

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Glaucio de Meneses Sousa

**Modelagem Multivariada Chuva-Vazão na Sub-
Bacia Hidrográfica do Reservatório Engenheiro
Ávidos.**

Campina Grande, Outubro de 2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

GLAUCIO DE MENESES SOUSA

**MODELAGEM MULTIVARIADA CHUVA-VAZÃO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ÁVIDOS**

CAMPINA GRANDE - PB
OUTUBRO – 2020

GLAUCIO DE MENESES SOUSA

**MODELAGEM MULTIVARIADA CHUVA-VAZÃO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ÁVIDOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para a obtenção do Grau de Mestre.

Área de concentração: **Meteorologia de Meso e Grande Escalas**
Subárea: Hidrometeorologia

CAMPINA GRANDE - PB
OUTUBRO – 2020

S725m Sousa, Glaucio de Meneses.
 Modelagem multivariada chuva-vazão na Sub-bacia
 Hidrográfica do Reservatório Engenheiro Ávidos / Glaucio de
 Meneses Sousa. – Campina Grande, 2021.
 60 f. : il. color.

 Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade
 Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
 Naturais, 2020.
 "Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de
 Sousa".
 Referências.

 1. Balanço Hídrico. 2. Modelo Matemático. 3. Variáveis
 Endógenas e Exógenas. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de.
 II. Título.

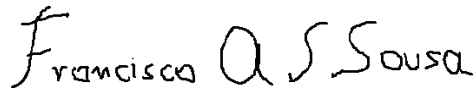
CDU 556(043)

GLAUCIO DE MENESES SOUSA

MODELAGEM MULTIVARIADA CHUVA-VAZÃO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RESERVATÓRIO ENGENHEIRO ÁVIDOS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/10/2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas Universidade
Federal de Campina Grande



Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas Universidade
Federal de Campina Grande



Prof. Dr. PAULO DA COSTA MEDEIROS
Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento
Universidade Federal de Campina Grande

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e aos meus pais Geralda de Meneses Sousa e Jose Manoel de Sousa, e de forma especial, as minhas primas Andrea Rodrigues da Costa e Maria do Socorro da Costa Rodrigues por me acolherem por um bom tempo em suas casas e por todo apoio que me deram em Campina Grande.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me presenteou com a oportunidade de estar no mestrado, e que sempre me iluminou durante toda essa jornada.

A minha família, em especial minha mãe Geralda de Meneses Sousa e meu pai Jose Manoel de Sousa que foram de suma importância para a busca e a realização desse sonho.

Aos meus amigos e colegas, em especial a Thiago e Wosley que contribuíram de forma significativa para a conclusão desse trabalho.

Ao meu orientador Francisco de Assis Salviano de Sousa, por todo aprendizado, paciência e ensinamentos contínuos na pesquisa para preparação deste trabalho.

Agradeço a todos que compõe a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, em especial aos professores por todo ensino e apoio na minha formação acadêmica.

RESUMO

A modelagem matemática é uma das ferramentas bastante utilizada para realizar o balanço hídrico de bacias hidrográficas. Em regiões semiáridas essa metodologia é essencialmente importante para contabilizar os recursos hídricos e equalizar sua oferta e sua demanda, dada a frequente ocorrência de escassez. Este trabalho propôs a aplicação do modelo chuva-vazão de Regressão Linear Múltipla (MRLM) para gerar vazões médias mensais a partir de totais mensais precipitados na sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos. Para selecionar as variáveis de entrada e saída do MRLM utilizou-se o método “forward stepwise”. Os resultados obtidos nesta pesquisa demonstrou que o MRLM não se ajustou aos dados da sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos, haja vista que, para todas as combinações de entradas de variáveis no MRLM, sempre resultou baixos índices de correlação entre as vazões médias mensais observada e estimada. Em tempo, sugere-se que em futuras pesquisas sejam utilizados modelos como os de Redes Neurais Artificiais ou de Regressão por Análise de Componentes Principais.

Palavras-chave: Balanço hídrico, modelo matemático, variáveis endógenas e exógenas.

ABSTRACT

Mathematical modeling is one of the tools widely used to carry out the water balance of hydrographic basins. In semi-arid regions, this methodology is essentially important to account for water resources and equalize their supply and demand, given their scarcity. This work proposed the application of the rain-flow model of Multiple Linear Regression (MRLM) to generate average monthly flows from precipitated monthly totals in the hydrographic sub-basin of the Engenheiro Ávidos reservoir. To select the MRLM input and output variables, the “forward stepwise” method was used. The results obtained in this research demonstrated that the MRLM did not fit the data of the hydrographic sub-basin of the Engenheiro Ávidos reservoir, given that for all combinations of variable entries in the MRLM, it always resulted in low correlation rates between the average monthly flows observed and estimated. In time, it is suggested that in future research models such as Artificial Neural Networks or Regression by Principal Component Analysis be used.

Keywords: Water balance, mathematical model, endogenous and exogenous variables

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Ciclo hidrológico.	16
Figura 02 - Área da bacia do reservatório Engenheiro Ávidos	25
Figura 03 – Mapa dos postos pluviométricos e fluviométrico da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos	27
Figura 04 - Mapa da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos com aplicação do método Thiessen.	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Gráfico de dispersão entre vazão estimada e observada com todos os postos ..	38
Gráfico 02 – Gráfico de dispersão entre vazão observada e simulada com os postos G, C, B, A, D, F ..	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Avaliação do desempenho de modelos a partir dos coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe e porcentagem de viés	32
Tabela 02 – Área e postos selecionados da região da sub-bacia de Engenheiro Ávidos.....	36
Tabela 03 – Coeficiente de correlação de cada posto pluviométrico	36
Tabela 04 – Valores dos R^2 ajustados obtidos pelas simulações com todos os postos pluviométricos	37
Tabela 05 – Valores dos coeficientes de regressão do modelo com todos os postos pluviométricos.	39
Tabela 06 – Índices do modelo com todos os postos.	39
Tabela 07 – Valores dos coeficientes gerado pelo modelo com os postos selecionados.....	39
Tabela 08 – Índices do modelo com os postos selecionados.....	40

LISTAS DE ABREVIATURAS

AESA - AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

CBH - COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

DNOCS - DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA A SECA

PNRH - POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

SIG - SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

SINGREH - SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CICLO HIDROLÓGICO	16
2.1.1 Precipitação pluvial e escoamento superficial.....	17
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA	18
2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HIDRICOS	19
2.4 SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS.....	20
2.5 MODELAGEM MATEMÁTICA	21
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1.1 Localização.....	25
3.1.2 Climatologia da região.....	26
3.1.3 Características físicas	26
3.1.4 Dados de precipitação.....	27
3.1.5 Dados de vazão.....	27
3.2 METODOLOGIA APLICADA	28
3.2.1 Aplicação do método Thiessen	28
3.2.2 Modelo de regressão linear múltipla	29
3.2.3 Método de seleção entrada e saída de variáveis independentes no modelo chuva-vazão.....	30
3.2.4 Avaliação do modelo.....	30
3.2.5 Calibração e validação do modelo.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a vida de todas as espécies existentes na Terra, sendo primordial para o equilíbrio ambiental e ecológico, como também, desempenhando papel importante no desenvolvimento econômico e social (BRASIL, 2001). A água ocupa 70% da superfície da terra, um pouco menos de 3% é considerada água doce, uma boa parte desta se encontra imprópria para consumo ou inacessível (LIMA, 2010).

Para se compreender como se comporta o aspecto hidrológico na escala de interesse desta pesquisa é necessário um levantamento das principais características da bacia hidrográfica, como os cursos de água que a compõe, o clima predominantemente, sua vazão, precipitação dentre outros aspectos que nos permitam entender os componentes do sistema na mesma.

A prática de desenvolver estudos voltados para bacias hidrográficas nasce da necessidade de se entender como funciona o ciclo hidrológico, os procedimentos que comanda a sua circulação e os possíveis impactos sobre a água (ANDRADE et al., 2013).

A precipitação, evaporação, infiltração e drenagem são os principais elementos do balanço hídrico (TUNDISI, 2003; RODRIGUES e PRUSKI, 2019). Cruz e Rivera (2014) apontam ainda que o consumo de água dos distintos setores carece de estar inserido no balanço hídrico

De acordo com Guandique e Moraes (2015) é admissível medir e analisar os parâmetros hidrometeorológicos de uma determinada bacia, incluindo sua variabilidade espacial e temporal através da aplicação da equação do balanço hídrico.

O homem ao longo dos anos vem diversificando os usos da água, estes dependem absolutamente da disponibilidade hídrica, da sua realidade social, econômica e cultural. Os diferentes usos da água, vinculado à degradação oriunda do uso impróprio dos recursos hídricos, tem ocasionado um desequilíbrio entre oferta e demanda, causando conflitos entre os diferentes usuários, sobretudo nas regiões que apresentam índices de escassez (SANTOS, 2011).

O planejamento e a operação em sistemas hídricos podem ser geridos através do uso de tecnologias computacionais associado à modelagem matemática (LIMA, 2019).

Para Moraes (2002) a modelagem hidrológica é usada como instrumento de pesquisa que fornece um entendimento mais detalhado para a previsão de cenários, como também dos fenômenos físicos envolvidos no estudo.

Um dos métodos mais usados para mitigar as incertezas do clima no gerenciamento dos recursos hídricos é a previsão de vazão, é comum na literatura os autores indicar o uso de

vazões, pois, a mesma é um dos principais pontos para otimizar operação de reservatórios, (CENTENARO, 2017).

Em função dos varios elementos que se interagem e perturbam o sistema hidrologico de uma bacia, torna-se um grande desafio desenvolver estimativas precisas de vazão. Os dados fluviais colaboram com a organização operacional de sistemas hidricos e uso de seus recursos, colaborando na tomada de decisão, com o intuito de mitigar os impactos expressivos de cheias e escassez hidrica (MALFATTI et al.,2018).

Para Marinho Filho (2013), os modelos que usam os processos físicos são indicados para representar a variabilidade espacial e temporal os processos hidrológicos. O uso de modelos hidrológicos tem sido bastante expandido, e suas aplicações no comportamento de bacias hidrográficas têm mostrado resultados significativos, tanto como instrumento na construção de projetos hidráulicos e hidrológicos, bem como na simulação e previsão de cenários.

A área de estudo do presente trabalho se concentra na bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos, com capacidade de armazenamento de 255.000.000 m³ de água, operando desde 1936, o reservatório é responsável por abastecer o município de Cajazeiras, o distrito de Gravatá, e toda zona rural de sua bacia. O reservatório atua como principal fonte para o abastecimento humano e para a agricultura da região (REIS et al., 2014).

Por ser uma região semiárida onde a taxa de precipitação média encontra-se em torno de 800 mm/ano e de evaporação média em torno de 2.937 mm/ano, a sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos convive com períodos de grandes secas (FARIAS, 2004), que tem posto em risco a sustentabilidade hídrica da região de abrangência do reservatório.

O reservatório Engenheiro Ávidos é importante para a economia do Estado da Paraíba. O mesmo é responsável pelo abastecimento de mais de 75 mil habitantes (IBGE, 2019), tanto o reservatório como o rio principal (Rio Piranhas) e seus afluentes que converge para o açude são essenciais para a vida da população da região, como também para a economia da mesma, principalmente através da agricultura irrigada.

Perante essa problemática de escassez hídrica na região e falta de estudos que ofereçam subsídios para um melhor gerenciamento desses recursos hídricos, surgiu o interesse de estudar e aplicar a modelagem matemática na sub-bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Aplicar dados de totais mensais precipitados em um modelo multivariado chuva-vazão para modelar as vazões médias mensais da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos no estado da Paraíba.

1.1.2 Específicos

- Aplicar um modelo multivariado chuva-vazão, para analisar se o mesmo aplica-se aos dados da sub-bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos.
- Simular sob diferentes cenários, os dados pluviométricos, com o intuito de se obter o melhor R^2 ajustado.
- Avaliar e validar a aplicação do modelo de acordo com os resultados obtidos pelo método de seleção de entrada e saída de variáveis, pelos coeficientes de eficiência e pela análise da eficácia da simulação do modelo hidrológico.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. CICLO HIDROLÓGICO

O conhecimento a respeito do ciclo da água ajuda nos procedimentos de manejo dos recursos hídricos e planejamento dos mesmos, em projetos hidráulicos e estudos ambientais (MARINHO FILHO et al., 2013).

O conceito de ciclo hidrológico se compõe de uma série de diversos movimentos da natureza nos seus diferentes estados físicos, que acontecem na hidrosfera, entre mares, rios, as águas subterrâneas, calotas de gelo e a atmosfera, processo pelo qual a água inicia o seu movimento de circulação indo de um estágio primário até voltar à sua posição inicial (AQUINO, 2013). Este movimento permanente de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, acontece devido à energia radiante do Sol que eleva a água da superfície terrestre para atmosfera (evaporação), e a gravidade faz com que a água condense e caia em forma de chuva (precipitação), atingindo a superfície a mesma circula por cursos de água (riachos e rios) até atingir os oceanos (escoamento superficial), ou se infiltra nos solos e nas rochas (escoamento subterrâneo) conforme podemos ver na Figura 1. Contudo, nem toda a água precipitada chega à superfície, pois, uma parte pode ser interceptada pela vegetação, voltando a evaporar (SCHUARTZ, 2019).

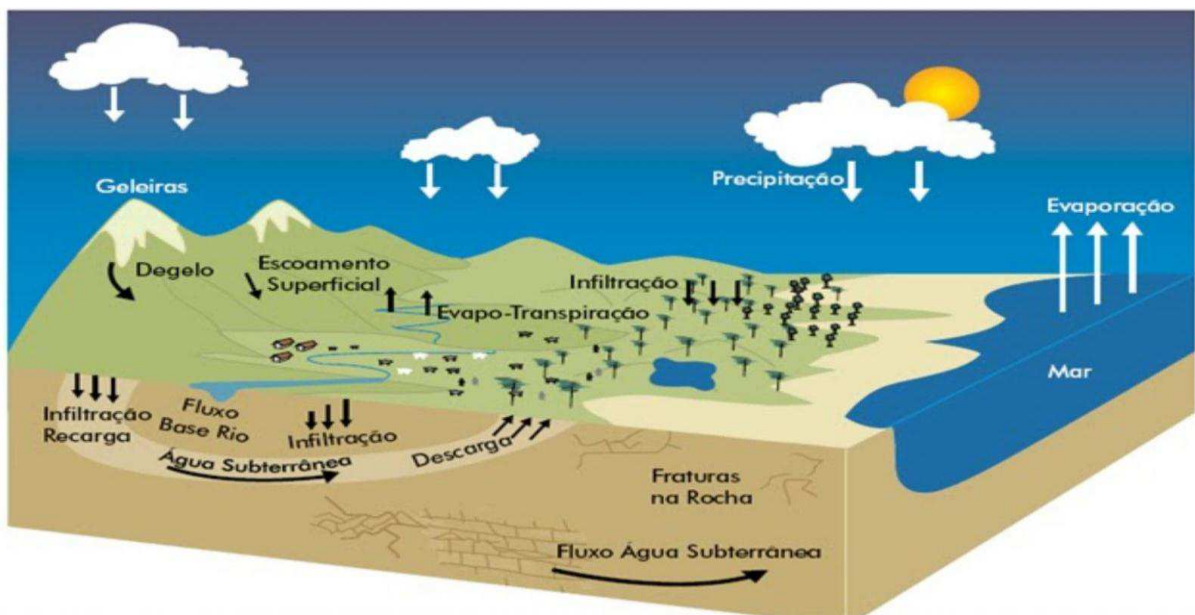


Figura 1: Ciclo hidrológico.

Fonte: CESAMA, 2019.

A precipitação é a principal forma de entrada de água no sistema. Considerando a existência de uma cobertura da vegetação sobre o solo, parte da água precipitada pode ser retida pelo dossel vegetal, aonde volta a evaporar-se para a atmosfera processo este chamado evapotranspiração. (HACHEM, 2016).

Segundo Silva (2011) outra parte da água que se infiltra no solo vai para a zona saturada, adentra na circulação subterrânea e colabora com um aumento no armazenamento de água nos lençóis freáticos (recarga dos aquíferos).

A cobertura vegetal, topografia, altitude, tipo de solo, temperatura e geologia são fatores que influenciam no volume de água e na velocidade com que a mesma circula nas fases do ciclo hidrológico (NASCIMENTO, 2013).

O estudo do ciclo hidrológico pode ser realizado com a aplicação da equação geral do balanço hídrico, o qual é à representação matemática do referido ciclo, que tem como base o princípio da lei da continuidade e a troca de energia dos sistemas envolvidos, retratando a quantificação da água nas distintas fases, no espaço e no tempo (TUCCI; BELTRAME, 2007).

2.1.1 Precipitação pluvial e escoamento superficial

Precipitação pluvial ocorre quando a atmosfera devolve a água que foi evaporada da superfície terrestre em virtude da radiação emitida pelo Sol. Este fenômeno promove a formação de nuvens, vapor de água condensado que, conforme o tempo, pode vir a se transformar em chuva, granizo ou neve, tratando-se de parte do ciclo hidrológico, podendo ser classificada de acordo com a sua intensidade, frequência e duração (MACHADO, 2008). O ponto inicial que dá origem a todos estudos hidrológicos de sub e microbacias hidrográficas é a precipitação pluvial (SOUSA, 2008).

A maior parte das precipitações pluviais acontecem nos oceanos devido sua extensão ser maior que a dos continentes, como também por concentrar o maior volume de vapor para a desenvolvimento de nuvens.

Com a presença de precipitações, a vegetação absorve parte da água das chuvas, que posteriormente é evaporada, outra parte é infiltrada, a água da chuva quando cai sobre um solo saturado (espaços porosos estão preenchidos por água) quando ocorre o escoamento pela superfície (BRITO, 2018), formando as enxurradas, rios, riachos, lagos e reservatórios de água (açudes). De acordo com Marques (2018), das etapas do ciclo hidrológico, o escoamento superficial pode ser considerada a mais importante, pois são estudados: o movimento das

águas na superfície da Terra, o aproveitamento da água superficial e a proteção contra os impactos causados pelo seu movimento hidrológico.

2.2. BACIA HIDROGRÁFICA

Para Porto e Porto (2008), bacia hidrográfica é o ambiente geográfico mais apropriado para se aplicar a equação do balanço hídrico. Silveira (2007) considera bacia hidrográfica um sistema físico onde o volume de água precipitado é à entrada desse sistema e o volume de água escoado pelo exutório é à saída do mesmo, os volumes evapotranspirados e os infiltrados profundamente são considerados como perda intermediária. Porto e Porto (2008) destacam que todas as atividades humanas se desenvolvem na bacia hidrográfica, sendo que estão concebidos no seu exutório, todos os procedimentos que compõem o seu sistema.

O conceito de bacia hidrográfica é bastante amplo existindo várias definições, sendo que uma das mais empregadas na literatura, a descreve como uma área que através do movimento gravitacional formam efluentes para um rio principal (BARRELLA, 2001). Diversos aspectos colaboram para o seu desenvolvimento, tais como a geologia e a declividade, que demarcam o processo de infiltração e escoamento para determinada área superficial (TUCCI; MENDES, 2006).

Para Batista (2018) os autores supracitados explicam que estas áreas recebem águas das chuvas durante o período chuvoso, que infiltram no solo abastecendo o lençol freático e mantendo o fluxo de água das nascentes. Estas águas escoam para as áreas mais baixas carregando os resíduos sólidos ou dissolvidos da superfície, formando os leitos fluviais.

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, define a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e por consequência a gestão destes recursos, bem como o espaço geográfico de atuação para as agências e comitês de bacias hidrográficas (CBHs). Responsáveis pelo planejamento, execução e financiamento de programas que envolvem o uso da água dentro de sua bacia, estes órgãos públicos têm papel importante dentro da gestão dos recursos hídricos. Conforme a PNRH, a gestão deste recurso deve ser descentralizada, ou seja, dispor da atuação conjunta do poder público e membros da comunidade e usuários da água (GOMES; BARBIERI, 2004).

Os comitês e subcomitês de bacias hidrográficas são responsáveis pela promoção da gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos por meio da formação de um grupo de conselheiros representantes de distintos setores da sociedade. Contudo, é bastante comum observar diferenças e conflitos de interesses nestes comitês, visto que seus

conselheiros são dotados de interesses particulares (PEREIRA et al., 2018).

Garrido (2003) sugere que na identificação das características da quantidade de água em uma bacia hidrográfica, seja analisado, dados pluviométricos, coleta de informações sobre variações climáticas, temperatura, evaporação, usos da água e características do solo.

Um sistema de bacia hidrográfica compõe-se em três elementos: componentes de demanda, como usos para abastecimento humano e animal, indústrias, irrigação, vazão ecológica e geração hidroelétrica; componentes de origem, como reservatórios, rios, aquíferos e canais; e componentes intermediários, como estações de reuso, estações de tratamento e reciclagem e reutilização de água e coletores de drenagem (MCKINNEY E CAI, 2002).

2.3. POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS

A publicação da Constituição Federal de 1988 configurou um marco relevante na gestão dos recursos hídricos no Brasil, a redação constitucional outorga a União à competência da gestão dos recursos hídricos e faz a divisão do domínio das águas entre a União e os estados (PNRH, 2006).

Nesse cenário, após vários progressos inerentes às questões ambientais, no ano de 1991 teve início o processo do projeto de Lei federal que cria a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), após cinco anos é instituída a referida política e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) através da Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (PNRH, 2006).

A PNRH constitui que a “gestão dos recursos hídricos no país deve ser realizada de forma descentralizada e participativa, envolvendo o poder público, os usuários de recursos hídricos e as comunidades” (PNRH, 2011).

Para Reis (2014) a Política Nacional de Recursos Hídricos desfez conceitos e parâmetros ao legalizar, logo em seu artigo 1º, a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, de acordo com o que é atestado em seus fundamentos:

- I - A água é um bem de domínio público;
- II- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos e o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a

participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Nessa conjuntura, a Política Nacional de Recursos Hídricos tem como objetivos:

- I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

Além do que, publica como instrumentos os subseqüentes incisos:

- I - Os Planos de Recursos Hídricos;
- II - O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

No que lhe diz respeito os planos de recursos hídricos, são externados a níveis nacionais, estaduais e da bacia hidrográfica. Deste modo, o PNRH, se idealiza como um instrumento orientador da elaboração da Política Nacional de Recursos Hídricos e da atuação do SINGREH (PNRH, 2011).

2.4. SISTEMAS DE RESERVATÓRIOS

Em sua totalidade o volume de água no planeta é considerado constante, haja vista que o ciclo hidrológico garante a sua renovação em toda a Terra. (SÃO PAULO, 2011). Todavia, a disparidade na distribuição de água tanto no espaço como no tempo é existente, tornando-se propício a escassez hídrica em alguns lugares do mundo e em demasia em outros. Com essa disparidade surge à necessidade de melhorar a gestão desta distribuição, através da construção e operação de reservatórios de armazenamento de água, tendo em vista os múltiplos usos (FARIAS, 2004).

Em vários lugares do mundo as barragens têm sido construídas como forma de armazenar água, com registro das primeiras barragens datadas há mais de 2.000 anos. Descobrimientos arqueológicos apontam que simples barramentos de terra e redes de canais foram construídos para abastecer às pessoas de forma segura (CIGB, 2008).

Por conta da seca surgiram as primeiras construções de barragens no Brasil.

Localizada no estado do Ceará a barragem de Cedro foi à primeira delas, Dom Pedro II deu a ordem do início de sua construção em 1890 e em 1906 a barragem foi concluída. Em seguida, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), construiu um total de 214 barragens (CBDB, 2011).

Diversos outros reservatórios foram construídos ao longo dos anos em todas as regiões do país. De acordo com dados de 2014 no Brasil existem em torno de 14.966 barragens catalogadas no Relatório de Segurança de Barragens (ANA, 2014). Nos dias atuais, a principal obra hídrica voltada para o abastecimento de água é a transposição do rio São Francisco, com a pretensão de levar parte da vazão do rio em questão para o Polígono das Secas (CBDB, 2011).

Soares (2013), afirma que a transposição do rio São Francisco será uma forma de mitigar o problema da escassez hídrica no semiárido nordestino, gerando o desenvolvimento da região e a melhorando a qualidade de vida da população do semiárido.

Nesse cenário, observa-se o papel fundamental dos recursos hídricos no ponto de vista socioeconômico e ambiental no desenvolvimento da humanidade. É nesse contexto socioeconômico e ambiental que se debate e avalia o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, que no que lhe diz respeito compreende uma série de elementos, restrições e procedimentos, que dada suas características individuais, acabam com o uso de métodos de análise de sistemas (BARBOSA, 2008). Devido às características probabilísticas dos processos hidrológicos e a presença de conflitos provindos dos usos múltiplos da água, a criação de políticas eficazes para operação de reservatórios de água tem se tornado uma atividade muito complexa (ARAGÃO, 2008). Como resultado, nas últimas décadas surgiu uma grande preocupação com a sustentabilidade de reservatórios sujeitos a múltiplos usos, sendo elaborados vários estudos na diligência de formas progressivamente eficientes para operação de reservatórios (CELESTE et al., 2005).

2.5. MODELAGEM MATEMÁTICA

Modelo é a reprodução de algum elemento ou sistema, em uma forma de linguagem de acesso e uso fácil, que tem como finalidade entender e procurar suas respostas para diferentes situações (TUCCI, 1998).

Para Azevedo et al (1997) os modelos matemáticos são aplicáveis em várias situações como a quantificação de processos do ciclo hidrológico e em modelos meteorológicos e ambientais.

Modelo hidrológico pode ser conceituado como uma expressão matemática do fluxo de água e seus elementos acima de certa parte da superfície e/ou subsuperfície da terra. Existe uma pequena relação entre a modelagem hidrológica, a ecológica e a biológica, visto que a movimentação de materiais pela água é tomada por ações biológicas das quais podem diminuir ou aumentar o volume desses materiais, onde a condução do fluxo pode perturbar vários habitats. Além do mais, a hidrologia está fortemente associada às condições climáticas, deste modo, modelos hidrológicos e atmosféricos têm de estar ligados, porém, na realidade, uma íntima ligação torna-se muito complicado, visto que os modelos atmosféricos operam com resoluções espaciais bem maiores que as aplicadas na modelagem hidrológica (ALMEIDA, 2017).

A maioria dos modelos hidrológicos tem como objeto de estudo a bacia hidrográfica, substanciando as superfícies que faz a captura e despejo de água em um ou mais canais de escoamento que desemboca em uma única saída.

Além de permitir o diagnóstico no nível de detalhamento demandado, os modelos matemáticos de simulação são bem flexíveis, pois possibilitam que qualquer sistema possa ser representado matematicamente em modelos computacionais, (AZEVEDO et al., 1997).

Modelos de simulação vêm sendo posto em prática em trabalhos de planejamento de recursos hídricos desde o início da década de 1960. No entanto, a partir das últimas décadas, com o desenvolvimento da computação, foi que surgiu aplicações mais eloquentes. Surgem, também, os sistemas de suporte a decisão que permitem a visualização adequada dos resultados das alternativas, interação do decisor, consideração de múltiplos objetivos, utilização simultânea de otimização e simulação (BARBOSA, 2008).

À base de dados essenciais para construir e calibrar o modelo é um dos privilégios e avanços para o processo de planejamento de bacias hidrográficas decorrentes da utilização de modelos de simulação, pois vários problemas podem ser determinados ou solucionados através da análise dos dados e seleção dos mesmos quando da formatação adequada para admissão no modelo (NEVES, 2005). Adiciona-se a situação de vários modelos evidenciarem interface com o Sistema de Informação Geográfica – SIG, o que torna mais fácil a visualização e acesso às informações, além do mais possibilita a união de várias fontes de dados, como textos, planilhas, gráficos, imagens e mapas em um só ambiente.

Podemos considerar um modelo, como uma reprodução simplificada da realidade, que facilita o entendimento dos procedimentos que compreendem esta realidade. Sendo cada vez mais aplicados em estudos ambientais, os modelos contribuem com o conhecimento dos

impactos das alterações no uso e cobertura da terra e antever prováveis mudanças eminentes nos ecossistemas.

Os sistemas ambientais são comumente muito herméticos, normalmente tridimensionais e subordinados do tempo. Tal complicação é capaz de acrescentar procedimentos não lineares e elementos estocásticos sobre diversas escalas de espaço. O entendimento qualitativo de um procedimento próprio pode acontecer porém o entendimento quantitativo pode ter limite. Pode não existir a chance de mostrar os processos físicos como um conjunto de equações matemáticas esmiuçadas, ou as mesmas podem ser bastante complicadas sendo necessário impor simplificações para seu uso (STEYAERT, 1993).

Além de tudo, problemas computacionais ou a forma na qual as equações são transformadas em métodos numéricos distintos, influenciam a definição de processos complexos em escalas bastante esmiuçadas que podem não ser claramente retratada no modelo. Esse conjunto de equações em alguns poucos casos podem ser observados como um acervo de possibilidades que ligam entradas e saídas do sistema. A parametrização desse conjunto de equações evidencia a mais adequada aproximação do modelador para esclarecer esses processos, levando em conta todas essas restrições. Contudo, é valoroso admitir que um modelo ambiental seja de fato, somente uma reprodução dos processos do mundo real (STEYAERT, 1993). Um mesmo processo pode ser executado de distintas formas, existindo algumas mais adequadas para determinados casos. Deste modo, não existe um modelo que seja o melhor, mas sim pode existir um que melhor representa um fenômeno. No contexto geral, um modelo é um conjunto de equações e procedimentos constituídos por parâmetros e variáveis.

Segundo Tucci (1998) os modelos hidrológicos chuva-vazão retratam a parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão, envolvendo distintos algoritmos descritores dos vários processos hidrológicos incluídos nessa transformação da chuva em vazão: evapotranspiração, evaporação, escoamentos subsuperficial e superficial, infiltração, percolação subterrânea, perdas por interceptação e armazenamento em depressões.

De acordo com Garrido (2003) os modelos são divididos segundo:

- Conceitual ou empírico: o modelo é dito conceitual quando as funções usadas na construção do modelo levam em consideração os processos físicos; um modelo é tido como empírico quando ocorre o ajuste dos valores calculados aos dados observados, sem nenhuma preocupação com os processos físicos envolvidos, fundamentados em análises estatísticas, como análise de regressão e métodos de correlação.

- Determinístico ou estocástico: um modelo determinístico é aquele independente de variável probabilística, tem comportamento não aleatório. Enquanto que o modelo estocástico o sistema depende de variáveis probabilísticas (aleatórias).
- Contínuo ou discreto: o modelo é classificado como contínuo quando os casos ocorrem em longos períodos, ou seja, de forma contínua no tempo, por outro lado o modelo tido como discreto quando as mudanças acontecem em curtos períodos de tempo;
- Concentrado ou distribuído: o modelo é tido como concentrado quando a variabilidade espacial das características hidrológicas incluídas no sistema modelado não é levada em conta, por outro lado, no distribuído os parâmetros e variáveis do modelo dependem do espaço e do tempo e representam a variabilidade espacial das propriedades físicas da bacia hidrográfica.

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização

A sub-bacia de Engenheiro Ávidos está localizada na região semiárida da Paraíba, no alto sertão paraibano, encontra-se no sudoeste do estado da Paraíba, entre a latitude - 6,98 e longitude -38,46, totalizando uma área de 1000,28 km² (PRH PIRANHAS-AÇU, 2015) conforme pode ser visualizado na Figura 2.

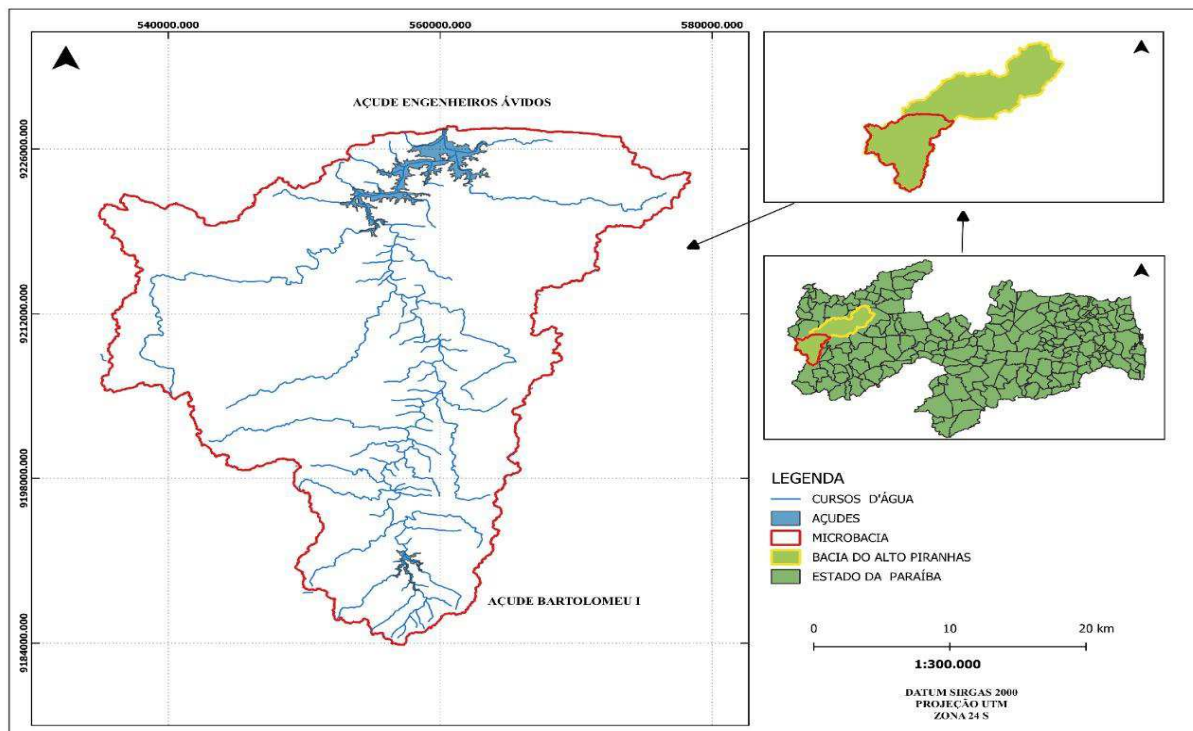


Figura 2 – Área da bacia do reservatório Engenheiro Ávidos

Fonte: Autoria própria.

No ano de 1932 teve início a construção da barragem de Engenheiro Ávidos pelo então engenheiro Moacir Ávidos, só no ano de 1936 a barragem foi concluída pelo engenheiro Sílvio Aderme. O reservatório de Engenheiro Ávidos compreende a principal reserva hídrica do Alto Curso do Rio Piranhas. Está localizado no município de Cajazeiras - PB, sendo responsável pelo abastecimento público da cidade de Cajazeiras e dos distritos de Gravatá e Engenheiro Ávidos, como também pela regularização da vazão do rio Piranhas.

3.1.2 Climatologia da região

A sub-bacia do reservatório de Engenheiro Ávidos está dentro da região chamada polígono das secas, área de clima quente e seco sobre a ação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), fenômeno meteorológico que caracteriza as condições do clima e de chuvas na região. Para Moura (2007), o fator preponderante para o acontecimento de chuvas na região Nordeste nos meses de janeiro a abril é a migração desse sistema meteorológico para o hemisfério sul, por influência dos fenômenos climáticos como o El Niño e a La Niña. Por outro lado, as chuvas “isoladas” que acontecem nos demais meses são resultados principalmente dos movimentos das massas de ar do Atlântico.

As temperaturas da região são altas, com variações anuais de 23 a 35°C a média registrada nas estações meteorológicas da sub-bacia, gira em torno de 26,6 °C por mês, variando entre 28,7 °C em novembro e 24,9 °C em junho. Os dados de umidade relativa do ar apresentam uma média mensal em torno de 62%, com período de menor umidade compreendendo os meses de setembro a novembro (SCIENTEC, 1997).

De todos os elementos que distinguem o clima de uma região, a precipitação e a evapotranspiração são os mais importantes dentro de um estudo de planejamento dos recursos hídricos. De acordo com o plano diretor de recursos hídricos da Paraíba, a média pluviométrica da sub-bacia de Engenheiro Ávidos é baixa e irregular com médias anuais de 861,2 mm, caracterizada pela presença de duas estações: a seca que consiste no verão tendo início no mês de setembro, se estendendo até dezembro e; a chuvosa, “batizada” pelo povo da região de inverno, iniciando no mês de janeiro até o mês de abril. Por outro lado, as taxas de evapotranspiração são muito altas, chegando a atingir mais de 2000 mm/ano, o que provoca um déficit hídrico expressivo e se firma em fator chave a ser analisado na operação dos reservatórios da região. (SCIENTEC, 1997).

3.1.3 Características físicas

A vegetação nativa na sub-bacia de Engenheiro Ávidos é de pequeno porte, compondo-se em sua totalidade de 21% de caatinga xerófila. Os solos da sub-bacia são resultantes da decomposição e desagregação das rochas cristalinas, sendo em sua maioria do tipo Podzólicos e Litossolo. Os Vertissolos e Luvisolos se apresentam menor proporção (SCIENTEC, 1997).

Até certo ponto a declividade de uma bacia hidrográfica tem forte influência na

velocidade do escoamento superficial e afeta o tempo que a água da chuva chega aos leitos fluviais que compõem a rede de drenagem (SCIENTEC, 1997).

3.1.4 Dados de Precipitação

Para a elaboração do trabalho foram utilizados dados mensais de precipitação, obtidos juntos a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AES/A), Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), Agência Nacional de Águas (ANA). O período estudado compreende um total de 24 anos (janeiro de 1996 a dezembro de 2019), com cinco postos pluviométricos na sub-bacia, Bonito de Santa Fé, Monte Horebe, São Jose de Piranhas, Arapuã e Carrapateira como pode ser visto na Figura 3.

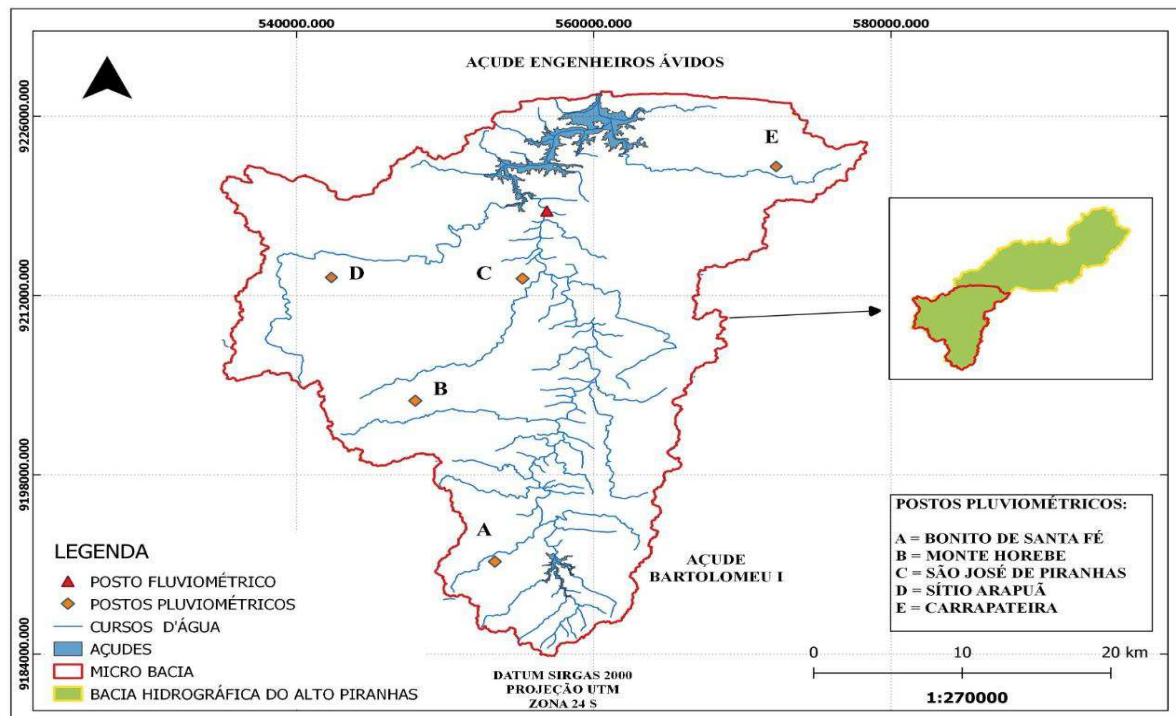


Figura 3 – Postos pluviométricos e fluviométrico da sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos.

Fonte: Autoria própria.

3.1.5 Dados de Vazão

Conceitualmente vazão é o volume de determinado fluido que passa por um determinado espaço, por unidade de tempo. Habitualmente a vazão é dada em litros por segundo (l/s), metros cúbicos por segundo (m^3/s), ou metros cúbicos por hora (m^3/h).

Para o desenvolvimento desse trabalho foram obtidos dados de vazões mensais da estação fluviométrica da sub-bacia de Engenheiro Ávidos junto ao Comitê de Bacia Hidrográfica do Piranhas-Piencó-Açu.

3.2 METODOLOGIA APLICADA

A etapa inicial dessa pesquisa se compôs em um levantamento de informações e dados da sub-bacia de Engenheiro Ávidos em seguida foi definido o método de modelagem hidrológica empregado no presente estudo, que será do tipo empírico, desenvolvida a partir de funções fundamentadas em análises estatísticas de correlação e regressão linear, apresentando descrição e compreensão da correlação existente entre as vazões médias mensais observadas e os totais mensais precipitados da sub-bacia de Engenheiro Ávidos, através da coleta de dados e construção de um modelo de simulação.

3.2.1 Aplicação do Método Thiessen

O método de Thiessen estima a precipitação média de uma bacia por meio dos registros de lâmina pluviométrica de determinada bacia e analisa a posição espacial dos postos, sem levar em conta o relevo. A metodologia baseia-se em unir os postos por meio de linhas retas formando assim um polígono, logo após são traçadas linhas perpendiculares as linhas que unem os postos, dividindo-as em duas partes iguais, essas linhas perpendiculares são prolongadas até se cruzarem com as outras, formando o polígono Thiessen e delimitando às áreas de influência de cada posto pluviométrico dentro da bacia hidrográfica (ONZI et al, 2014).

Desse modo, a precipitação média é obtida pelo método de Thiessen através da análise dos valores observados em cada posto e de suas áreas de influência, através da Equação (1):

$$\frac{P_m = A_x \cdot P_x + A_y \cdot P_y + A_z \cdot P_z}{A} \quad (1)$$

Em que: P_x , P_y e P_z , são as precipitações nos postos X, Y e Z, respectivamente; A_x , A_y e A_z , são as áreas de influência dos postos X, Y e Z, P_m é a precipitação média na bacia; A é a área da bacia, ou seja, corresponde à soma das áreas A_x , A_y e A_z .

3.2.2 Modelo de Regressão Linear Múltipla

Para identificar a correlação existente entre as vazões médias mensais observadas e os totais mensais precipitados foi aplicado ambos os dados ao Coeficiente de Correlação de Pearson (r). O coeficiente é uma mensuração da intensidade ou do grau de associação entre as variáveis avaliadas. O Coeficiente de Correlação de Pearson foi estabelecido em 1896 por Karl Pearson por essa razão o método estatístico para seu cálculo leva o seu nome. O cálculo de (r) é desenvolvido a partir dos dados históricos de vazões médias mensais e dos dados históricos de totais mensais precipitados na sub-bacia de Engenheiro Ávidos, segundo a Equação (2).

$$r = \frac{\sum(C - \bar{C})(Q - \bar{Q})}{\sqrt{\sum(C - \bar{C})^2 \sum(Q - \bar{Q})^2}} \quad (2)$$

Em que, r é coeficiente de correlação; C é a precipitação; Q é a vazão; \bar{C} é a média da precipitação observada; \bar{Q} é a média da vazão observada.

O modelo adotado nesta pesquisa trata-se de um modelo empírico de regressão linear múltipla, o mesmo fundamenta-se em uma coleção de técnicas estatísticas para que descrever de maneira aceitável relações entre várias variáveis, sem obrigatoriamente caracterizar o procedimento físico dos processos, o tornando de compreensível ajuste e análise. O modelo empírico de regressão linear múltipla é usado quando se tem a pretensão de ponderar uma variável cuja sua série histórica evidencia grandes analogias com outras variáveis, uma vez que essas analogias se unem ao caso que se deseja modelar. O presente trabalho busca avaliar as melhores variáveis para o modelo, como as vazões e as precipitações, variáveis essas que tornam o modelo mais preciso (MALFATTI, 2018).

Segundo Subramanyan (2007) o modelo de regressão linear múltipla provê a analogia entre uma determinada variável dependente e outras variáveis independentes, seus fatores são definidos pelo método dos mínimos quadrados, como podemos evidenciar na equação de regressão, Equação (3).

$$Q_i = b_0 + b_1P_1 + b_2P_2 + b_3P_3 + \dots + b_kP_k \quad (3)$$

Em que: o Q_i é a vazão a ser prevista; P_i são as variáveis escolhidas que contribuem

para a estimativa da vazão; b_0 é a intersecção da reta com o eixo de y; b_i são os coeficientes de regressão.

3.2.3 Método de seleção entrada e saída de variáveis independentes do modelo chuva-vazão.

O “forward stepwise” foi método de seleção de entrada e saída de variáveis no modelo hidrológico chuva-vazão. Com base na estimativa do R^2 ajustado verifica-se, a melhoria ou não do modelo chuva-vazão de acordo com a entrada e saída de variáveis independentes usando a metodologia “forward stepwise”.

Para Draper e Smith (1998), o método é executado de forma recíproca, inserindo e retirando variáveis, com base em um critério de escolha, sendo o teste F o critério usado para a seleção das variáveis que colaboram consideravelmente para a regressão.

De acordo com Draper e Smith (1998) podem-se encontrar variáveis que apresenta pequena influencia na variável resposta ou variável dependente do grupo de variáveis independentes, dessa maneira não colaborando para uma melhora da estimativa. O stepwise reduz o número de variáveis que constitui a equação de regressão, por conta que o mesmo é usado para incluir e retirar variáveis independentes de um modelo de regressão linear múltipla.

3.2.4 Avaliação do modelo

O comportamento do modelo será testado por meio de três funções, para diminuir a comparação entre as curvas de vazão estimada e observadas:

- Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE - Equação 4);
- Porcentagem de viés (PBIAS - Equação 5); e
- Raiz do erro quadrático médio (RMSE - Equação 6).

O Coeficiente de eficiência descrito pela Equação 4, foi apresentado por Nash e Sutcliffe no ano de 1970. O NSE vem sendo bastante usado em análises estatística de desempenho de modelos hidrológicos (MACHADO et al, 2017).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i^n (Q_i - V_i)^2}{\sum_i^n (Q_i - \bar{X}_i)^2} \quad (4)$$

Em que: Q_i é a vazão observada; V_i é a vazão simulada; e \bar{X}_i é a média da vazão observada.

O NSE tem variação entre $-\infty$ e 1,0. A eficiência ideal apresenta valor igual a 1,0, quando sua eficiência apresenta valor inferior a 0, indica que a média é um melhor preditor do que o modelo (MACHADO et al, 2017).

Responsável por medir a tendência dos dados simulados serem maiores ou menores do que os dados observados, a porcentagem de viés (PBIAS) tem seu valor ideal igual a 0, com valores baixos apontando uma simulação apurada (MACHADO et al, 2017). Representado pela Equação 5.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_i^n (V_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^n Q_i} \right] * 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

Em que: PBIAS é a porcentagem de viés; V_i é a vazão simulada; Q_i é a vazão observada.

Quando os valores de PBIAS são negativos apontam que o modelo minimiza esses valores, enquanto os positivos, indicam que o modelo está sobrestimando os valores de vazão. Foram estabelecidas diretrizes para ponderação dos modelos hidrológicos distribuindo os valores dos coeficientes NSE e PBIAS em quatro divisões (muito bom, bom, satisfatório e insatisfatório), esta proposta de avaliação foi definida por Moriasi et al. (2007), de acordo com Tabela 1.

Tabela 1 - Avaliação do desempenho de modelos a partir dos coeficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe e porcentagem de viés.

Avaliação do desempenho	Coefficientes de eficiência de Nash-Sutcliffe	Porcentagem de viés
Muito bom	$0,75 < NSE < 1,00$	$-10 < PBIAS < +10$
Bom	$0,65 < NSE < 0,75$	$+10 < PBIAS < +15$ ou $-15 < PBIAS < -10$
Satisfatório	$0,50 < NSE < 0,65$	$+15 < PBIAS < +25$ ou $-25 < PBIAS < -15$
Insatisfatório	$NSE < 0,50$	$PBIAS > +25$ ou $PBIAS < -15$

NSE: coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe; PBIAS: porcentagem de viés.

Fonte: Adaptado de Moriasi *et al.* (2007).

Esses coeficientes avaliam a harmonização do modelo com o escoamento superficial observado nas áreas de estudo. Para avaliação do volume escoado, será utilizado o valor da RMSE (root mean squared error) conforme a Equação 6, uma medida aceitável do erro absoluto das predições dos modelos (HARMEL & SMITH, 2007). O menor valor de RMSE aponta o melhor ajuste entre os valores observados e simulados.

$$RMSE = n^{-1} \sum_{i=1}^n [(V_i - Q_i)^2]^{0,5} \left(\frac{m^3}{s}\right) \quad (6)$$

Em que: RMSE é a raiz do erro quadrático médio; V_i é a vazão simulada; Q_i é a vazão observada.

Também está associado com coeficiente de determinação R^2 , a qualidade do ajuste da equação de regressão, o espalhamento quanto menor for, mais adequado será a representação dos valores observados. A variação do valor de R^2 ocorre entre 0 e 1. Caso seja igual a 1, será uma correlação acurada entre as séries históricas, em situação adversa a variância não explicita controlara o processo de combinações lineares múltiplas.

Na análise da eficácia da simulação do modelo hidrológico, serão usados os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe o C_{NS} e sua versão, e o desvio entre vazões observadas e simuladas D (LIEW *et al.*, 2003). A Equação 7 expressa o coeficiente de Nash-Sutcliffe C_{NS} .

$$CNS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{c_i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad (7)$$

Em que: C_{NS} são os coeficientes estatísticos de Nash-Sutcliffe, Q é a vazão observada e Q_c é a vazão calculada, ambas em $m^3/s.$, \bar{Q}_i é a vazão média observada

Liew et al. (2003) para analisar o desvio entre vazões simuladas e observada, estabeleceu os seguintes intervalos e avaliações qualitativas em D : $< 10\%$, muito bom; entre 10% e 15% , bom; entre 15% e 25% , satisfatório e $> 25\%$, evidencia que o modelo gera estimativas inapropriadas no que se refere à tendência, que é representada pela Equação 8.

$$D\% = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{c_i} - Q_i) * 100}{Q_i} \quad (8)$$

3.2.5 Calibração e Validação do Modelo

De acordo com Malfatti et. al (2018) a validação do modelo almeja alcançar o melhor ajuste, ou seja, definir o grau em que o modelo é apto de produzir uma representação precisa do mundo real com base na perspectiva de suas simulações.

Para o desenvolvimento e análise do modelo, os dados são divididos em duas partes, a primeira parte é usada na calibração, para regular a equação de regressão, já a segunda parte é utilizada na validação, confrontando o conjunto de pares previsão-observação, da qual a observação não foi inserida na calibração. Este método é geralmente empregado no processo de modelagem empírica, com o intuito de obter o melhor ajuste e desempenho do modelo por meio dos preditores considerados (MALFATTI et. al 2018).

A calibração e a validação do modelo hidrológico serão efetuadas com os dados hidrológicos das séries históricas e os dados simulados. A Equação (9) expressa o coeficiente de correlação que será usado para atesta à qualidade do ajuste do modelo.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})(Q_i - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}} \quad (9)$$

Em que: r = coeficiente de correlação V_i é a vazão simulada; Q_i é a vazão observada; \bar{V}_i é a média da precipitação observada; \bar{Q}_i é a média da vazão observada.

O modelo será visto como válido se o mesmo estiver apto ao ponto de reproduzir a quase realidade, ou seja, está dentro dos valores aceitáveis nas equações do modelo. Esse trabalho é efetuado empregando uma avaliação na saída do modelo, com base em um período não analisado na calibração. Esta avaliação representa o reconhecimento de possíveis limitações do modelo, que sejam capazes de requerer um novo processo de ajuste e validação. Se for o caso do modelo empírico, poderia aumentar a série histórica, acrescentando períodos mais atuais de observação, bem como a adição de outros preditores (MALFATTI et al. 2018).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados analisados e obtidos nesse trabalho, como também as tentativas de melhoramento das variáveis com o intuito de se obter um melhor R^2 ajustado, foram gerados com o auxílio do software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versão 20.0, com exceção da aplicação do método Thiessen para calcular as medias mensais precipitadas na sub-bacia, o mesmo foi desenvolvido com uso do software livre de sistema de informações geográficas QGIS versão 3.14.16 2020, para o traçar dos polígonos de Thiessen definindo as áreas de influência de cada posto na bacia.

As médias mensais precipitadas foram obtidas através do método de Thiessen, ao qual foram acrescentados mais três postos (Cachoeira dos Índios, Cajazeiras e Serra Grande) que não fazem parte da área real da sub-bacia, mas como a metodologia do método faz uso de postos fora da área da bacia estudada, esses foram escolhidos para aplicação do método por serem próximos da região e por influenciarem tanto na vazão no exutório da sub-bacia como na área da mesma, na Figura 4 observa-se a sub-bacia com todos os postos e a Tabela 2 verificam-se os postos pluviométricos com suas respectivas latitudes e longitudes e área de influência de Thiessen.

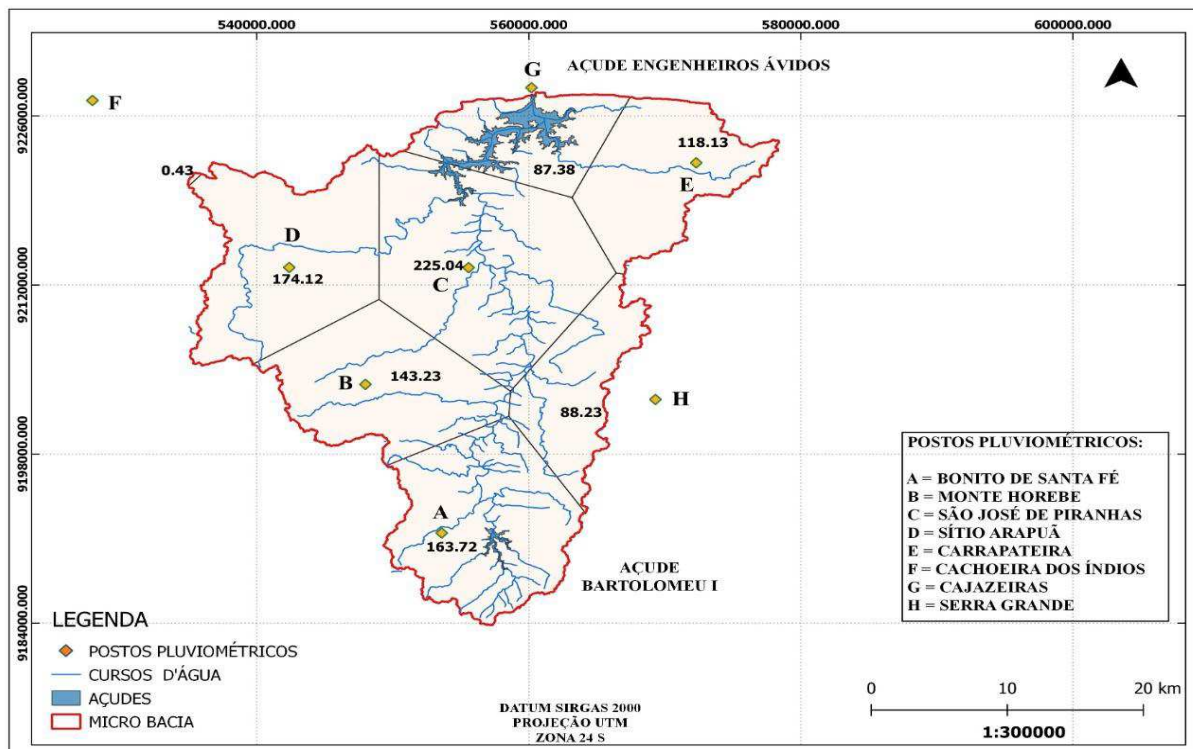


Figura 4 – Sub-bacia do reservatório Engenheiro Ávidos com aplicação do método Thiessen.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Área e postos pluviométricos selecionados da região da sub-bacia de Engenheiro Ávidos.

Posto – referência	Latitude (°)	Longitude (°)	Área (km ²)	Nome da estação
A	-7,31	-38,51	163,72	Bonito de Santa Fé
B	-7,20	-38,57	143,23	Monte Horebe
C	-7,12	-38,50	225,04	São José de Piranhas
D	-7,07	-38,58	174,12	Arapuã
E	-7,04	-38,35	118,13	Carrapateira
F	-6,93	-38,68	0,43	Cachoeira dos Índios
G	-6,98	-38,45	87,38	Cajazeiras
H	-7,21	-38,37	88,23	Serra Grande

Fonte: Autoria própria.

A identificação da correlação obtida através do cálculo do (r), foi desenvolvida a partir dos dados históricos de vazões médias mensais e dos dados históricos de totais mensais precipitados na sub-bacia de Engenheiro Ávidos, a Tabela 3 são apresentados os postos pluviométricos e respectivos valores da correlação.

Tabela 3 – Coeficiente de Correlação de cada posto pluviométrico.

Postos pluviométricos	Correlação
Bonito de Santa Fé	0,589
Monte Horebe	0,552
São José de Piranhas	0,620
Arapuã	0,594
Carrapateira	0,599
Cachoeira dos Índios	0,539
Cajazeiras	0,624
Serra Grande	0,394

Fonte: Autoria própria.

O posto pluviométrico que apresentou a melhor correlação foi o de Cajazeiras 0,624 (Tabela 3), partindo daí, foram feitas várias simulações com todos os postos pluviométricos, com o intuito de se obter o melhor R² ajustado, como pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores dos R^2 ajustados obtidos pelas simulações com todos os postos pluviométricos.

Cenário 01		Cenário 02		Cenário 03		Cenário 04	
Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus
A	0,345	GA	0,397	GCA	0,404	GCBA	0,419
B	0,302	GB	0,385	GCB	0,41	GCBD	0,414
C	0,382	GC	0,403	GCD	0,407	GCBE	0,408
D	0,351	GD	0,386	GCE	0,401	GCBF	0,411
E	0,357	GE	0,388	GCF	0,408	GCBH	0,408
F	0,289	GF	0,385	GCH	0,401		
G	0,387	GH	0,386				
H	0,152						
Cenário 05		Cenário 06		Cenário 07		Cenário 08	
Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus	Postos	R ² Ajus
GCBAD	0,421	GCBADE	0,42	GCBADDEF	0,423	GCBADDEFH	0,421
GCBAE	0,417	GCBADF	0,424	GCBADEH	0,418		
GCBAF	0,421	GCBADH	0,419				
GCBAH	0,417						

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a Tabela 4, o R^2 ajustado com todos os postos pluviométricos não foram satisfatórios, obtendo um valor de 0,421. Então pelo método de “*forward stepwise*” que consiste em colocar e retirar postos para se conseguir o melhor resultado, o primeiro posto selecionado foi o de Cajazeiras, já que o mesmo obteve a maior correlação. Aplicado o método o cenário dos postos que apresentaram o melhor resultado foram G, C, B, A, D, F com um valor de 0,424 que também não é o ideal.

Com os resultados de vazões estimadas geradas pelo modelo presente na tabela do Apêndice A, foram elaborados gráficos de dispersão entre os valores estimados e observados contemplando todos os postos (Gráfico 1).

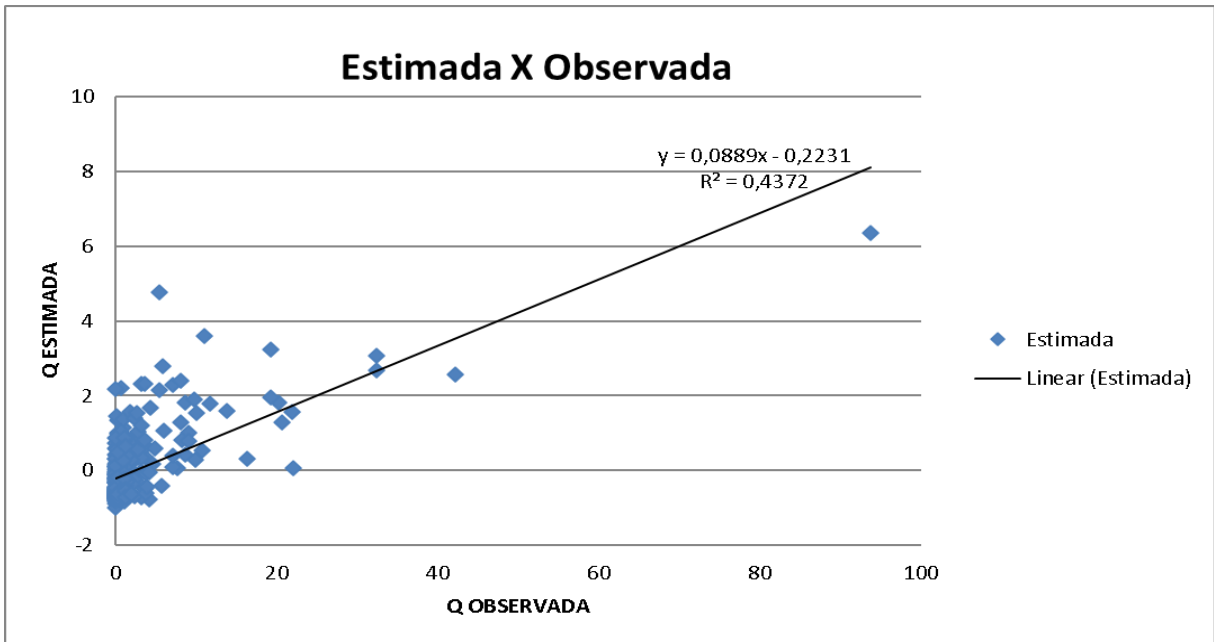


Gráfico 1 – Gráfico de dispersão entre vazões estimada e observada com todos os postos.
Fonte: Autoria própria.

No Gráfico 2 os postos (G, C, B, A, D, F) que obtiveram o melhor R^2 ajustado, pode ser observado que o resultado não proporcionou um bom espaçamento dos dados em nenhum dos casos, assim entende-se que não há uma boa correlação entre as duas variáveis pois quanto menor a dispersão dos pontos em torno da reta, melhor será o resultado da modelagem.

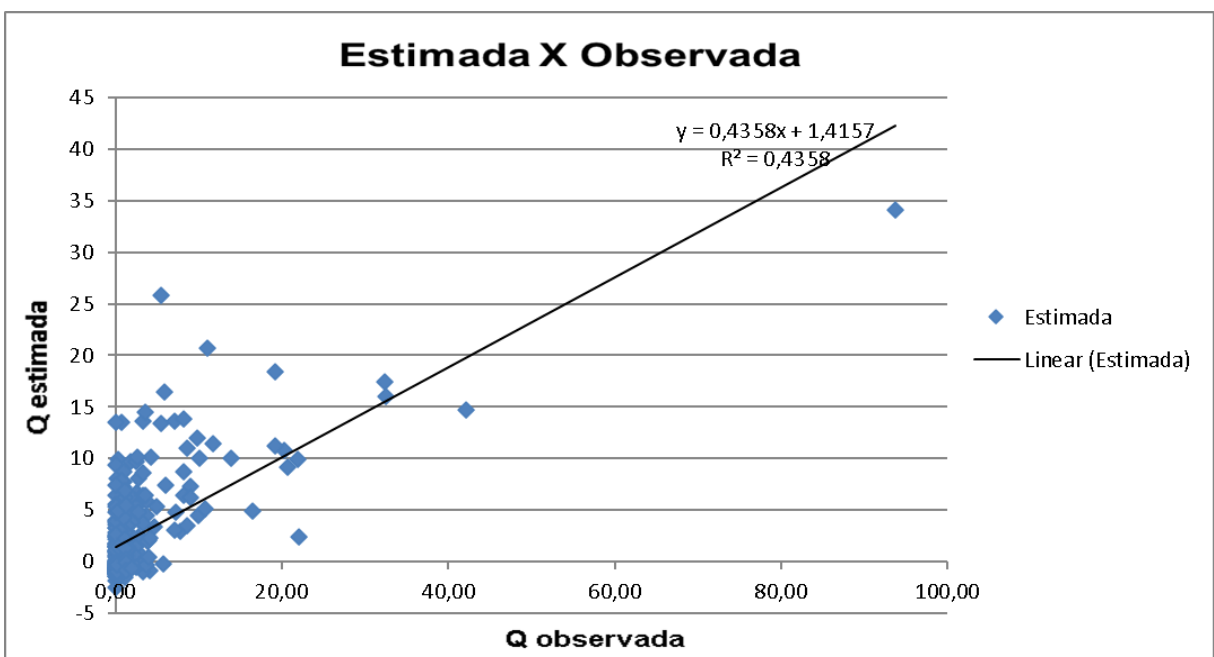


Gráfico 2 – Gráfico de dispersão entre vazões observada e simulada com os postos G, C, B, A, D, F.
Fonte: Autoria própria.

A simulação das vazões foi efetuada utilizando-se a Equação (2) com todos os postos pluviométricos incluídos na modelagem. Na Tabela 5 observam-se os valores dos coeficientes $b_0, b_1, b_2, \dots, b_8$ da equação de regressão.

Tabela 5 – Valores dos coeficientes de regressão do modelo com todos os postos pluviométricos.

Coeficientes de regressão								
b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8
-1,070	0,020	-0,029	-0,042	-0,022	0,007	-0,014	0,038	0,002

Com base nas vazões estimadas e observada, calcularam-se os índices do modelo proposto. A Tabela 6 exibe os valores desses índices. Como o valor do NSE não está próximo de 1, então a avaliação do desempenho do modelo por Nash-Sutcliffe é considerada insatisfatória (Tabela 1), pois o mesmo possui valor igual a 0,437. Já o PBIAS apresenta um valor muito abaixo do valor ótimo que é 0, portanto esse valor negativo indica que o modelo não é válido. O RMSE e o CNS não podem ser considerados válidos, pois ambos têm valores bastante inferiores ao da perfeita correlação que é 1,0, portanto, o modelo não pode ser considerado para simulação das vazões. Já o D% apresentou um valor muito baixo, o que caracteriza que o modelo reproduz estimativas inadequadas. O R^2 apresentou um valor bastante baixo, como pode ser visto na Tabela 06.

Tabela 6 – Índices do modelo com todos os postos .

Índices do modelo					
NSE	PBIAS	RMSE	CNS	D%	R^2
0,437	-2,9E-06	0	0,437	-272984	5,71917E-13

Em seguida foram simuladas as vazões, utilizando os postos que apresentaram o melhor resultado G, C, B, A, D, F. A Tabela 7 observam-se os coeficientes de regressão da nova simulação das vazões. Com os valores simulados e observados calcularam-se os índices.

Tabela 7 – Valores dos coeficientes gerado pelo modelo com os postos selecionados.

Coeficientes de regressão						
b0	b1	b2	b3	b4	b5	b6

-0,994	0,041	0,043	-0,029	0,021	-0,020	-0,012
--------	-------	-------	--------	-------	--------	--------

De acordo com a Tabela 8 o NSE foi considerado insatisfatório já que o seu valor foi menor do que 0,50. O PBIAS apresentou um valor muito baixo, de tal forma não validando o modelo. O RMSE e o CNS como na simulação anterior não podem ser considerados validos, pois ambos têm valores bastante inferiores ao da perfeita correlação que é 1,0. O D% apresentou um valor bastante baixo, da mesma forma da simulação anterior. E por fim o R^2 também apresentou um valor muito baixo, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 – Índices do modelo com os postos selecionados.

Índices do modelo					
NSE	PBIAS	RMSE	CNS	D%	R^2
0,436	2,47E-05	0	0,436	-253442	5,73674E-13

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos apresentados, com a aplicação do modelo de regressão linear multivariado chuva-vazão, verifica-se que os valores dos coeficientes de determinação ajustado (R^2) foram muito baixo em todas simulações. Outra tentativa foi a de entrar com os dados no modelo com postos pluviométricos previamente escolhidos de acordo com os coeficientes de correlação entre a variável vazão e a variável precipitação de cada um dos postos pluviométricos. Feito isso, os resultados apresentados também não foram satisfatórios, pois o R^2 ajustado continuou muito baixo.

Assim, pode-se concluir que os resultados obtidos nesta pesquisa para simular vazões médias mensais utilizando o modelo empírico chuva-vazão de regressão linear multivariado, não se ajusta aos dados da sub-bacia hidrográfica do reservatório Engenheiro Ávidos, ou seja, o modelo não se aplica a essa sub-bacia.

Diante disso sugere-se que em futuras pesquisas sejam utilizados modelos como os de redes neurais artificiais, haja vista que esses ~~modelos~~ vem se consolidando em escala mundial como uma nova e eficiente ferramenta para aplicação em problemas complexos que manipula grande massa de dados para serem analisados e modelados por meio de aspectos matemático-estatísticos e computacionais, ou pelo modelo de regressão por análise de componentes principais, também conhecido como CPA (Principal Component Analysis).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agencia Nacional de Águas. Alocação de água. 2020 – PB. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/acudessemiarido/PB/EngenheiroAvido_SaoGoncalo/EngAvidosSaoGoncalo.png>. Acesso em: 20 de julho de 2020.

ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, Curitiba - PR, v. 20, n. 1, p. 129-137, 2017.

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, v. 17, n. 1, p. 69-76, 2013.

AQUINO, A. M. Análise dos impactos ambientais decorrentes do processo intensivo de uso e ocupação do solo ocorrido na microbacia do Córrego do Barbado, Cuiabá-MT. 2013. 96 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2013.

ANA - Agência Nacional de Águas. Relatório de Segurança de Barragens. Brasília – DF, 2014.

ARAGÃO, T. G. Transposição das águas do rio São Francisco para a bacia do rio Paraíba: uma avaliação da sinergia e sustentabilidade hídrica utilizando o modelo de rede de fluxo AcquaNet. 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

AZEVEDO, G. T., PORTO, R. L. L. e ZAHED FILHO, K. (1997). “Modelos de simulação e de rede de fluxo.” In: Porto, R. L. L. (org.). *Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos*, Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil, 165 - 237.

BARBOSA, D. L. A Exploração de um Sistema de Reservatórios: Uma Análise Otimizada dos Usos e Objetivos Múltiplos na Bacia do Rio Capibaribe-PE. 2008. 258f. Tese (Programa de Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina

Grande, Paraíba, 2008.

BARRELLA, W; PETRERE JR, M; SMITH, W; MONTAG, L. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BATISTA, D. F. **Análise quali-quantitativa das águas, solos e sedimentos da bacia hidrográfica Ribeirão Santo Antônio-GO**. 2018. 242 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2018.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas. Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 2001.

BRASIL. LEI n.º 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1997.

BRITO, A. K. H. O impacto do período chuvoso de 2017 na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do meio. TCC, (Graduação Engenharia Civil), Centro Universitário CESMAC, Maceió – AL. 2018.

CBDB – Comissão Brasileira de Barragens. A História das Barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: Cinquenta Anos do Comitê Brasileiro de Barragens. [coordenador, supervisor, Flavio Miguez de Mello; editor, Corrado Piasentin]. - Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

CELESTE, A. B.; SUZUKI, K.; SANTOS, V. S. Análise de Indicadores de Sustentabilidade para reservatórios operados por regras derivadas de otimização estocástica implícita. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

CENTENARO, L. Avaliação da operação de um sistema de pequenas centrais hidrelétricas em cascata com utilização de vazões previstas. 2017. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CESAMA. Companhia de Saneamento Municipal. **Água no planeta**. Disponível em: <www.cesama.com.br/pesquisa-escolar/agua-no-planeta>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens. **As Barragens e a Água no Mundo: Um Livro Educativo que explica como as Barragens Ajudam a Administrar a Água no Mundo**. Tradução: Texto Faz Comunicação S/S Ltda. Paraná. 2008.

CRUZ, D. C.; RIVERA, M. E. Distribución del recursos hídricos de la microcuenca La Quiña, Departamento de Boyacá, Colombia. **Revista Ambiental Água, Ayre y Suelo**, [S.l.], v. 5, n. 1, p.1-19, 2014.

DRAPER, Norman R.; SMITH, Harry. **Análise de regressão aplicada**, Estados Unidos, 3ª edição, John Wiley & Sons, 1998. 736 p.

FARIAS, S. R. A. Operação Integrada dos Reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo. 2004. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

GARRIDO, J. M. (2003). Aplicação de modelo matemático de simulação com utilização de SIG à bacia do rio Jiquiriçá - Bahia. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, publicação PTARH.DM-063A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE. BR**, v. 2, n. 3, p. 01-21, 2004.

GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas. In: POMPÊO, M. et al. (Org.). **Ecologia de reservatórios e interfaces**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015. p. 434-447.

HACHEM, B. P. Análise do comportamento da precipitação e da vazão em bacias hidrográficas amazônicas. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,

Instituto de Tecnologia, Belém, 2016. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

HARMEL, R.D. & SMITH, P.K. *Consideration of measurement uncertainty in the evaluation of goodness-of-fit in hydrologic and water quality modeling*. **Jornal de Hidrologia**, v. 337, n. 3-4, p. 326-336. 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

LABADIE, J. W. Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review. **Journal of Water Resources Planning and Management**. v. 130, n.2, p.93-111, 2004. Disponível em: <[https://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2004\)130%3A2\(93\)](https://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130%3A2(93))>

LIEW, M. W. Van.; ARNOLD, J. G.; GARBRECHT, J. D. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: choosing between two models. *Transações do ASAE*, 46, 1539-1551. 2003.

LIMA, R. M. A. Gestão da água em edificações: utilização de aparelhos economizadores, aproveitamento de água pluvial reuso de água cinza. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

LIMA, L. G. Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios estratégicos da sub-bacia do Alto Piranhas - PB. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F. D.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA NETO, D. H. D.; & PINTO, M. F. 2008. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 2113-2123, 2008.

MACHADO, Aline Ribeiro; MELLO JUNIOR, Arisvaldo Vieira; WENDLAND, Edson Cezar. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p.

327-340, abr. 2017. Disponível em <www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522017000200327&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 12 ago.2020. Epub19-Jan-2017.

MALFATTI, M. G. L.; CARDOSO, A. O.; HAMBURGER, D. S. Modelo Empírico Linear para Previsão de Vazão de Rios na Usina Hidrelétrica de Itaipu–Bacia do Rio Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 257-268, 2018.

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

MARQUES, C S. & LIMA, J. C. M. A. Importância dos sistemas de drenagem urbana estudo de caso: Guairaçá-PR. 2018. Monografia, Universidade Paranaense – UNIPAR, Paraná, 2018.

MCKINNEY, D. C. e CAI, X. (2002). “Linking GIS and water resources management models: an object-oriented method.” *Environmental Modelling and Software*, 17, 413 - 425.

MORAES, J. M. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 8, p.61-70. 2002.

MORIASI, D.N.; ARNOLD, J.G.; VAN LIEW, M.W.; BINGNER, R.L.; HARMEL, R.D.; VEITH, T.L. *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. **Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

MOTA, S. (1995). *Preservação e Conservação de Recursos Hídricos*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, Associação Brasileira de Instituições Financeiras de Desenvolvimento, Banco do Nordeste do Brasil.

MOURA, E. M. Avaliação da Disponibilidade Hídrica e da Demanda Hídrica no Trecho do Rio Piranhas-Açu entre os Açudes Coremas-Mãe D’água e Armando Ribeiro Gonçalves. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

NASCIMENTO, F. H.; Avaliação do efeito orográfico na distribuição da precipitação em fundão e Santa Teresa no período de 1947 a 2012. 2013. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013.

NEVES, F. F. Análise prospectiva das áreas de risco à erosão na microbacia hidrográfica do Rio Bonito (Descalvado – SP), potencialmente poluidoras por dejetos de granjas. 2005. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ONZI, J. G., MASCARELLO, G. P., SEGATTO, J., BUENO, P. F., & VARGAS, T. Monitoramento pluvial na bacia hidrográfica Taquari-Antas. 2014 In: **II Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG**. Caxias do Sul - RS. 2014.

PEREIRA, M. P. R.; TENENWURCEL, M, Á.; SILVA, E. F.; COSTA, A. M. Participação popular nos comitês de bacia hidrográfica. Do discurso a prática na sub-bacia do Ribeirão Jequitibá – MG. In: I SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA E GESTÃO TERRITORIAL E XXXIV SEMANA DE GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 2018, Londrina. *Anais...* Londrina: UEL, 2018. v.1, p. 492 – 502.

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos. Síntese Executiva - português / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. - Brasília: MMA, 135p, 2006.

PNRH - PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS: Prioridades 2012-2015. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. Câmara Técnica do Plano Nacional de Recursos Hídricos - CTPNRH Brasília, 2011.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRH PIRANHAS-AÇU - Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Piranhas-Açu / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2014. Resumo Executivo, 2015.

RODRIGUES, L. N. ; PRUSKI, F. F. . Fundamentos e benefícios do sistema de integração

lavoura-pecuária-floresta para os recursos hídricos.. In: Davi José Bungenstab;Roberto Giolo de Almeida;Valdemir Antônio Laura;Luiz Carlos Balbino;André Dominghetti Ferreira.. (Org.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta.. 1ed.Campo Grande: EMBRAPA, 2019, v. 1, p. 182-194. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202851/1/CAP-13-LINEU.pdf>>

REIS, C. Q. Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo-PB. 2014. Dissertação. (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais) Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Pombal, v. 3, n. 1, p. 30, 2014.

SANTOS, V. S. Modelo de Otimização Quali-Quantitativo Multiobjetivo para o Planejamento dos Recursos Hídricos Superficiais, com aplicação à Bacia do Rio Paraíba. 2011. 170 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Cadernos de Educação Ambiental, 14: Recursos Hídricos. São Paulo, SP, 2011.

SCHUARTZ, Y. N. H. Avaliação da precipitação estimada por sensor orbital no Pantanal Mato-Grossense. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Cuiabá, UNIC, Cuiabá, 2019.

SCIENTEC. Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba: Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas. Governo do Estado da Paraíba; Secretaria do Planejamento, SEPLAN. João Pessoa, 1997.

SILVA, M. V. A. Aspectos hidrogeológicos conceituais da região do condomínio Riviera do Lago – Araxá MG Setembro – 2011.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2007. p. 35-51.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. Universidade Estadual

Paulista, Campus de Ourinhos/SP. Belo Horizonte, Vol. 9, nº 2, p. 75-86, 2013.

SOUSA, W. S. Rede neural aplicada à previsão de vazões médias mensais da bacia hidrográfica do rio Piancó. 2008. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, 78pg. 2008.

STEYAERT, L.T. A perspective on the state of environmental simulation modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 3, p. 16-30.

SUBRAMANIAN, A.; SILVA, L. B.; COUTINHO, A. S. *Aplicação de método e técnica multivariados para previsão de variáveis termoambientais e perceptivas*. **Production**, v. 17, n. 1, p. 52-70, 2007

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-32, 2003.

TUCCI, C. E. M. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Ed. Universidade/UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, Brasil.

TUCCI, C. E.M.; MENDES, C.A. **Curso de Avaliação Ambiental Integrada de Bacia** – Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Qualidade Ambiental – Rhama Consultoria Ambiental 2006.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007. p. 253-287

APÊNDICE A – TABELA DE DADOS DE VAZÃO MÉDIA MENSAL OBSERVADA, PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E VAZÃO ESTIMADA

Ano	Vazão	Cajazeiras	S. J de Piranhas	Monte Horebe	B. Santa Fé	Arapuã	Cachoeira dos Índios	Carrapateira	Serra Grande	Estimada	Estimadas postos (GCBADF)
jan/96	0,27	298,00	226,20	171,00	50,00	222,07	233,30	155,50	47,50	9,14636	9,87208
fev/96	2,91	235,00	172,50	232,40	71,70	223,22	178,00	264,80	72,00	4,65596	4,31502
mar/96	8,64	227,80	287,80	213,20	154,10	188,88	251,40	260,80	201,30	11,3999	11,05733
abr/96	42,12	452,60	303,20	218,80	101,00	398,90	314,50	412,40	238,00	15,18883	14,73959
mai/96	13,84	179,60	202,70	121,40	114,10	123,43	126,20	181,00	164,30	10,32462	10,05066
jun/96	0,58	16,10	39,40	13,60	12,60	11,05	17,00	9,40	147,70	0,95283	0,80824
jul/96	0,03	0,00	3,40	16,20	0,00	3,43	2,00	4,30	0,00	-1,46642	-1,40712
ago/96	0,01	0,00	7,20	0,00	0,00	3,65	20,00	15,80	124,00	-0,7656	-1,00396
set/96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
out/96	0,00	0,00	7,60	34,80	0,00	8,16	3,20	0,00	40,20	-1,89669	-1,87161
nov/96	0,00	0,00	26,80	36,20	10,50	9,87	134,20	60,20	0,00	-2,41587	-2,50512
dez/96	0,00	10,00	9,70	9,00	39,00	10,23	6,00	19,20	17,80	0,1031	0,13247
jan/97	0,68	324,70	257,80	189,80	160,70	232,27	267,50	265,00	144,30	13,42299	13,53518
fev/97	0,84	68,40	103,40	111,30	104,00	66,10	114,40	114,80	145,80	2,85396	2,56231
mar/97	9,05	263,50	142,60	212,00	227,90	247,60	208,40	262,40	185,30	7,43972	7,28124
abr/97	9,95	190,70	114,80	110,80	94,50	164,74	234,00	106,40	113,80	3,96127	4,48165
mai/97	7,71	132,50	82,70	138,00	114,40	113,13	108,90	118,40	100,90	2,87255	2,91065
jun/97	0,07	4,70	0,00	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00	56,30	-0,82713	-0,84417
jul/97	0,22	20,00	10,60	39,80	22,00	12,77	23,80	0,00	0,00	-1,17103	-0,93195
ago/97	0,05	23,50	2,50	12,20	2,50	11,32	2,10	36,60	82,80	-0,21986	-0,46257
set/97	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,03575	-0,95927
out/97	0,00	2,40	7,00	27,60	0,00	2,49	1,20	0,00	0,00	-1,55027	-1,45216
nov/97	0,01	22,50	106,00	96,00	34,20	30,16	69,50	37,30	53,50	0,93026	0,99035
dez/97	0,02	86,90	8,60	19,40	28,00	62,65	59,40	46,40	79,20	0,93499	1,03076
jan/98	1,04	271,50	151,00	104,60	86,80	258,96	213,90	296,30	90,20	8,13437	7,74333

fev/98	1,65	121,20	113,70	73,80	56,60	130,52	141,40	69,60	63,20	3,21842	3,62773
mar/8	2,27	121,20	121,00	166,40	151,20	87,47	74,80	125,90	131,30	5,10117	4,98698
abr/98	2,75	121,80	108,20	144,80	168,70	78,21	79,50	90,20	28,20	5,24057	5,5882
mai/98	0,00	7,00	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,58075	-0,48057
jun/98	0,03	12,20	9,80	6,40	0,00	7,64	6,50	0,00	74,80	-0,47933	-0,48538
jul/98	0,02	40,60	7,80	10,00	8,00	8,36	12,10	0,00	25,20	0,39295	0,59177
ago/98	0,00	22,60	0,00	0,00	0,00	4,04	2,30	0,00	117,40	-0,08853	-0,16542
set/98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
out/98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,00	-1,01249	-0,9935
nov/98	0,00	0,00	0,00	3,20	0,00	0,82	1,00	0,00	0,00	-1,19349	-1,11412
dez/98	0,00	3,50	30,20	17,40	0,00	34,52	8,00	12,60	12,20	-0,9094	-0,84971
jan/99	0,09	176,60	229,10	148,20	100,90	172,15	94,30	206,40	107,00	9,73383	9,41251
fev/99	0,39	103,10	131,70	93,60	114,00	86,86	134,90	97,00	140,40	5,22752	5,26582
mar/9	7,15	260,70	302,90	192,40	206,50	281,19	191,20	268,20	204,30	13,82889	13,66381
abr/99	3,68	121,20	109,80	88,90	68,80	86,00	114,40	93,60	45,00	4,32658	4,51602
mai/99	8,19	222,80	88,70	68,60	65,30	183,04	113,20	177,60	143,40	6,55274	6,39525
jun/99	0,15	10,30	11,40	7,20	0,00	4,96	0,00	0,00	60,00	-0,38982	-0,38523
jul/99	0,01	0,00	6,00	5,40	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00	-1,00956	-0,92648
ago/99	0,00	0,00	6,80	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	59,00	-0,77634	-0,80052
set/99	0,01	14,20	7,20	0,00	0,00	10,28	0,00	24,40	0,00	-0,27215	-0,30342
out/99	0,01	25,20	3,80	18,00	7,50	19,96	16,50	63,00	15,80	-0,50098	-0,74649
nov/99	0,01	72,20	27,80	24,80	55,10	34,45	40,00	0,00	0,00	1,96105	2,4732
dez/99	0,27	195,30	201,90	212,20	128,50	126,56	142,60	74,00	52,00	7,29518	8,1033
jan/00	0,94	153,00	160,10	152,20	104,20	128,89	156,60	49,70	74,10	4,78749	5,54519
fev/00	10,07	278,90	264,70	274,00	197,60	263,34	242,60	313,80	70,40	10,11386	9,97952
mar/0	20,20	221,20	203,60	128,60	232,40	213,91	254,70	316,00	199,60	11,38494	10,74078
abr/00	20,61	185,50	240,30	218,40	220,40	155,45	254,70	162,60	146,40	8,82021	9,172
mai/00	2,94	41,10	31,00	19,00	39,00	49,12	48,40	62,80	8,20	0,76832	0,74347
jun/00	0,50	28,00	24,10	7,20	0,00	18,82	13,00	42,40	273,80	1,06408	0,45408

jul/00	0,19	10,10	57,60	23,80	3,00	22,04	31,50	24,00	10,20	0,39893	0,44075
ago/00	0,11	34,60	9,90	14,60	6,00	26,55	14,30	15,00	0,00	-0,29137	-0,13576
set/00	0,06	4,00	29,40	8,20	82,60	5,96	6,00	0,00	218,20	1,94556	1,76814
out/00	0,01	14,00	0,00	0,00	0,00	8,46	2,20	0,00	7,00	-0,73101	-0,61023
nov/00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,20	-1,0298	-0,9935
dez/00	0,02	62,80	109,30	99,60	45,00	78,51	86,50	70,80	25,30	1,62602	1,7482
jan/01	0,00	10,10	76,40	121,80	30,00	9,59	68,40	5,40	33,60	-1,42637	-1,1937
fev/01	0,13	149,30	131,70	184,80	95,00	115,13	99,40	201,60	69,30	4,4539	4,02113
mar/1	5,50	249,50	318,20	247,80	277,80	239,30	290,90	275,80	55,80	13,15538	13,41027
abr/01	0,53	34,30	91,30	82,00	5,50	20,65	77,70	22,60	22,60	0,52877	0,73034
mai/01	0,02	2,60	16,00	15,60	0,00	1,25	6,50	0,00	11,40	-0,83916	-0,75399
jun/01	0,16	30,90	35,90	40,00	54,00	23,05	36,60	15,00	25,20	0,70126	0,91775
jul/01	0,01	9,20	1,80	5,40	0,00	5,89	2,00	0,00	149,60	-0,65685	-0,83321
ago/01	0,01	16,70	2,40	3,00	0,00	9,34	4,30	20,00	0,00	-0,53479	-0,525
set/01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	58,20	-0,95507	-0,9935
out/01	0,00	12,50	20,00	26,60	73,00	12,51	20,40	0,00	0,00	0,38398	0,67628
nov/01	0,00	1,60	10,90	2,80	5,50	1,37	2,20	0,00	11,40	-0,5571	-0,47808
dez/01	0,04	104,80	173,90	107,80	134,80	80,72	202,00	65,00	145,70	6,07503	6,48081
jan/02	5,50	387,40	448,80	232,80	302,00	275,74	220,80	390,40	131,60	26,0089	25,79295
fev/02	2,74	64,30	90,00	85,40	98,30	59,32	132,70	35,40	123,20	2,06421	2,35345
mar/2	11,73	238,20	202,40	140,20	188,10	218,58	141,40	205,00	133,30	11,326	11,40776
abr/02	4,64	123,60	47,50	21,20	32,80	103,13	60,90	86,40	69,80	3,39444	3,43467
mai/02	5,68	124,50	123,50	187,80	53,20	153,31	186,90	226,40	114,40	0,46833	-0,18062
jun/02	0,91	34,00	51,80	24,00	5,10	37,20	74,50	62,00	25,40	0,48387	0,39077
jul/02	0,04	0,00	11,60	29,60	0,00	4,46	0,00	5,20	148,00	-1,20517	-1,43743
ago/02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
set/02	0,00	0,00	3,40	0,00	6,20	0,00	0,00	0,00	4,80	-0,79346	-0,71539
out/02	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	9,44	3,20	0,00	0,00	-1,23797	-1,14175
nov/02	0,00	11,00	5,00	8,00	0,00	5,30	7,30	8,00	63,00	-0,70231	-0,74929

dez/02	0,00	20,50	36,60	33,00	0,00	20,44	32,30	46,70	0,00	-0,25169	-0,33249
jan/03	0,23	213,70	139,90	160,60	174,70	165,73	132,40	140,60	39,20	7,52411	8,01945
fev/03	0,76	83,30	69,50	105,60	74,00	127,02	100,20	115,60	103,70	0,3625	0,19779
mar/3	6,04	252,00	191,30	227,80	170,40	223,21	228,20	243,50	259,20	7,72556	7,4533
abr/03	9,00	200,60	158,80	86,40	52,30	203,25	198,40	197,30	153,90	6,43473	6,23349
mai/03	2,15	84,20	49,30	87,60	20,90	52,42	62,80	62,40	103,80	0,77133	0,71385
jun/03	0,30	22,80	20,50	9,40	7,50	16,57	26,10	27,20	0,00	0,02159	0,06635
jul/03	0,05	9,50	7,20	3,60	0,00	8,87	7,30	17,00	0,00	-0,67844	-0,66292
ago/03	0,01	0,00	2,50	0,00	0,00	7,64	2,20	0,00	99,40	-0,96432	-1,06748
set/03	0,01	0,00	2,00	19,40	26,00	0,00	0,00	0,00	25,30	-0,98027	-0,90909
out/03	0,00	0,00	26,90	4,40	0,00	2,32	0,00	13,00	14,00	0,00693	-0,01549
nov/03	0,00	6,00	26,90	11,20	9,50	3,75	6,20	13,00	0,00	0,08581	0,13647
dez/03	0,00	32,00	77,90	13,40	9,00	36,20	28,40	72,40	35,80	2,64145	2,39771
jan/04	3,23	280,80	372,60	362,80	400,00	294,48	424,90	357,40	340,80	13,84706	13,59312
fev/04	32,43	290,80	321,40	293,40	359,60	284,75	190,10	225,20	292,20	15,69713	16,0193
mar/4	16,40	232,50	84,60	149,00	115,40	181,32	150,70	74,80	75,50	4,09419	4,95941
abr/04	3,62	72,40	61,10	94,50	19,00	73,09	63,00	40,90	140,00	0,04919	0,07132
mai/04	2,85	84,30	105,20	68,60	86,00	68,09	126,00	147,00	0,00	4,15384	3,9583
jun/04	1,56	68,30	27,70	35,80	64,10	51,37	61,10	73,60	204,00	1,92449	1,58407
jul/04	0,09	5,00	40,60	16,00	8,80	6,53	12,50	0,70	0,00	0,24057	0,39516
ago/04	0,01	0,00	11,60	8,40	9,50	0,00	10,00	0,00	45,80	-0,68147	-0,65772
set/04	0,00	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,97664	-0,89936
out/04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	-1,0652	-0,9935
nov/04	0,00	0,00	18,80	5,00	5,00	0,86	5,20	0,00	0,00	-0,41114	-0,30669
dez/04	0,00	53,20	29,60	37,00	45,50	45,38	8,30	4,00	0,00	0,98969	1,37417
jan/05	0,03	40,30	109,70	64,60	101,60	68,87	22,50	139,40	72,40	4,57247	4,02644
fev/05	0,05	32,30	89,50	23,40	61,80	53,51	41,40	39,80	30,40	3,10994	3,24042
mar/5	11,08	394,60	414,30	294,20	345,30	366,02	325,30	296,50	314,70	20,22583	20,6778
abr/05	7,11	132,60	35,30	66,80	98,90	94,37	105,20	114,00	63,80	2,97998	3,02361

mai/05	1,81	53,40	56,50	25,40	26,00	47,92	84,60	84,60	49,70	1,63679	1,46372
jun/05	0,49	9,80	26,70	26,60	35,50	17,60	5,40	16,80	396,80	0,81193	0,12993
jul/05	0,00	0,00	8,50	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	-0,68275	-0,62976
ago/05	0,01	0,00	3,50	16,20	11,00	0,43	4,50	0,00	163,30	-0,92188	-1,13761
set/05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
out/05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	-1,05694	-0,9935
nov/05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	-1,0764	-0,99963
dez/05	0,00	32,50	145,20	89,20	54,00	39,31	61,30	125,00	27,60	4,03404	3,61754
jan/06	0,01	82,00	54,60	67,20	50,00	45,78	7,70	9,40	16,80	2,43917	2,86679
fev/06	0,94	219,20	273,90	283,80	173,30	192,21	226,00	338,40	31,90	9,30618	8,73237
mar/6	19,23	285,10	419,90	306,40	346,30	270,92	290,10	259,90	423,30	18,42152	18,39349
abr/06	32,36	326,70	331,70	161,20	173,20	274,19	235,90	299,40	205,70	17,58189	17,41188
mai/06	8,63	86,40	108,30	65,80	56,00	108,00	67,90	230,00	100,80	4,56132	3,52432
jun/06	0,43	0,00	10,40	7,00	27,20	2,15	0,00	16,60	0,00	-0,22381	-0,21099
jul/06	0,20	6,90	23,10	12,60	13,60	8,73	8,20	20,60	99,60	0,11418	-0,06628
ago/06	0,00	0,00	0,80	1,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,10	-1,02268	-0,988
set/06	0,00	0,00	0,00	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	22,40	-1,24526	-1,21184
out/06	0,00	10,20	30,00	18,20	0,00	4,92	4,50	13,20	31,80	0,04929	0,03641
nov/06	0,00	15,40	9,70	0,00	0,00	7,42	0,00	0,40	38,20	-0,1506	-0,08909
dez/06	0,00	64,50	28,50	14,20	11,20	31,08	49,00	37,20	30,60	1,39823	1,50683
jan/07	0,02	65,60	44,40	25,00	39,20	77,97	32,10	71,20	50,80	1,848	1,78346
fev/07	5,87	380,80	284,50	251,20	266,90	345,50	170,60	249,80	340,10	16,19761	16,41778
mar/7	2,76	81,30	77,90	71,60	37,60	79,18	88,00	90,60	90,20	1,90485	1,78615
abr/07	3,27	101,90	92,60	73,60	72,00	106,49	58,60	132,60	140,50	4,14653	3,75789
mai/07	1,87	78,20	60,90	47,00	49,90	76,23	42,80	72,20	121,60	2,64232	2,51314
jun/07	0,28	18,00	12,00	34,40	13,50	19,66	20,70	30,00	12,50	-1,07457	-1,08263
jul/07	0,02	2,10	0,00	1,00	2,50	4,44	0,00	0,00	116,90	-0,83444	-0,97118
ago/07	0,01	0,00	1,00	0,00	0,00	5,75	0,00	0,00	0,00	-1,1519	-1,06658
set/07	0,00	0,00	0,00	2,00	2,50	0,00	0,00	0,00	131,00	-0,8201	-0,99748

out/07	0,00	0,00	6,50	10,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,09004	-1,00837
nov/07	0,00	80,20	8,40	0,00	0,00	50,89	18,00	41,40	32,00	1,3706	1,44699
dez/07	0,01	5,10	57,70	39,80	17,60	40,33	14,70	0,00	52,00	-0,2126	-0,07271
jan/08	0,04	109,30	173,70	184,80	120,00	43,65	289,00	95,80	94,60	3,44054	3,81157
fev/08	1,81	187,40	309,20	276,40	216,90	199,75	245,20	241,40	355,80	10,18701	9,68162
mar/8	93,74	543,80	686,30	472,80	554,60	474,69	450,90	509,40	279,60	33,77078	34,1244
abr/08	22,02	167,50	198,30	288,20	212,30	219,24	313,60	242,70	258,60	2,76163	2,44213
mai/08	10,81	140,60	107,30	52,40	101,90	133,62	187,30	143,40	132,50	5,16456	5,11767
jun/08	0,91	13,00	2,30	10,20	0,00	27,87	3,40	13,00	169,70	-0,99384	-1,25215
jul/08	0,60	30,50	27,00	19,20	24,00	26,72	20,00	33,60	229,60	0,99632	0,60551
ago/08	0,03	3,20	5,60	18,20	5,70	1,54	0,20	0,00	0,00	-1,15935	-1,05556
set/08	0,00	0,00	0,00	0,00	3,50	0,00	0,00	0,00	53,80	-0,89425	-0,91864
out/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
nov/08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	-1,06717	-0,9935
dez/08	0,00	69,20	60,90	3,20	0,00	37,43	30,50	0,00	33,00	2,90528	3,26353
jan/09	0,07	90,00	149,10	121,80	118,60	90,29	195,80	77,00	111,80	3,62709	3,93998
fev/09	1,11	125,00	145,20	148,80	186,60	179,75	142,20	147,40	126,00	4,69359	4,75737
mar/9	2,56	175,10	168,00	154,00	99,80	138,34	143,70	128,80	88,50	6,38342	6,62179
abr/09	19,21	286,30	410,80	400,40	243,40	270,10	446,80	405,70	357,80	12,07309	11,24924
mai/09	21,87	201,90	189,10	98,60	169,20	226,23	146,80	205,80	242,60	10,17663	9,90304
jun/09	0,83	20,70	8,70	10,00	0,00	18,27	27,70	31,60	27,00	-0,69888	-0,7574
jul/09	0,48	6,30	23,20	11,20	15,50	16,29	27,80	5,00	256,00	-0,06087	-0,39856
ago/09	0,13	1,60	18,00	10,60	17,20	4,53	7,10	0,50	65,90	-0,27569	-0,27166
set/09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	32,80	-1,00502	-0,9935
out/09	0,01	0,00	4,20	5,60	7,60	15,86	0,00	5,20	4,30	-1,20223	-1,13166
nov/09	0,00	0,00	10,30	7,40	8,70	15,86	0,00	0,00	3,90	-1,01189	-0,8988
dez/09	0,01	40,70	66,30	89,00	52,00	36,26	38,60	70,20	11,00	0,94778	0,88392
jan/10	4,13	39,60	236,00	184,00	11,00	236,00	144,30	43,40	104,60	-1,27481	-0,8268
fev/10	3,93	53,00	23,00	40,00	80,60	23,00	21,40	77,60	44,10	2,21769	2,03869

mar/0	3,72	101,70	56,80	82,80	232,40	56,80	96,20	102,00	50,20	5,71434	5,9253
abr/10	1,94	129,40	107,70	147,20	148,20	107,70	157,70	121,60	198,80	3,87539	3,82211
mai/10	1,31	10,50	15,80	19,20	84,60	15,80	75,60	0,60	70,40	-0,11366	0,13161
jun/10	1,25	61,10	46,00	45,20	13,60	46,00	60,60	53,60	65,20	0,85704	0,8326
jul/10	1,21	0,00	2,00	4,40	0,00	2,00	2,50	2,00	111,20	-0,9574	-1,10526
ago/10	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
set/10	3,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,60	-0,99951	-0,9935
out/10	2,77	100,00	96,00	65,00	104,50	96,00	76,50	177,40	107,50	5,33938	4,75905
nov/10	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
dez/10	2,44	127,00	103,30	118,40	205,40	103,30	78,60	181,40	128,40	7,02643	6,6429
jan/11	3,59	336,70	400,30	306,40	200,20	400,30	249,10	257,60	168,70	13,92131	14,4649
fev/11	8,14	321,50	223,30	229,00	336,80	223,30	341,00	369,40	233,00	14,29071	13,84711
mar/1	3,22	43,20	77,90	13,60	41,00	77,90	74,00	67,20	166,50	2,39166	2,14185
abr/11	1,83	125,30	161,10	78,00	101,60	161,10	122,20	147,20	139,00	6,44011	6,28695
mai/11	1,34	101,10	100,20	139,00	136,10	100,20	74,00	141,40	481,80	4,47499	3,48044
jun/11	1,20	32,90	9,50	5,80	14,00	9,50	16,20	19,00	26,90	0,46373	0,52082
jul/11	1,17	21,00	50,40	41,80	46,30	50,40	34,90	0,00	319,10	0,63193	0,38059
ago/11	1,04	2,90	12,50	12,40	15,90	7,40	0,00	0,00	4,90	-0,62392	-0,50355
set/11	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,10	-1,04573	-0,9935
out/11	2,41	230,40	96,30	122,80	168,20	96,30	93,40	157,00	45,80	9,45774	9,6707
nov/11	1,34	25,00	26,20	45,60	108,00	26,20	13,30	0,00	51,30	1,17347	1,47396
dez/11	1,15	15,60	14,30	65,60	20,20	14,30	2,60	19,00	29,50	-1,51716	-1,50694
jan/12	1,13	67,40	92,80	71,80	76,60	92,80	54,90	81,00	157,20	2,99257	2,80664
fev/12	1,14	118,50	176,00	137,00	132,50	106,20	158,80	146,80	191,10	6,50128	6,26666
mar/2	1,01	124,40	237,80	151,00	175,00	237,80	142,40	189,80	14,60	7,10205	7,2113
abr/12	0,76	93,80	54,00	69,60	36,00	54,00	77,30	39,50	46,20	1,6529	1,94389
mai/12	0,54	42,90	53,00	59,00	49,00	32,40	18,10	27,60	91,80	1,50646	1,53267
jun/12	0,49	19,50	26,00	55,10	36,80	26,00	24,50	15,40	18,00	-0,84234	-0,69186
jul/12	0,00	3,30	0,00	3,70	20,00	0,00	0,00	0,00	162,70	-0,33264	-0,53509

ago/12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
set/12	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	4,90	-1,05167	-0,98445
out/12	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	-1,0161	-0,93465
nov/12	0,47	0,00	0,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	-1,1375	-1,06532
dez/12	0,44	0,00	2,40	0,00	0,50	2,40	4,50	0,00	13,60	-1,0454	-0,98361
jan/13	0,11	49,10	48,40	60,40	96,70	48,40	5,60	141,80	28,60	2,95328	2,40377
fev/13	0,55	75,40	73,10	83,70	107,50	73,10	62,20	113,60	63,30	3,10665	2,92224
mar/3	0,67	238,30	206,30	292,70	199,70	206,30	132,50	138,00	314,10	7,59198	7,8024
abr/13	0,05	91,10	153,90	85,20	124,50	153,90	71,80	82,20	104,60	5,39559	5,60558
mai/13	0,01	71,20	63,10	49,40	36,90	63,10	132,30	66,00	103,20	1,11336	1,13803
jun/13	0,00	36,10	62,50	65,00	116,10	62,50	30,40	34,80	64,20	1,97885	2,16262
jul/13	0,00	7,00	12,40	10,30	9,60	12,40	14,50	14,00	237,40	-0,2877	-0,69059
ago/13	0,00	0,00	2,70	4,50	3,00	2,70	4,50	0,00	0,00	-1,14649	-1,05262
set/13	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	2,30	0,00	0,00	63,00	-0,89836	-0,94144
out/13	0,00	3,60	5,00	0,00	0,00	5,00	2,70	1,10	0,00	-0,85777	-0,76405
nov/13	0,01	7,20	10,00	3,30	8,00	10,00	34,60	0,00	39,40	-0,92192	-0,816
dez/13	0,01	99,80	97,30	162,70	127,00	97,30	82,70	110,80	33,50	2,28494	2,37877
jan/14	0,02	63,00	27,70	38,30	38,00	27,70	37,00	55,40	100,80	1,64487	1,50644
fev/14	0,05	108,40	171,40	82,20	84,50	171,40	168,80	46,40	74,20	4,0707	4,76165
mar/4	9,80	241,80	249,70	128,60	164,90	249,70	209,00	187,00	238,70	11,81469	11,96273
abr/14	7,17	111,10	150,90	191,80	245,00	150,90	159,10	67,50	267,40	4,42985	4,81298
mai/14	1,45	59,10	31,90	69,40	86,50	31,90	77,90	42,50	139,50	1,06849	1,08263
jun/14	0,88	16,10	15,70	12,20	23,50	15,70	25,20	12,60	8,10	-0,25676	-0,12671
jul/14	0,98	16,00	18,90	20,20	42,40	18,90	22,50	10,60	97,40	0,14777	0,14911
ago/14	0,00	0,00	17,80	0,00	0,00	17,80	4,20	0,00	11,00	-0,73982	-0,64202
set/14	0,00	15,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	35,00	174,60	0,24343	-0,21078
out/14	0,00	8,80	25,90	33,00	35,70	25,90	7,80	0,00	23,00	-0,5065	-0,32208
nov/14	0,09	86,80	225,00	71,10	26,20	225,00	68,80	111,00	33,00	5,24904	5,37585
dez/14	0,18	19,50	137,70	46,70	51,90	137,70	27,20	21,00	38,00	2,03712	2,36793

jan/15	0,12	66,40	48,80	51,30	17,00	48,80	19,50	112,50	40,00	1,93525	1,51688
fev/15	0,24	53,00	74,00	58,60	73,70	74,00	73,70	76,00	126,80	2,02348	1,87051
mar/5	4,30	222,70	257,90	279,80	294,20	257,90	176,10	336,00	125,10	10,70944	10,18111
abr/15	3,80	71,40	37,50	31,40	40,50	37,50	64,10	86,20	33,00	2,12715	1,99646
mai/15	0,23	32,90	54,30	53,40	50,00	54,30	18,80	28,80	83,90	0,8671	0,90571
jun/15	0,15	39,90	64,50	34,60	40,30	64,50	30,00	15,00	37,00	1,35473	1,6224
jul/15	0,00	37,50	65,90	45,20	63,70	65,90	45,80	53,00	375,00	2,1614	1,55697
ago/15	0,00	0,00	2,40	4,30	3,20	2,40	0,00	0,00	0,00	-1,08104	-0,99426
set/15	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,90	-1,02449	-0,9935
out/15	0,15	0,00	2,90	4,90	0,00	2,90	0,00	0,00	0,00	-1,15163	-1,06862
nov/15	0,00	0,00	0,00	0,00	11,40	0,00	0,00	0,00	5,40	-0,83263	-0,74965
dez/15	0,01	17,40	13,80	12,20	20,20	32,00	22,50	10,00	20,00	-0,66336	-0,52014
jan/16	0,01	159,50	175,60	137,60	195,90	175,60	201,70	108,80	134,60	6,83257	7,36496
fev/16	0,50	34,10	36,50	28,80	27,20	36,50	35,30	27,00	42,90	0,48627	0,56942
mar/6	2,60	346,70	196,00	128,60	138,40	196,00	570,60	300,50	225,60	10,01328	10,10216
abr/16	4,90	125,10	123,00	85,40	71,80	123,00	59,30	120,00	103,10	5,44853	5,33677
mai/16	0,00	61,30	64,70	31,60	37,00	64,70	21,30	92,00	187,30	3,15471	2,63692
jun/16	0,00	0,00	1,90	0,00	0,00	1,90	1,70	0,00	0,00	-1,05385	-0,97132
jul/16	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	1,20	0,00	0,00	33,70	-0,97859	-0,96634
ago/16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
set/16	0,05	0,00	1,90	0,00	0,00	1,90	6,70	0,00	45,70	-1,03271	-1,03258
out/16	0,67	0,00	0,90	0,00	5,40	0,90	0,00	0,00	0,00	-0,94385	-0,85762
nov/16	0,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
dez/16	0,11	2,70	15,40	30,50	35,80	15,40	32,80	0,00	9,60	-1,25265	-1,04515
jan/17	1,01	119,40	220,70	207,40	117,70	220,70	99,80	82,40	60,40	3,71751	4,29275
fev/17	1,14	115,20	73,80	144,10	121,40	73,80	141,50	102,20	149,20	2,18029	2,17987
mar/7	1,13	59,70	115,10	137,90	124,00	115,10	171,80	53,90	147,50	0,36913	0,6748
abr/17	1,15	158,20	162,30	111,50	133,50	162,30	168,80	163,40	130,40	6,8498	6,82807
mai/17	0,00	34,50	26,60	28,90	69,70	26,60	51,90	69,10	185,90	1,4852	1,06475

jun/17	0,00	1,50	33,10	42,10	35,30	33,10	16,30	0,00	59,30	-0,95584	-0,83606
jul/17	0,00	20,40	27,30	10,40	7,60	27,30	33,20	0,00	298,50	0,25685	-0,07213
ago/17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,30	-0,94307	-0,9935
set/17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	46,50	-0,97808	-0,9935
out/17	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	-1,05514	-0,97766
nov/17	0,58	8,90	0,99	29,20	9,80	2,60	1,60	0,00	12,30	-1,3895	-1,28315
dez/17	0,58	7,10	1,90	11,70	2,00	1,90	5,80	0,00	0,00	-1,13581	-1,02033
jan/18	3,22	148,20	136,80	104,80	105,00	136,80	90,10	166,00	150,40	6,70857	6,38299
fev/18	8,14	253,20	244,70	274,10	295,90	244,70	393,70	306,00	253,30	8,86147	8,68188
mar/8	3,59	104,40	305,10	134,10	75,10	305,10	130,10	142,50	254,50	6,53319	6,40436
abr/18	0,00	306,70	290,20	256,70	282,20	290,20	282,40	245,60	240,10	13,16876	13,50178
mai/18	0,25	52,50	45,50	77,70	91,50	45,50	43,00	76,30	128,40	1,64679	1,41276
jun/18	0,25	12,60	0,00	2,30	0,00	0,00	3,20	30,10	3,90	-0,4781	-0,57605
jul/18	0,24	2,00	1,50	0,00	2,00	1,50	1,70	0,00	51,90	-0,84338	-0,85462
ago/18	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
set/18	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,06953	-0,9935
out/18	0,22	0,00	2,20	2,90	4,70	2,20	0,00	0,00	8,00	-0,99916	-0,92648
nov/18	0,22	26,70	39,50	74,10	73,20	39,50	64,80	27,00	7,00	-0,60978	-0,34851
dez/18	0,28	80,10	135,40	52,20	135,00	135,40	156,10	140,80	26,40	4,85057	4,87029
jan/19	2,44	77,10	69,20	192,40	125,00	69,20	115,50	48,00	67,10	-0,88646	-0,49692
fev/19	1,32	165,00	82,50	98,80	142,00	82,50	201,80	173,80	171,60	5,70712	5,44611
mar/9	2,77	221,40	241,00	218,50	226,00	241,00	337,00	187,20	227,90	7,68481	8,0756
abr/19	3,25	168,20	236,70	124,30	123,80	236,70	148,10	143,80	209,70	8,50472	8,60554
mai/19	1,15	35,30	86,40	71,80	72,20	86,40	49,30	70,50	102,50	1,43542	1,30453
jun/19	1,21	13,60	15,90	30,30	59,70	15,90	11,20	9,50	28,50	0,0573	0,19997
jul/19	1,25	20,80	10,20	7,80	9,20	10,20	10,20	10,00	6,90	-0,1599	-0,05194
ago/19	1,31	1,50	5,20	5,50	4,50	5,20	0,00	0,00	9,50	-0,95602	-0,87531
set/19	1,94	5,80	6,80	0,00	0,00	6,80	0,00	12,50	4,90	-0,61	-0,59895
out/19	3,72	0,00	0,00	0,00	29,50	0,00	0,00	0,00	7,40	-0,46943	-0,36249

nov/19	3,93	13,00	22,30	3,50	22,50	22,30	0,00	5,00	31,70	0,3313	0,43136
dez/19	4,13	67,30	20,90	5,00	14,00	20,90	7,40	30,00	15,30	2,21894	2,33682