CNRH ou um critério diferente expresso no plano da bacia hidrográfica em questão.

2.3 Vazões de referência

De acordo com o autor Câmara (2003), a vazão de referência é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em um curso d'água e é, também, um dos principais entraves à implementação de um sistema de outorga.

Segundo Oliveira (2013), o estudo de vazões é importante para o entendimento do ciclo da água em bacias hidrográficas, visto que representa as alterações climáticas e antrópicas na bacia, como precipitação, mudanças do uso e ocupação do solo.

De acordo com Oliveira (2013), a vazão é a principal variável utilizada na gestão e no planejamento de recursos hídricos, bem como em projetos de obras hidráulicas e abastecimento.

Segundo Longhi e Formiga (2011) a vazão ecológica é sugerida para cada mês, pois é igual á vazão que é excedida em 90% do tempo, com restrição para meses de vazões mais elevadas, a vazão ecológica corresponde á vazão que é excedida em 50% do tempo.

Os índices de vazões mínimas são empregados como referência para a vazão outorgada, pois é visto uma porcentagem desses índices, de forma que não se compromete o escoamento no curso d' água (OLIVEIRA, 2013).

2.3.1 Vazão $Q_{7,10}$

A vazão $Q_{7,10}$ é um parâmetro hidrológico aplicado em estudos de planejamento e gestão de aplicação dos recursos hídricos, portanto fornece uma estimativa estatística da disponibilidade hídrica dos escoamentos naturais da água (ALMEIDA et al., 2014).

A $Q_{7,10}$ apresentam uma série de usos, como regularidade da qualidade da água contra descargas de águas residuais, situação crítica da qualidade da água e quantidade mínima de vazão necessária para espécies aquáticas, entre outros (OLIVEIRA, 2013).

A previsão de vazão em um sistema hídrico é uma das técnicas utilizadas para minimizar o impacto das incertezas do clima sobre o gerenciamento dos recursos hídricos podendo se considerá-la um dos principais desafios relacionados ao conhecimento integrado da climatologia e hidrologia (SOUSA et al., 2010).

As vazões mínimas são conhecidas como vazão de estiagem, caracterizadas pelos menores valores de uma série de vazões, pela magnitude, a duração e a regularidade, tem destino para estudos de disponibilidade de água, autorização de outorgas e projetos de irrigação (OLIVEIRA, 2013).

A determinação da vazão $Q_{7,10}$ é realizada em duas etapas, onde primeiro calcula-se a mínima vazão de sete dias de duração (Q_7) de todos os anos do registro histórico analisado e a segunda etapa consiste na aplicação de seriação estatística de vazões mínimas para a organização das vazões Q_7 calculadas, considerando um período de retorno de dez anos (LONGHI; FORMIGA, 2011).

Uma preocupação com a diretriz do $Q_{7,10}$ é o risco da água permanecer nos reservatórios tendo somente vazões mínimas sendo liberadas, particularmente durante os períodos de vazões baixas, devidas a períodos de secas severas ou mesmo das variações sazonais das precipitações (LONGHI; FORMIGA, 2011, p.36).

De acordo com a Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1.548, de 29 de março de 2012, fica definido para o estado de Minas Gerais que a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial a $Q_{7,10}$ e estipula em 50% da $Q_{7,10}$ o limite máximo de captações e diluições a serem outorgados, em cada seção considerada, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos de 50% da $Q_{7,10}$.

2.3.2 Análise estatística da $Q_{7,10}$

A aleatoriedade dos processos hidrológicos dificulta sua previsão. No entanto, através de tratamentos estatísticos, dentro de uma margem de erro, pode-se estabelecer o modelo que melhor representa a variável em estudo. Almeida *et al.* (2014) asseguram que dispondo-se de séries históricas de vazão para os cursos d'água, visando previsões futuras, faz-se necessário seu adequado tratamento por meio de análises probabilísticas ou estocásticas.

Para Lanna (2004), os dados hidrológicos devem ser reunidos sem uma amostra e posteriormente submetidos a uma análise estatística, visando à definição de probabilidades. Essa análise deve ajustar melhor possível à amostra, a fim de baseado em seus parâmetros, criar modelos teóricos de probabilidade.

Segundo Belico *et al.* (2013), no Brasil os critérios para determinação da vazão residual mínima a ser mantida em cursos d'água, que são baseados em hidrologia estatística, não levando em avaliação as reais necessidades do ecossistema.

3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa

A pesquisa é classificada quanto à natureza dos dados como quantitativa, pois através do levantamento de dados, foram aplicadas técnicas estatísticas para estimar a vazão do rio. Segundo Fontelles *et al.* (2009), a pesquisa quantitativa é aquela que trabalha com variáveis expressas sob a forma de dados numéricos e emprega rígidos recursos e técnicas estatísticas para classificá-los e analisá-los, tais como a porcentagem, a média, o desvio padrão, o coeficiente de correlação e as regressões, entre outros.

Quanto aos fins, a pesquisa classifica-se como descritiva, que tem por finalidade descrever as características de determinados fenômenos ou o estabelecimento de relações entre variáveis.

Quanto aos meios, a presente pesquisa é classificada como documental, que se assemelha com a bibliográfica. A diferença entre os dois tipos está na natureza das fontes: enquanto a bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições de diversos autores, a documental vale-se de materiais que não receberam, ainda, um tratamento analítico, podendo ser reelaboradas de acordo com os objetos da pesquisa (GIL, 2008).

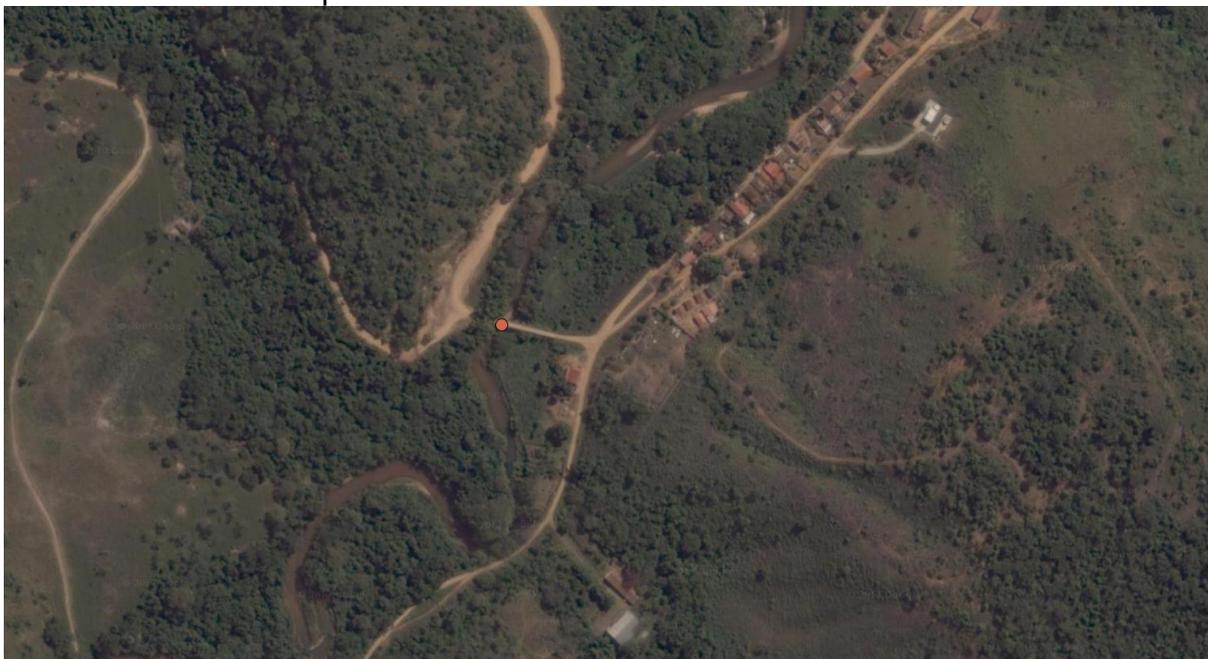
3.2 Caracterização da área

O Rio Todos os Santos tem sua origem no Município de Poté, numa localidade denominada Baixinha de Todos os Santos, onde se encontram mais de 40 nascentes que o formam, e é pertencente a Bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos. A bacia está localizada na região Nordeste do estado de Minas Gerais e pertence à bacia do Rio Mucuri. A bacia em questão se localiza entre as coordenadas 17°36' a 18°03' de latitude sul, e entre 40°51' a 41°45' de longitude oeste. O Rio Todos os Santos, a partir desse ponto, percorre mais de 172 km, cortando os municípios de Poté, Teófilo Otoni e Carlos Chagas até sua foz no Rio Mucuri pela margem direita, em Presidente Pena, distrito de Carlos Chagas (MORAIS *et al.*, 2011).

3.3 Aquisição e processamento de dados de vazão

Com base no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional das Águas, foram coletados dados de vazão diária, de uma estação fluviométrica no rio Todos os Santos, localizada em Francisco Sá, de código 55610000, nas coordenadas latitude 17°44'19,0" Sul e longitude 41°07'19,9" Oeste, cuja localização está expressa na Figura 1.

FIGURA 1 - Ponto específico da coleta de dados da vazão do Rio Todos os Santos



Fonte: Google Maps.

A utilização do sistema é fundamental, uma vez que disponibiliza de forma gratuita o banco de dados completo acerca dos recursos hídricos nacionais servindo como ferramenta da gestão hídrica, contém séries de informações para produzir estudos, definir políticas públicas e avaliar a disponibilidade hídrica.

Após a aquisição dos dados no portal HIDROWEB, as séries de vazão foram organizadas e agrupadas possibilitando a aplicação dos conceitos estatísticos posteriormente expressos.

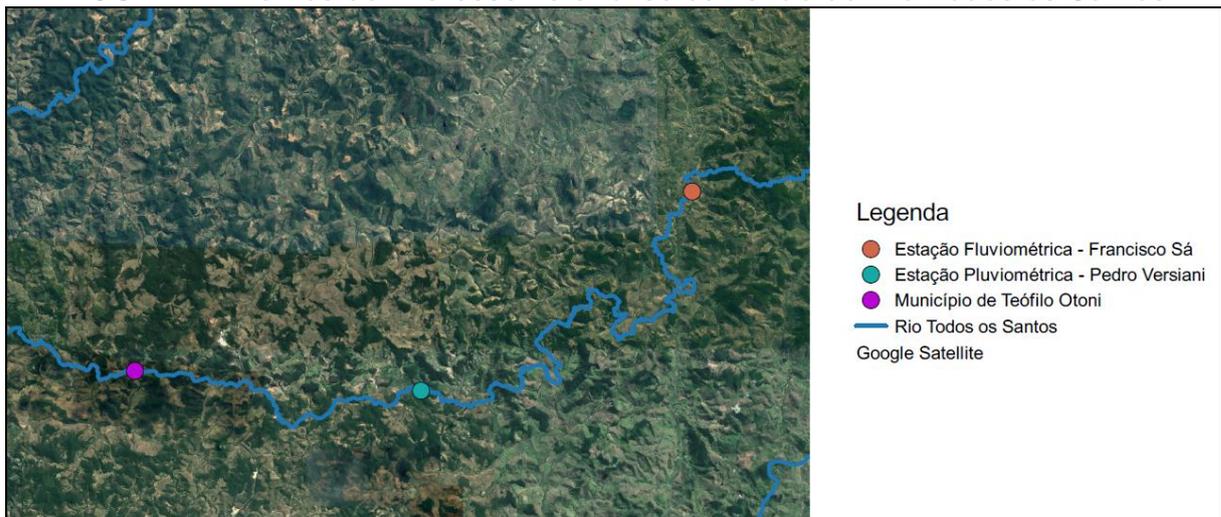
No processo de coleta de dados, torna-se necessário o preenchimento de possíveis falhas encontradas na série histórica. Para isso, foi calculado a média

aritmética do período anterior ao dia com ausência de dados, utilizando os últimos 5 anos.

Para comparação de dados com a precipitação ocorrente em parte do período, foram utilizados dados de precipitação, fornecidos pela estação pluviométrica código 1741007, localizada no distrito de Pedro Versiani, há uma distância aproximada de 29 km da estação fluviométrica escolhida. A comparação é importante, uma vez que permite verificar a influência da vazão em virtude dos períodos de alta ou baixa precipitação na bacia. Em decorrência da ausência de dados anterior ao ano de 1968, a análise realizada apenas nos anos posteriores à essa data.

A Figura 2 ilustra a distância aproximada entre os dois pontos de coleta de dados e o município de Teófilo Otoni.

FIGURA 2 - Pontos de interesse na análise da vazão do Rio Todos os Santos



Fonte: Google Maps.

3.4 Cálculo da média móvel de sete dias para cada ano da série

Para a estimativa da vazão mínima anual de sete dias consecutivos (Q_7), foi feito o cálculo da média móvel de sete dias para cada ano da série de dados e feitos a seleção dos menores valores obtidos em cada amostra. Após a obtenção da série anual de vazões mínimas, é necessário o ajuste da mesma a um modelo de distribuição de probabilidades que represente o comportamento das séries, permitindo sua associação a um período de retorno de 10 anos.

Posteriormente, foi realizada a aplicação de distribuições de probabilidade e de testes de aderência dos resultados obtidos, assim podendo aplicar os resultados obtidos na equação de Ven Te Chow, representada pela Equação 1.

$$X_{TR} = \bar{X} + K \cdot S \quad (1)$$

Onde X_{TR} representa a magnitude da variável vazão atingida ou superada pelo menos uma vez em T_R anos, \bar{X} indica o valor médio da variável considerada, S diz respeito ao desvio-padrão amostral e K , o fator de frequência em função da distribuição de probabilidades, da frequência e do período de retorno considerado.

Os modelos de distribuição de probabilidades Weibull e Gumbel para valores mínimos foram adotados para a obtenção dos índices previamente citados, conforme metodologia proposta por Almeida (2014) e Oliveira (2013).

A distribuição de Weibull é representada pela Equação 2.

$$P = \frac{n}{m+1} \quad (2)$$

Onde P indica a probabilidade de ocorrência de uma vazão igual ou superior àquela considerada, em um ano qualquer, a variável “ n ” representa o número de anos com dados disponibilizados para a análise, “ m ” indica a posição da vazão, após ordenamento crescente de valores, com $m = 1$ para a menor vazão e $m = N$ para a maior vazão (ALMEIDA, 2014).

Oliveira (2013) explica que a distribuição de Gumbel para valores mínimos é representada pela função densidade de probabilidades acumuladas dada pela Equação 3.

$$FDP = \alpha e^{\gamma - e^{-\gamma}} \quad (3)$$

Onde FDP indica a função densidade de probabilidades, α representa um parâmetro de escala estimado e γ representa a variável reduzida da distribuição de Gumbel dada pela Equação 4.

$$\gamma = \alpha(x - \mu) \quad (4)$$

Em que α e μ são parâmetros característicos da reta de Gumbel, com α representando o parâmetro de escala e μ o parâmetro de posição e x a variável aleatória de interesse, neste trabalho representando a vazão.

Os parâmetros α e μ são obtidos pelas Expressões 5 e 6.

$$\alpha = \frac{1,286}{S} \quad (5)$$

$$\mu = \bar{X} + 0,45 \cdot S \quad (6)$$

A função cumulativa de probabilidade (FCP) é dada pela probabilidade de não excedência, apresentada na Equação 7.

$$P(x \leq x_i) = 1 - e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}} \quad (7)$$

Onde $P(x \leq x_i)$ indica a probabilidade de não excedência dos eventos analisados.

Para a determinação da máxima diferença entre as frequências, foi determinado o módulo da diferença entre frequências observada, encontrada pela distribuição de Weibull e a frequência esperada, encontrada pela distribuição de Gumbel.

Para conferir a correta aplicação dos modelos de distribuição de probabilidades, foi utilizado o testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov, para o índice $Q_{7,10}$.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) é um teste para atestar se é paramétrico, pois a verificação estatística do teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas (ALMEIDA *et al.*, 2014).

O teste Kolmogorov-Smirnov é feita a comparação entre o módulo do máximo desvio que resulta da diferença entre os valores de frequências observadas e as probabilidades teóricas estimadas, sendo com valor tabelado que analisa o tamanho da amostra e o nível de significância (ALMEIDA *et al.*, 2014).

Para a validação dos resultados obtidos deve ser implementado o teste Kolmogorov-Smirnov (KS) onde, inicialmente, são classificados os elementos da amostra em ordem crescente, de modo a constituir a sequência, na qual $1 \leq m \leq n$, que denota a ordem de classificação da amostra. Para cada elemento x_m , a distribuição empírica $F(x_m)$ é calculada pela proporção de valores amostrais que não excedem $x(m)$, representada pela Equação 8.

$$FN(x_m) = \frac{m}{n} \quad (8)$$

A estatística do teste KS é dada pela Equação 9.

$$DN = \sup_{-\infty < x < \infty} |FN(x) - FX(x)| \quad (9)$$

É corresponde à maior diferença entre as probabilidades empíricas e teóricas.

Se H_0 é verdadeira e quando $N \rightarrow \infty$, a estatística D_N ira tender a zero. Por outro lado, se N é um valor finito, a estatística D_N devera ser da ordem de grandeza de $1/\sqrt{N}$ e, portanto, a quantidade $\sqrt{N}D_N$ e não ira tender a zero, mesmo para valores muito elevados de N . A distribuição de limite da variável aleatória $\sqrt{N}D_N$, a qual, sob a premissa de veracidade da hipótese H_0 , é expressa pela Equação 10.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(\sqrt{N}D_N \leq Z) = \frac{\sqrt{2\pi}}{Z} \sum_{k=1}^{\infty} \exp\left[-\frac{(2k-1)^2\pi^2}{8z^2}\right] \quad (10)$$

Para amostras de tamanho inferior a 40, os valores críticos de D_N devem ser obtidos de acordo com a Tabela 1:

TABELA 1- Valores críticos da estatística $D_{N,\alpha}$ do teste de aderência KS

| N | $D_{N, 0,10}$ | $D_{N, 0,05}$ | $D_{N, 0,02}$ | $D_{N, 0,01}$ | N | $D_{N, 0,10}$ | $D_{N, 0,05}$ | $D_{N, 0,02}$ | $D_{N, 0,01}$ |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 10 | 0,369 | 0,409 | 0,457 | 0,489 | 26 | 0,233 | 0,259 | 0,290 | 0,311 |
| 11 | 0,352 | 0,391 | 0,437 | 0,468 | 27 | 0,229 | 0,254 | 0,284 | 0,305 |
| 12 | 0,338 | 0,375 | 0,419 | 0,449 | 28 | 0,225 | 0,250 | 0,279 | 0,300 |
| 13 | 0,325 | 0,361 | 0,404 | 0,432 | 29 | 0,221 | 0,246 | 0,275 | 0,295 |
| 14 | 0,314 | 0,349 | 0,390 | 0,418 | 30 | 0,218 | 0,242 | 0,270 | 0,290 |
| 15 | 0,304 | 0,338 | 0,377 | 0,404 | 31 | 0,214 | 0,238 | 0,266 | 0,285 |
| 16 | 0,295 | 0,327 | 0,366 | 0,392 | 32 | 0,211 | 0,234 | 0,262 | 0,281 |
| 17 | 0,286 | 0,318 | 0,355 | 0,381 | 33 | 0,208 | 0,231 | 0,258 | 0,277 |
| 18 | 0,279 | 0,309 | 0,346 | 0,371 | 34 | 0,205 | 0,227 | 0,254 | 0,273 |
| 19 | 0,271 | 0,301 | 0,337 | 0,361 | 35 | 0,202 | 0,224 | 0,251 | 0,269 |
| 20 | 0,265 | 0,294 | 0,329 | 0,352 | 36 | 0,199 | 0,221 | 0,247 | 0,265 |
| 21 | 0,259 | 0,287 | 0,321 | 0,344 | 37 | 0,196 | 0,218 | 0,244 | 0,262 |
| 22 | 0,253 | 0,281 | 0,314 | 0,337 | 38 | 0,194 | 0,215 | 0,241 | 0,258 |
| 23 | 0,247 | 0,275 | 0,307 | 0,330 | 39 | 0,191 | 0,231 | 0,238 | 0,255 |
| 24 | 0,242 | 0,269 | 0,301 | 0,323 | 40 | 0,189 | 0,210 | 0,235 | 0,252 |
| 25 | 0,238 | 0,264 | 0,295 | 0,317 | >40 | $1,22/\sqrt{N}$ | $1,36/\sqrt{N}$ | $1,52/\sqrt{N}$ | $1,63/\sqrt{N}$ |

Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

Se o resultado da frequência máxima, obtido através do teste, for menor que o valor obtido na tabela de KS, a hipótese é verdadeira. Com a hipótese sendo verdadeira, encontra-se a $Q_{7,10}$ através da equação de Ven Te Chow.

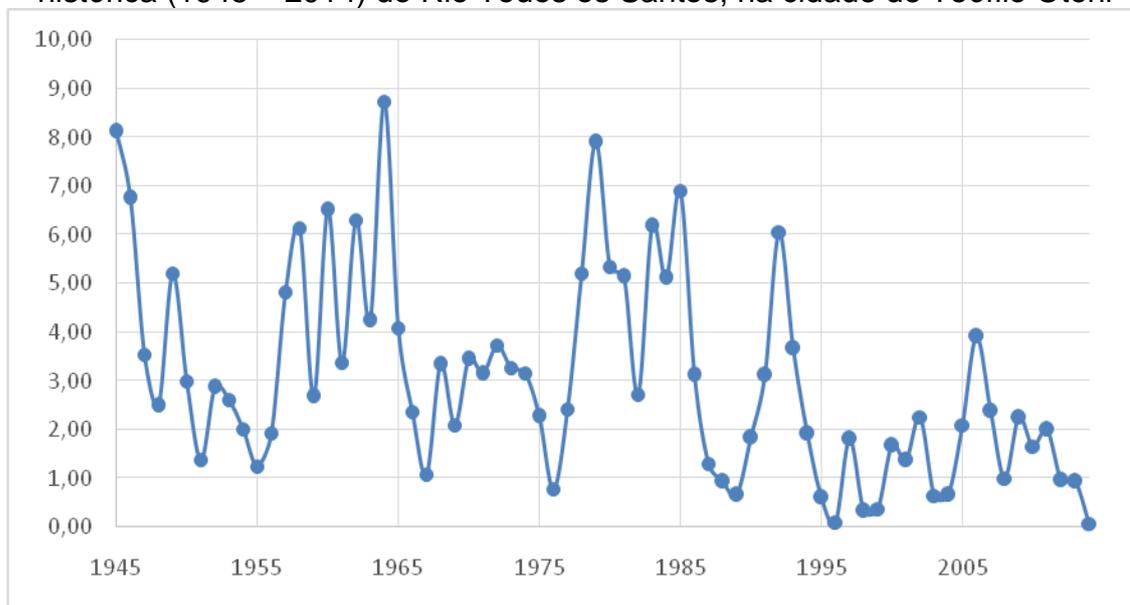
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a metodologia apresentada, foi realizada a obtenção da vazão mínima de sete dias consecutivos em cada ano da série histórica, com a separação por cada década, como descritos previamente, com o intuito de organizar e analisar a variação da vazão $Q_{7,10}$, em cada um dos períodos.

Os dados organizados de vazão para cada década, bem como a análise de frequências referente ao período estudado, diferença entre frequência observada (de acordo com a distribuição de Weibull), a frequência calculada, pela distribuição de Gumbel, para a aplicação do teste estatístico de Kolmogorov Smirnov, estão apresentadas no Apêndice A.

O gráfico 1 apresenta a variação da vazão mínima de sete dias consecutivos para todo o período da série analisada.

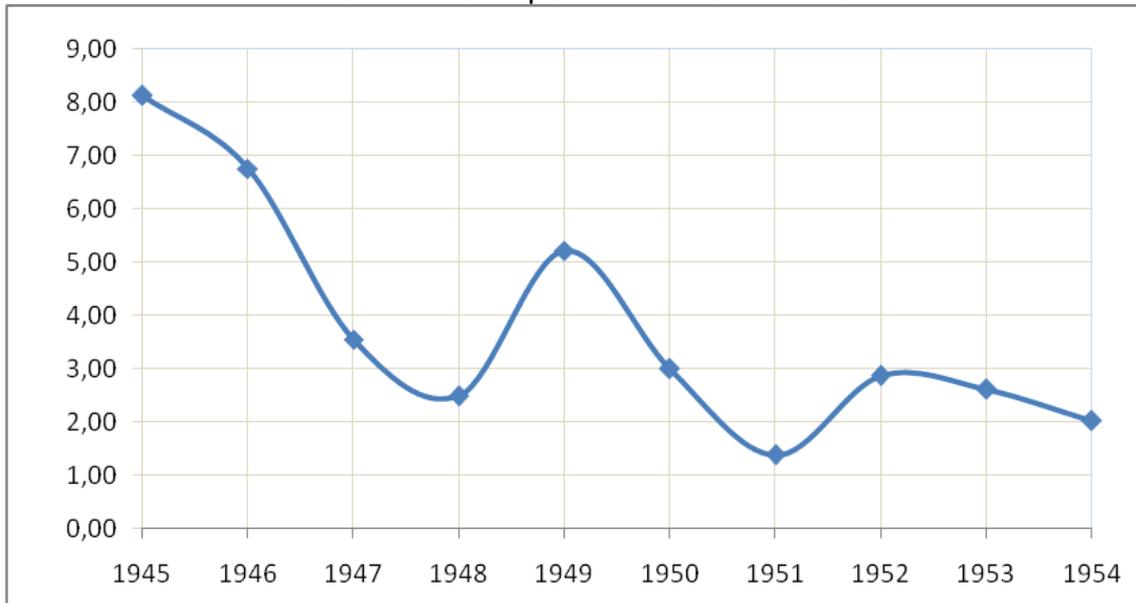
GRÁFICO 1 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos para a série histórica (1945 – 2014) do Rio Todos os Santos, na cidade de Teófilo Otoni



Fonte: Dados da pesquisa.

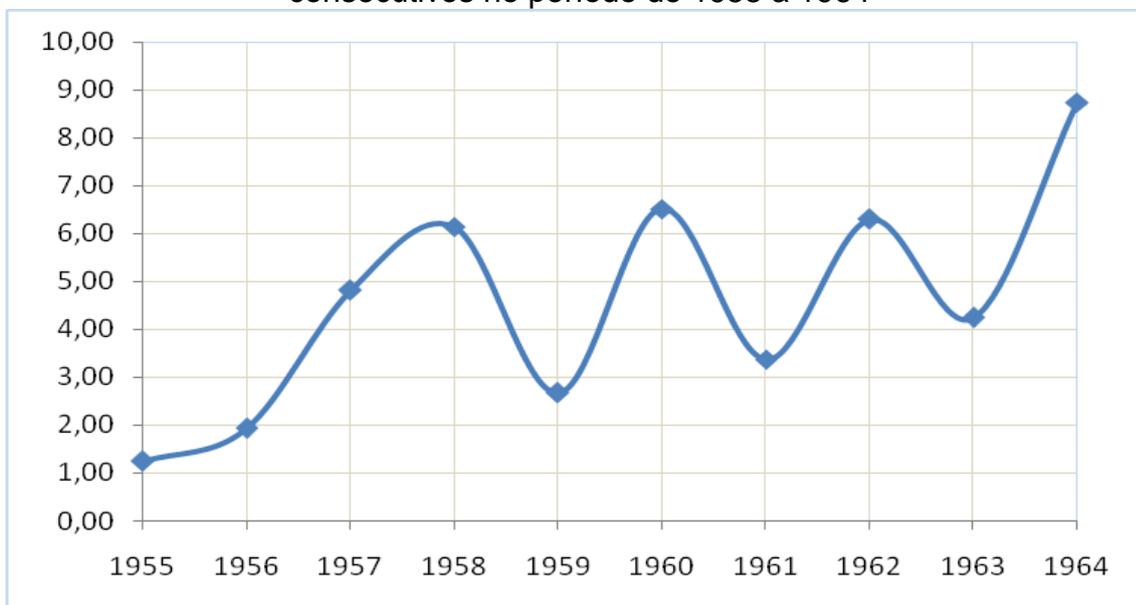
Mediante análise gráfica, observa-se uma grande variação das vazões mínimas anuais ao longo do tempo. O maior valor obtido foi de $8,74 \text{ m}^3/\text{s}$, no ano 1964, enquanto o menor valor foi de $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ no ano 2014. Uma análise mais detalhada para cada período de 10 anos pode ser observada nos gráficos (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) e (10).

GRÁFICO 2 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1945 a 1954



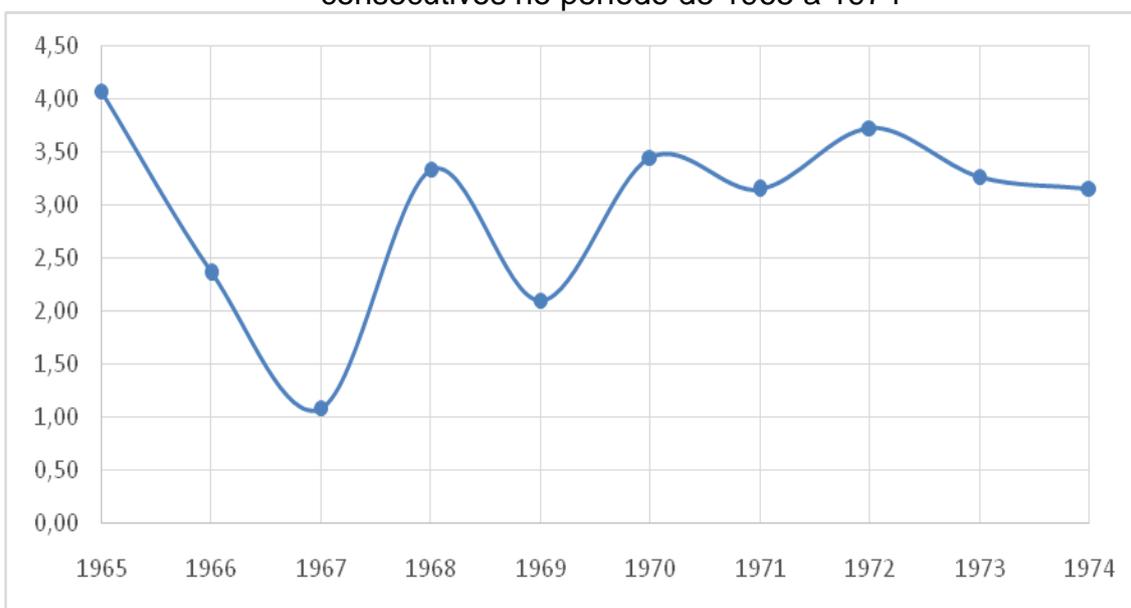
Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 3 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1955 a 1964



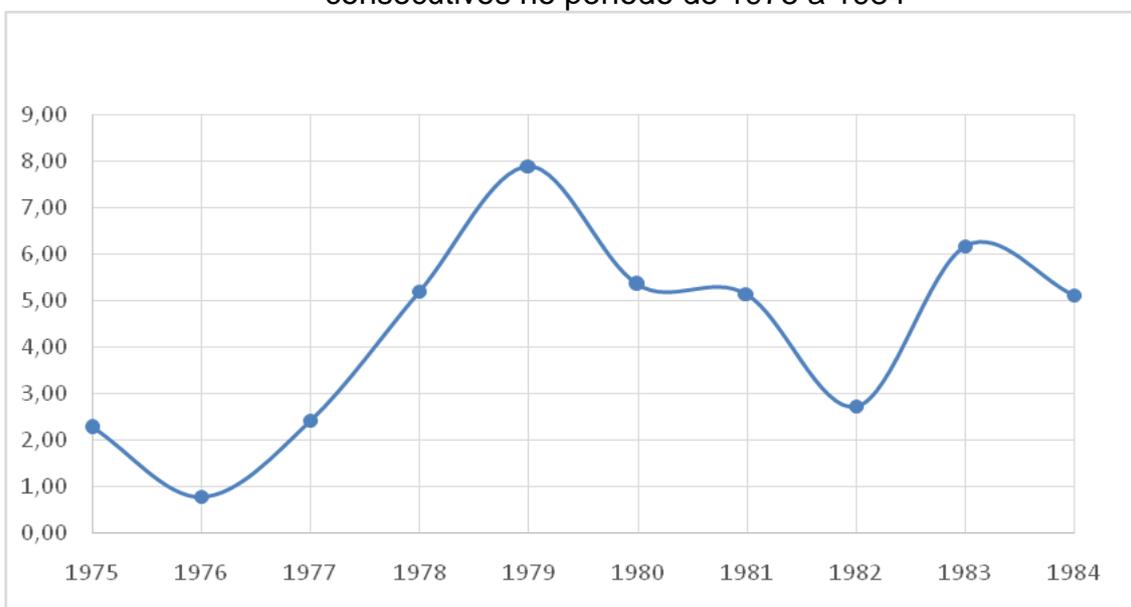
Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 4 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1965 a 1974



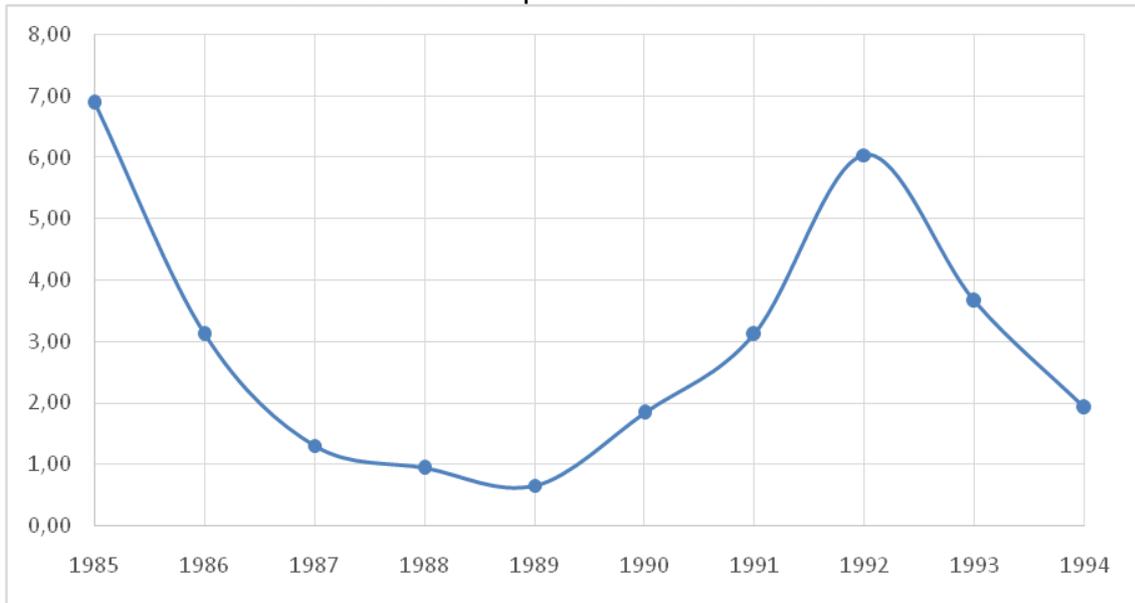
Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 5 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1975 a 1984



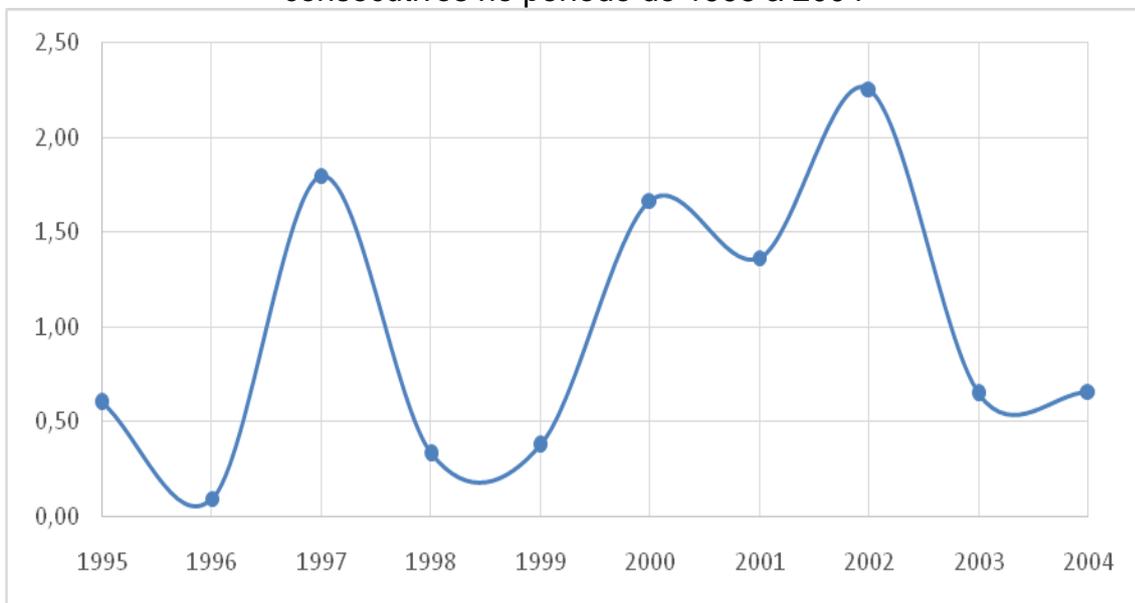
Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 6 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1985 a 1994



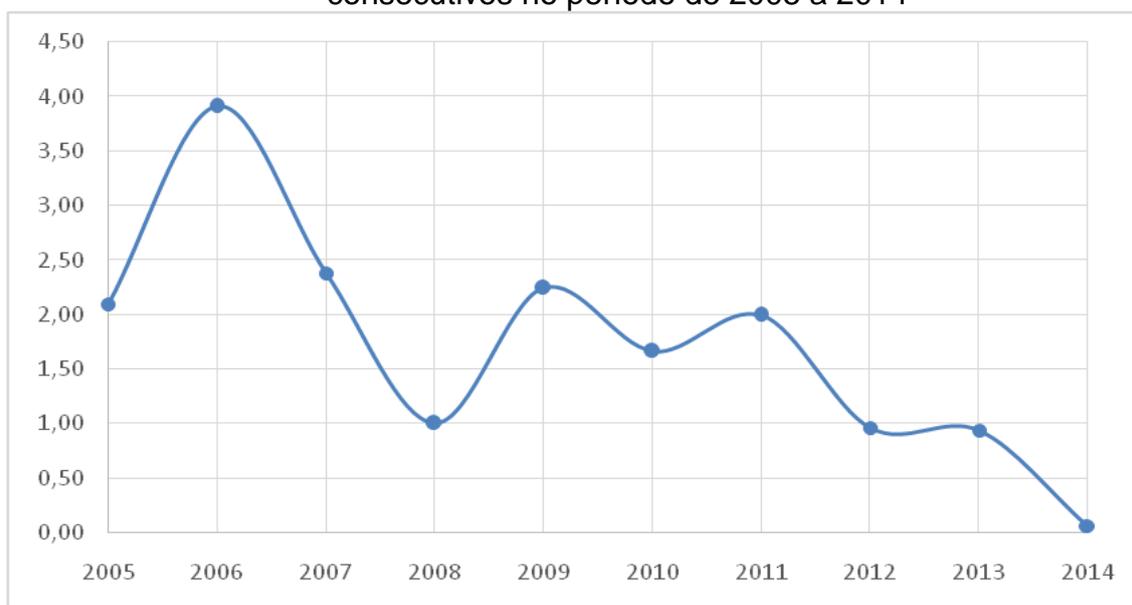
Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 7 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 1995 a 2004



Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 8 - Histograma de vazões mínimas de sete dias consecutivos no período de 2005 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

Para a análise apurada dos dados de vazão encontrados, a tabela 2 apresenta os dados de precipitação, no período de 1968 a 2014, obtidos mediante a análise da estação pluviométrica previamente descrita.

TABELA 2 - Dados de Precipitação da cidade de Teófilo Otoni no período de 1968 a 2014

| Ano | Precipitação (mm) | Ano | Precipitação (mm) |
|------|-------------------|------|-------------------|
| 1968 | 513,1 | 1992 | 5559,9 |
| 1969 | 815,6 | 1993 | 1276,8 |
| 1970 | 1244,5 | 1994 | 1656,8 |
| 1971 | 1123,1 | 1995 | 2205,3 |
| 1972 | 782,5 | 1996 | 1962 |
| 1973 | 1014,8 | 1997 | 1435 |
| 1974 | 1279,6 | 1998 | 1137,8 |
| 1975 | 769,9 | 1999 | 1598,1 |
| 1976 | 705,4 | 2000 | 1623,1 |
| 1977 | 1073 | 2001 | 942,5 |
| 1978 | 1250,2 | 2002 | 1253,9 |
| 1979 | 1378,3 | 2003 | 676,8 |
| 1980 | 1239,7 | 2004 | 1171,8 |
| 1981 | 1396,9 | 2005 | 1459,8 |
| 1982 | 1554,4 | 2006 | 1509,4 |
| 1983 | 2684,2 | 2007 | 845,2 |
| 1984 | 1744,4 | 2008 | 1431 |
| 1985 | 3396,3 | 2009 | 1623,9 |
| 1986 | 1646,4 | 2010 | 1121,8 |

continuação Tabela 2

| Ano | Precipitação (mm) | Ano | Precipitação (mm) |
|------|-------------------|------|-------------------|
| 1987 | 1283,1 | 2011 | 1177,9 |
| 1988 | 2180,6 | 2012 | 841,1 |
| 1989 | 111,3 | 2013 | 1120,9 |
| 1990 | 2634,6 | 2014 | 919,8 |
| 1991 | 2503,5 | | |

Fonte: Dados da pesquisa.

GRÁFICO 9 - Variação da Precipitação, no período de 1968 a 2014



Fonte: Dados da pesquisa.

A variação da precipitação causa extremos de vazão dos cursos d' água, entre cheias e vazantes, o que resulta em enchentes em anos de intensa precipitação, e escassez hídrica quando há falta de chuvas.

Dentre o ano de 1945 a 1974, o período em que se obteve o maior índice de vazão foi o ano de 1964 totalizando $8,74 \text{ m}^3/\text{s}$ e o ano de menor vazão foi o ano de 1967 com $1,08 \text{ m}^3/\text{s}$. Neste período, não foi possível relacionar os dados de vazão com a precipitação, devido à ocorrência de falhas nas séries da precipitação.

No gráfico 5, no ano de 1976 ocorreu o menor índice de vazão, com $0,78 \text{ m}^3/\text{s}$ e o maior índice obtido foi no ano de 1979, com a vazão mínima de $7,90 \text{ m}^3/\text{s}$. Esses resultados, podem ter sido influenciados pela precipitação anual de cada período, que em 1976, foi de 705,4 mm e em 1979 de 1378,3 mm.

No período de 1985 a 1994, representados no gráfico 6, houve uma grande variação na vazão mínima, onde o ano de 1985 e 1992 tiveram os maiores valores de vazões, com $6,89 \text{ m}^3/\text{s}$ e $6,05 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente. Nos anos de 1987, 1988 e 1989, o nível de vazão foi bastante reduzido, podendo ser consequência do baixo índice de precipitação.

De todo o período estudado, os anos de 1995 a 2004 foram à década com menores índices de vazão mínima. Mesmo com um nível significativo de chuvas nesses anos, outros fatores podem ter influenciado a baixa vazão do rio, como temperatura, destruição das matas ciliares, má conservação das nascentes e grandes ocupações urbana.

Em relação à década anterior, o período de 2005 a 2014 teve um aumento na sua vazão, mais precisamente no ano de 2006, com a vazão de $3,91 \text{ m}^3/\text{s}$, porém ainda são valores baixos. Do ano de 2007 a 2014 a vazão se manteve em um nível estável. Em todo o período estudado o ano de 2014 obteve o menor índice de vazão mínima com $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$.

A tabela 3 apresenta os valores de vazão $Q_{7,10}$ encontrados para cada período de 10 anos da série histórica.

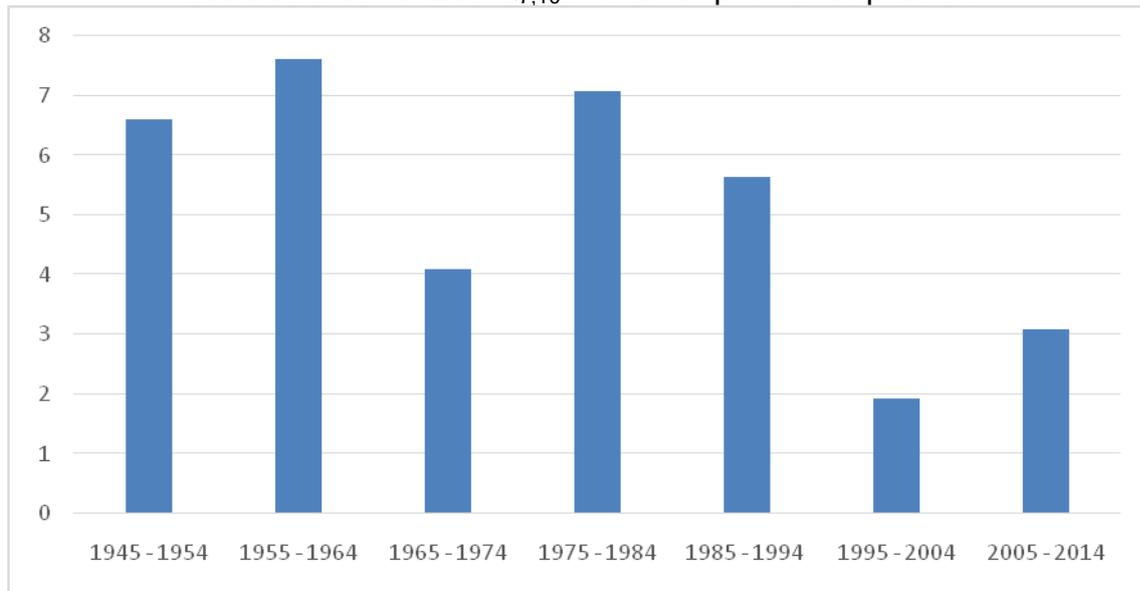
TABELA 3 - Dados calculados da vazão $Q_{7,10}$ do Rio todos os Santos no período de 70 anos

| Período | $Q_{7,10}$ |
|----------------|------------------------------|
| 1945-1954 | 6,60 |
| 1955-1964 | 7,61 |
| 1965-1974 | 4,10 |
| 1975-1984 | 7,08 |
| 1985-1994 | 5,65 |
| 1995-2004 | 1,92 |
| 2005-2014 | 3,09 |

Fonte: Dados da pesquisa.

Pela análise e interpretação dos dados de vazão $Q_{7,10}$ obtidos, verificou-se que o período de 1955 a 1964 apresenta um maior valor de vazão $Q_{7,10}$, com $7,61 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto os anos entre 1995 e 2004 apresenta um valor baixo, com $1,92 \text{ m}^3/\text{s}$.

O gráfico 10 ilustra a variação da vazão $Q_{7,10}$ no período de 1945 a 2014, subdividido a cada 10 anos.

GRÁFICO 10- Vazão $Q_{7,10}$ calculada para cada período

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas décadas de 1945-1954, 1955-1964, 1975-1984 e 1985-1994, foram obtidos os maiores valores da vazão $Q_{7,10}$. Nestes mesmos períodos, a incidência de chuvas foi grande, podendo assim ter influenciado nos resultados da vazão $Q_{7,10}$ do Rio Todos os Santos. Já nos anos de 1965 a 1964, 1995 a 2004 e 2005 a 2014, os valores da $Q_{7,10}$ caíram bastante, o que pode ser causado pelo período de seca. O gráfico 9, ilustra a variação da precipitação, no mesmo período em que houve uma redução na vazão do rio. Pode-se observar que em quase todo o período, a quantidade de chuvas por ano foi bem baixa, o que pode ter contribuído para que a vazão reduzisse bastante. Outros fatores que podem ter levado o rio a reduzir a sua vazão, foram o aumento da população e a ocupação das cidades. Com o desenvolvimento urbano, a demanda de consumo de água aumenta, fazendo com que seja necessária uma maior retirada do manancial de abastecimento, e consequentemente reduzindo a vazão do rio.

5 CONCLUSÃO

Ao finalizar o presente trabalho, pode-se visualizar a decrescente variação da vazão $Q_{7,10}$ do Rio Todos os Santos e como a precipitação foi influente neste resultado. Nos períodos de 1945-1954, 1955-1964, 1975-1984 e 1985-1994, os índices de vazão e precipitação se mantiveram altos, ao contrário dos anos de 1965 a 1974, 1995 a 2004 e 2005 a 2014, que ambos os valores decaíram significativamente. Fatores como o crescimento populacional, desenvolvimento urbano, má conservação das nascentes, destruição de matas ciliares, entre outros, podem ter sido de grande influência na variação da vazão.

Em períodos de crise hídrica, ter um parâmetro de gestão dos recursos hídricos disponíveis é uma forma de sanar problemas referentes à falta de água. Assim, a $Q_{7,10}$ serve como ferramenta para diagnosticar a atual situação do manancial, contribuindo para a recuperação e conservação do curso d' água.

O presente trabalho teve a finalidade de calcular a vazão mínima do Rio Todos os Santos, na intenção de mostra a disponibilidade hídrica, visando à quantidade e qualidade da água para a população e futuras gerações.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, V. L. B. *Estimativa de Vazão Dos Cursos D'água que Compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Todos os Santos: Uma abordagem utilizando Sistemas de Informações Geográficas*. 2014. 47p. Monografia (Graduação em Engenharia Hídrica). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Teófilo Otoni, 2014. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgbsAl/estimativa-vazao-dos-cursos-d-agua-que-compoem-a-bacia-hidrografica-rio-todos-os-santos>>. Acesso em: 14 de março de 2017.

ALMEIDA, I. K. et al. Métodos estatísticos na determinação de vazão de referência. *Comunicata Scientiae*, Bom Jesus, v.5, n.1, p.11-17, Jan./Mar. 2014. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5022031.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

ANA- Agência Nacional das Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe, 2015*. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informes2014.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 4, n. 1, p. 75-108, jan-abr/2008, Taubaté, SP, Brasil. Disponível em: <<http://www.rbgdr.net/012008/artigo4.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

BELICO, J. C. B. et al. Comparação entre vazões mínimas de referência para o rio Formoso – MG. *Enciclopédia biosfera*, Goiânia, v.9, n.17, p.718, 2013. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/comparacao%20entre%20vazoes.pdf>>. Acesso em: 24 de maio de 2017.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/CCivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

_____. *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas*, Agosto de 2013. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicoeAdministrativosdeOUTORGadeDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

_____. Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Brasília, 2008. Disponível em: <http://piranhasacu.ana.gov.br/resolucoes/resolucao_CNRH_91_2008.pdf>. Acesso em: 06 de maio de 2017.

_____. *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba*. Abril de 2013. Disponível em: <<file:///C:/Users/Aluno/Downloads/AG%C3%8ANCIA%20DE%20%C3%81GUA%20E%20COBRAN%C3%87A%20PELO%20USO.pdf>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

CAMARA, A. C. F. C. *Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)*. Porto Alegre: UFRGS. 2003. 219p. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1770/000357250.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

FARIAS, J. E. F. J. *Análise de metodologias utilizadas para a determinação da Vazão ecológica. Estudo de caso: rio Coruripe/AL e rio Solimões/AM*. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.wp.coc.ufrj.br/teses/mestrado/rh/2006/Teses/FARIAS%20JUNIOR_JEF_06_t_M_rhs.pdf>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

FONTELLES, M. J.; et al. Metodologia da pesquisa científica: Diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. *Núcleo de Bioestatística Aplicado à pesquisa da universidade da Amazônia – UNAMA*, Belém, Agosto/2009. Disponível em: <https://ciencia.saude.medicina.ufg.br/up/150/o/Anexo_C8_NONAME.pdf>. Acesso em: 19 de setembro de 2017.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: <<https://ayanrafael.files.wordpress.com/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf>>. Acesso em: 06 de maio de 2017.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Gestão das águas*. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas>>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/outorga/manual-de-outorga>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Plano estadual de recursos hídricos*. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/gestao-das-aguas/plano-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 18 de outubro de 2017.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. *Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548*, de 29 de março 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/CTIG/4-r-c-semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>>. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidades. *Hidrologia: ciência e aplicação*. UFRGS, ABRH, Porto Alegre, Brasil. p. 79-176, 2004.

LONGHI, E. H., FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, São Paulo, n.20, p.33-48, Jun. 2011. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/20-06_Mat%C3%A9ria_4_final_artigos279.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2017.

MINAS GERAIS. *Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais, 2010*. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/outorga/manual/manual-de-outorga.pdf>>. Acesso em: 05 de maio de 2017.

MORAIS, H. T. A. et al. *Rompimento Hipotético d Barragem: um estudo sobre a barragem do Rio Todos os Santos*. Teófilo Otoni: UFVJM, 2011. 48 p. Monografia – Bacharelado em Ciência e Tecnologia – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2011. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/135797234/Rompimento-hipotetico-de-barragem-Um-estudo-sobre-a-barragem-do-Rio-Todos-os-Santos>>. Acesso em: 06 de maio de 2017.

NAGHNETTINI, M., PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, Agosto de 2007. 552p.

OLIVEIRA, L. F. C., FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.1, p.9–15, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n1/a02v15n01.pdf>>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

OLIVEIRA, V. A. *Regionalização de vazões nas regiões das unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos GD1 E GD2, Minas Gerais*. Setembro de 2013. 103p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/3744/1/DISSERTACAO_Regionaliza%C3%A7%C3%A3o%20de%20vaz%C3%B5es%20mas%20regi%C3%B5es%20das%20unidades....pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

RODRIGUES, R. G. *Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu*. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9677>>. Acesso em: 09 de maio de 2017.

SANTILLI, J. F. R. A Política Nacional de Recursos Hídricos (lei 9.433/97) e sua implementação no Distrito Federal. *Rev. Fund. Esc. Super. Minist. Público Dist. Fed. Territ.*, Brasília, v.17, p. 144 – 179, jan./jun. 2001. Disponível em: <https://ceapg.fgv.br/sites/ceapg.fgv.br/files/u60/politica_nacional_dos_recursos_hidricos.pdf>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

SILVA, J. L. *Curva de recessão para o cálculo da reserva reguladora na zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo*. 53p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5266/1/LD_COEAM_2014_2_09.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2017.

SILVA, L. M. C., MONTEIRO, R. A. Outorga de Direito de Uso de Recursos hídricos: uma das possíveis abordagens. *Gestão da água doces*, Cap.V, p.135-178, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <http://143.107.108.83/sigrh/cobranca/pdf/leitura_04.pdf>. Acesso em: 03 de maio de 2017.

SILVA, L. M. *Gestão Ambiental De Recursos Hídricos: Pressupostos Básicos, Conceitos, Modelos E Instrumentos*. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 11, n. 36, p. 207 – 223, 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16100/9068>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

SIMPLICIO, C. G.; FARIA, L. V. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos e suas implicações na atividade agropecuária. *Revista Referência*, Sete Lagoas, n.2, 2016. Disponível em: <<http://www.unifemm.edu.br/revistareferencia/wp-content/uploads/2016/10/artigo-outorga.pdf>>. Acesso em: 25 de outubro de 2017.

SOUSA, W. S.; SOUSA, F. de A. S. Rede neural artificial aplicada à previsão de vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Piancó. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.2, p.173–180, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n2/v14n02a08.pdf>>. Acesso em: 11 de setembro de 2017.

VESTENA, L. R., et al. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 212-227, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a17.pdf>>. Acesso em: 03 de abril de 2017.

**APÊNDICE A – DISTRIBUIÇÕES DE FREQUÊNCIA E VARIÁVEIS ESTATÍSTICAS
CALCULADAS NOS PERÍODOS ANALISADOS.**

TABELA 1 – Distribuições de frequência no período 1945 a 1954.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------------|-------------------------|--------------|---------------------------|--|---|--|
| 1945 | 8,12 | 1 | 1,38 | 9,09 | 12,64 | 3,55 |
| 1946 | 6,76 | 2 | 2,02 | 18,18 | 17,89 | 0,29 |
| 1947 | 3,54 | 3 | 2,49 | 27,27 | 22,86 | 4,41 |
| 1948 | 2,49 | 4 | 2,61 | 36,36 | 24,36 | 12,00 |
| 1949 | 5,21 | 5 | 2,87 | 45,45 | 27,69 | 17,76 |
| 1950 | 3,00 | 6 | 3,00 | 54,55 | 29,53 | 25,02 |
| 1951 | 1,38 | 7 | 3,54 | 63,64 | 38,28 | 25,35 |
| 1952 | 2,87 | 8 | 5,21 | 72,73 | 72,34 | 0,39 |
| 1953 | 2,61 | 9 | 6,76 | 81,82 | 95,87 | 14,05 |
| 1954 | 2,02 | 10 | 8,12 | 90,91 | 99,92 | 9,01 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 2 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1945 a 1954.

| 1945 - 1954 | |
|--|-------------------|
| Média | 3,80 |
| Desvio Padrão | 2,19 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 0,59 |
| Mi | 4,78 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,25 |
| Vazão $Q_{7,10}$ Calculada | 6,60 |
| KS | 0,37 |
| | VERDADEIRO |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 3 – Distribuições de frequência no período 1955 a 1964.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------|--------------|-------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1955 | 1,25 | 1 | 1,25 | 9,09 | 8,60 | 0,49 |
| 1956 | 1,93 | 2 | 1,93 | 18,18 | 12,23 | 5,95 |
| 1957 | 4,82 | 3 | 2,68 | 27,27 | 17,82 | 9,45 |
| 1958 | 6,14 | 4 | 3,37 | 36,36 | 24,91 | 11,46 |
| 1959 | 2,68 | 5 | 4,24 | 45,45 | 36,87 | 8,58 |
| 1960 | 6,51 | 6 | 4,82 | 54,55 | 46,89 | 7,66 |
| 1961 | 3,37 | 7 | 6,14 | 63,64 | 72,85 | 9,22 |
| 1962 | 6,30 | 8 | 6,30 | 72,73 | 75,93 | 3,20 |
| 1963 | 4,24 | 9 | 6,51 | 81,82 | 79,71 | 2,11 |
| 1964 | 8,74 | 10 | 8,74 | 90,91 | 99,55 | 8,64 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 4 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1955 a 1964.

| 1955 – 1964 | |
|--------------------------------|-------------------|
| Média | 4,60 |
| Desvio Padrão | 2,35 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 0,55 |
| Mi | 5,66 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,11 |
| Vazão $Q_{7,10}$ Calculada | 7,61 |
| KS | 0,37 |
| | VERDADEIRO |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 5 – Distribuições de frequência no período 1965 a 1974.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------|--------------|-------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1965 | 4,08 | 1 | 1,08 | 9,09 | 3,52 | 5,57 |
| 1966 | 2,36 | 2 | 2,10 | 18,18 | 14,54 | 3,64 |
| 1967 | 1,08 | 3 | 2,36 | 27,27 | 20,61 | 6,67 |
| 1968 | 3,34 | 4 | 3,15 | 36,36 | 51,72 | 15,35 |
| 1969 | 2,10 | 5 | 3,15 | 45,45 | 51,94 | 6,48 |
| 1970 | 3,45 | 6 | 3,27 | 54,55 | 57,90 | 3,36 |
| 1971 | 3,15 | 7 | 3,34 | 63,64 | 61,63 | 2,01 |
| 1972 | 3,73 | 8 | 3,45 | 72,73 | 67,43 | 5,30 |
| 1973 | 3,27 | 9 | 3,73 | 81,82 | 81,53 | 0,28 |
| 1974 | 3,15 | 10 | 4,08 | 90,91 | 94,02 | 3,11 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 6 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1965 a 1974.

| 1965 – 1974 | |
|---|------|
| Média | 2,97 |
| Desvio Padrão | 0,88 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 1,45 |
| Mi | 3,37 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,15 |
| Vazão Q_{7,10} Calculada | 4,10 |
| KS | 0,37 |
| VERDADEIRO | |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 7 – Distribuições de frequência no período 1975 a 1984.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre frequências (%) |
|------------|-------------------------|--------------|---------------------------|--|---|--|
| 1975 | 2,27 | 1 | 0,78 | 9,09 | 6,68 | 2,41 |
| 1976 | 0,78 | 2 | 2,27 | 18,18 | 15,42 | 2,76 |
| 1977 | 2,42 | 3 | 2,42 | 27,27 | 16,70 | 10,57 |
| 1978 | 5,20 | 4 | 2,73 | 36,36 | 19,69 | 16,67 |
| 1979 | 7,90 | 5 | 5,11 | 45,45 | 59,45 | 14,00 |
| 1980 | 5,35 | 6 | 5,14 | 54,55 | 60,20 | 5,65 |
| 1981 | 5,14 | 7 | 5,20 | 63,64 | 61,48 | 2,16 |
| 1982 | 2,73 | 8 | 5,35 | 72,73 | 64,69 | 8,04 |
| 1983 | 6,17 | 9 | 6,17 | 81,82 | 81,67 | 0,15 |
| 1984 | 5,11 | 10 | 7,90 | 90,91 | 99,11 | 8,20 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 8 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1975 a 1984.

| 1975 – 1984 | |
|---|------|
| Média | 4,31 |
| Desvio Padrão | 2,17 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 0,59 |
| Mi | 5,28 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,17 |
| Vazão Q_{7,10} Calculada | 7,08 |
| KS | 0,37 |
| VERDADEIRO | |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 9 – Distribuições de frequência no período 1985 a 1994.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------|--------------|-------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1985 | 6,89 | 1 | 0,65 | 9,09 | 12,95 | 3,86 |
| 1986 | 3,11 | 2 | 0,93 | 18,18 | 15,14 | 3,04 |
| 1987 | 1,30 | 3 | 1,30 | 27,27 | 18,61 | 8,66 |
| 1988 | 0,93 | 4 | 1,83 | 36,36 | 24,74 | 11,62 |
| 1989 | 0,65 | 5 | 1,92 | 45,45 | 25,86 | 19,59 |
| 1990 | 1,83 | 6 | 3,11 | 54,55 | 46,26 | 8,28 |
| 1991 | 3,11 | 7 | 3,11 | 63,64 | 46,26 | 17,37 |
| 1992 | 6,05 | 8 | 3,66 | 72,73 | 57,91 | 14,82 |
| 1993 | 3,66 | 9 | 6,05 | 81,82 | 97,55 | 15,73 |
| 1994 | 1,92 | 10 | 6,89 | 90,91 | 99,80 | 8,89 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 10 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1985 a 1994.

| 1985 – 1994 | |
|--------------------------------|-------------------|
| Média | 2,95 |
| Desvio Padrão | 2,11 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 0,61 |
| Mi | 3,90 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,19 |
| Vazão $Q_{7,10}$ Calculada | 5,65 |
| KS | 0,37 |
| | VERDADEIRO |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 11 – Distribuições de frequência no período 1995 a 2004.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------|--------------|-------|----------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1995 | 0,60 | 1 | 0,09 | 9,09 | 11,21 | 2,12 |
| 1996 | 0,09 | 2 | 0,33 | 18,18 | 16,41 | 1,77 |
| 1997 | 1,80 | 3 | 0,38 | 27,27 | 17,70 | 9,57 |
| 1998 | 0,33 | 4 | 0,60 | 36,36 | 25,06 | 11,31 |
| 1999 | 0,38 | 5 | 0,65 | 45,45 | 26,94 | 18,52 |
| 2000 | 1,67 | 6 | 0,66 | 54,55 | 27,44 | 27,11 |
| 2001 | 1,37 | 7 | 1,37 | 63,64 | 66,76 | 3,12 |
| 2002 | 2,26 | 8 | 1,67 | 72,73 | 84,50 | 11,78 |
| 2003 | 0,65 | 9 | 1,80 | 81,82 | 90,51 | 8,69 |
| 2004 | 0,66 | 10 | 2,26 | 90,91 | 99,48 | 8,57 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 12 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 1995 a 2004.

| 1995 – 2004 | |
|---|-------------------|
| Média | 0,98 |
| Desvio Padrão | 0,73 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 1,75 |
| Mi | 1,31 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,27 |
| Vazão Q_{7,10} Calculada | 1,92 |
| KS | 0,37 |
| | VERDADEIRO |

Fonte: Dados da pesquisa

TABELA 13 – Distribuições de frequência no período 2005 a 2014.

| Ano | Vazão Mínima | Ordem | Vazão Ordenada | Distribuição de Weibull (%) | Distribuição de Gumbel (%) | Diferença entre Frequências (%) |
|------------|---------------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 2005 | 2,09 | 1 | 0,06 | 9,09 | 7,24 | 1,85 |
| 2006 | 3,91 | 2 | 0,94 | 18,18 | 19,40 | 1,22 |
| 2007 | 2,38 | 3 | 0,96 | 27,27 | 19,95 | 7,32 |
| 2008 | 1,00 | 4 | 1,00 | 36,36 | 20,89 | 15,47 |
| 2009 | 2,24 | 5 | 1,66 | 45,45 | 40,55 | 4,90 |
| 2010 | 1,66 | 6 | 1,99 | 54,55 | 53,98 | 0,56 |
| 2011 | 1,99 | 7 | 2,09 | 63,64 | 58,43 | 5,20 |
| 2012 | 0,96 | 8 | 2,24 | 72,73 | 65,02 | 7,71 |
| 2013 | 0,94 | 9 | 2,38 | 81,82 | 70,97 | 10,85 |
| 2014 | 0,06 | 10 | 3,91 | 90,91 | 99,96 | 9,05 |

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 14 – Variáveis estatísticas obtidas no período de 2005 a 2014.

| 2005 – 2014 | |
|---|-------------------|
| Média | 1,72 |
| Desvio Padrão | 1,06 |
| Inverso do Tempo de Retorno | 1,28 |
| Alfa | 1,21 |
| Mi | 2,20 |
| Máxima Diferença de Frequência | 0,15 |
| Vazão Q_{7,10} Calculada | 3,07 |
| KS | 0,37 |
| | VERDADEIRO |

Fonte: Dados da pesquisa.