



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRO REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

JOÃO MARCOS DE JESUS SALES

**MONITORAMENTO E MODELAGEM
HIDROLÓGICA EM UMA BACIA
HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

SÃO CRISTÓVÃO / SE

2019

JOÃO MARCOS DE JESUS SALES

**MONITORAMENTO E MODELAGEM
HIDROLÓGICA EM UMA BACIA
HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
da Universidade Federal de Sergipe
como um dos requisitos de obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto

SÃO CRISTÓVÃO / SE

2019

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

S163m Sales, João Marcos de Jesus
Monitoramento e modelagem hidrológica em uma bacia hidrográfica no semiárido do Brasil / João Marcos de Jesus Sales ; orientador Antenor de Oliveira Aguiar Netto. – São Cristóvão, SE, 2019.
67 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe, 2019.

1. Recursos hídricos. 2. Água – Qualidade – Medição. 3. Métodos de simulação. 4. Bacias hidrográficas – Sergipe. 5. Irrigação agrícola. I. Aguiar Netto, Antenor de Oliveira, orient. II. Título.

CDU 556.18:004.942

JOÃO MARCOS DE JESUS SALES

MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA
EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO
BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos de
obtenção do título de Mestre em
Recursos Hídricos.

Aprovada em: 29 de Novembro de 2019

Banca Examinadora:

Antenor de Oliveira Aguiar Netto
Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto

(Orientador)

Adnívia Santos Costa Monteiro
Prof. Dra. Adnívia Santos Costa Monteiro

Allan Cunha Barros

Prof. Dr Allan Cunha Barros

SÃO CRISTÓVÃO / SE

2019

Dedico este trabalho ao Senhor
João Ribeiro de Sales
(in memoriam)

AGRADECIMENTOS

Ao Ser Supremo, obrigado por concede Poder e Sabedoria, pelo dom da vida e a possibilidade de superar meus limites.

À minha família minha eterna gratidão que me fortalece sempre, à minha Mãe Geonilda "Nena" por tudo! Guerreira que surpreende cada dia mais, Te Amo. Ao meu pai João Ribeiro (*in memoriam*) exemplo de vida, que sua simplicidade, determinação e coragem, cuja saudades são incentivo a novas vitórias. Aos meus queridos irmãos Lucas, Bruno, José, Jissandra e Jaqueline fontes de incentivos e confiança, e as mais lindas sobrinhas Kattelly e Lorena.

À minha noiva Thábatta Alcântara de Carvalho por estar sempre ao meu lado em todos os momentos me estimulando e a toda sua família pelo constante apoio, sou grato por todos os encorajamentos, incentivos, paciência, dedicação e por ter me acolhido. A Dona Leninha (*in memoriam*) mulher que a todos tocou de forma diferente, pelas motivações e carinho.

Ao Prof. Dr. Antenor de Oliveira Aguiar Netto por dividir seu conhecimento, sua amizade e confiança, por todos os momentos de paciência, exemplo a ser seguido pelo seu profissionalismo.

A todos os meus amigos e colegas que o mestrado me proporcionou, aos colegas do grupo Acqua, a equipes do Projeto Azahar e a equipe do LTMA especialmente a Prof. Dra. Adnávia Santos Costa Monteiro pela orientação, sua amizade. Aos amigos do Projeto Opará, e demais pesquisadores, pelos momentos de alegrias, descontração e companheirismo.

À Universidade Federal de Sergipe, que ao longo dessa formação ofereceu um ambiente de estudo agradável, motivador e repleto de oportunidades. Aos professores do Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos por toda contribuição

O presente trabalho foi realizado com apoio à pesquisa através da concessão da bolsa de estudo da Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC/SE auxílio (EDITAL FAPITEC/SE/FUNTEC/CAPES Nº. 05/2017); E ao projeto Opará: águas do rio São Francisco, executado pela Universidade Federal de Sergipe e Sociedade Socioambiental Canoa de Tolda, com patrocínio de Petrobras por meio do Programa Petrobras Socioambiental.

Não caberia neste espaço caso fosse citar nomes de todos que contribuíram de forma direta ou indireta neste percurso. Portanto sintam-se todos agradecidos.

"O Senhor é Deus de Justiça. Como são felizes todos os que nele esperam!"

RESUMO

A agricultura irrigada proporciona a produção de alimentos em regiões semiáridas em diferentes épocas do ano, contudo o manejo inadequado pode ocasionar problemas ambientais. Diante disso, a utilização de modelos hidrológicos permite entender, avaliar e antecipar eventos de origem natural ou antrópicas de modo mais simples e econômico. O objetivo principal deste estudo foi realizar a modelagem hidrológica no semiárido, para avaliar a influência das atividades da agricultura irrigada na quantidade e qualidade da água. Para tal, foi utilizado o modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), a área de estudo está localizada na Bacia Escola Jacaré Curitiba situada no assentamento rural Jacaré Curituba, entre os municípios de Poço Redondo e Canindé do São Francisco-SE, inserida no bioma Caatinga. A metodologia adotada foi constituída de levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, monitoramento hidrológico, levantamento do uso e ocupação da terra e aplicação da análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos hierárquicos (AAH), o conjunto de dados das concentrações médias de 20 parâmetros da qualidade da água, obtidos em seis campanhas de amostragem no período de abril/2018 a agosto/2019, determinados conforme descrito no Standard methods e comparados com órgãos reguladores. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram inferir que os principais impactos na qualidade da água da bacia escola Jacaré Curituba foram observados no período seco. A qualidade da água na área de estudo encontra-se comprometida no Ponto de Controle no que se refere aos parâmetros salinidade, sódio, condutividade elétrica, cloretos, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, clorofila-a e nutrientes (fósforo total e nitrato em especial no período seco), como consequência das atividades humanas (aporte de resíduos agrícolas). Na classificação das águas de irrigação houve variação entre as classes C₁S₁ (Barragem) à C₄S₃ (Ponto de Controle). O modelo SWAT simulou com sucesso o hidrograma de fluxo para o período de nov/2015 a jul/2018, devidamente calibrado e validado. As simulações de diferentes cenários de uso da terra destacam a maior produção de água em áreas agrícolas, o que pode ocasionar maior geração de sedimentos. O modelo SWAT calibrado e validado significa uma possibilidade para estudos futuros em bacias hidrográficas no semiárido e, então, contribuir para estudos sobre manejo de água e solo. Deve-se enfatizar que as técnicas adotadas nessa pesquisa mostraram resultados promissores, revelando a forte influência da agricultura irrigada na qualidade e quantidade da água, relação à sazonalidade climática e os impactos causados por fontes naturais e antrópicas na Bacia Escola Jacaré Curituba.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, áreas irrigadas, atividades antrópicas, SWAT, análise multivariada.

ABSTRACT

Irrigated agriculture provides food production in semi-arid regions at different times of the year, but the permitted management can cause environmental problems. Therefore, the use of hydrological models allows to understand, evaluate and anticipate events of natural or man-made origin in a simpler and more economical way. The main objective of this study was to carry out a hydrological modeling in the semiarid region, to assess the influence of irrigated agriculture activities on the quantity and quality of water. For this, the SWAT model (Soil and Water Assessment Tool) was used, a study area located in the Jacaré Curitiba Basin, where there are no Jacaré Curituba rural settlements, between the municipalities of Poço Redondo and Canindé de São Francisco-SE, inserted without Caatinga biome. The adopted methodology was used for bibliographic survey, field work, hydrological monitoring, survey of land use and occupation and principal component analysis (PCA) applications and hierarchical cluster analysis (HCA), or performance statistics data set 20 water quality parameters, selected in three sampling campaigns from April / 2018 to August 2019, included as described in the Standard methods and compared with regulatory bodies. The results obtained in this work allow to infer which are the main impacts on the water quality of the Jacaré Curituba school basin were observed in the dry period. The water quality in the study area is compromised at the Control Point with regard to the parameters of salinity, sodium, electrical conductivity, chlorides, total dissolved solids, alkalinity, hardness, chlorophyll-a and nutrients (total phosphorus and nitrate in especially in the dry period), as a result of human activities (input of agricultural waste). In the classification of irrigation water there was variation between classes C1S1 (Dam) to C4S3 (Control Point). The SWAT model successfully simulated the flow hydrograph for the period from Nov / 2015 to Jul / 2018, duly calibrated and validated. Simulations of different land use scenarios highlight the greater production of water in agricultural areas, which can cause greater generation of sediments. The calibrated and validated SWAT model means a possibility for future studies in hydrographic basins in the semiarid region and, therefore, to contribute to studies on water and soil management. It should be emphasized that the techniques adopted in this research showed promising results, revealing the strong influence of irrigated agriculture on water quality and quantity, in relation to climatic seasonality and the impacts caused by natural and man-made sources in the Jacaré Curituba School Basin.

KEYWORDS: Water resources, irrigated areas, anthropic activities, SWAT, multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem para fins de qualidade da água e o uso e ocupação da terra da Bacia Escola Jacaré Curituba	11
Figura 2 – Dados hidrológicos mensais da Bacia Escola Jacaré Curituba.....	13
Figura 3 – Localização dos pontos de amostragem para fins de qualidade da água e o uso e ocupação da terra da Bacia Escola Jacaré Curituba...	14
Figura	
Figura 4 – Resultados dos parâmetros químicos das amostras coletadas na Bacia Escola Jacaré Curituba em três períodos de amostragem (seco, úmido e a transição) entre os anos de 2018 a 2019.....	19
Figura 5 – Resultados dos parâmetros físicos e biológicos da qualidade da água para fins de irrigação na Bacia Escola Jacaré Curituba em três períodos de amostragem (seco, úmido e a transição) entre os anos de 2018 a 2019.....	22
Figura 6 – Resultados dos parâmetros de qualidade da água para fins de irrigação três períodos de amostragem (seco, úmido e a transição) entre os anos de 2018 a 2019	24
Figura 7 – Diagrama de Classificação das águas para fins irrigação da Bacia Escola Jacaré Curituba.....	26
Figura 8 – Os autovalores dos componentes principais da qualidade das águas na Bacia Escola Jacaré Curituba.....	27
Figura 9 – a) e b) Análise agrupamento Hierárquicos; c) e d) Análise Componentes Principais construídas com as variáveis estudadas para a avaliação da qualidade da água na Bacia Escola Jacaré Curituba.....	29

CAPÍTULO II

Figura 1 – Mapa de uso e ocupação da terra e a localização da área de estudo no Estado de Sergipe e Brasil.	41
Figura 2 – Ajuste gráfico da calibração com base na hipótese de afluência modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.	52
Figura 3 – Balanço hídrico médio do SWAT calibrado para a Bacia Escola Jacaré Curituba.....	53
Figura 4 – Mapa da distribuição média anual da produção de água para o ano de 2016 na Bacia Escola Jacaré Curituba.	54

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 – Estações de monitoramento na Bacia Escola Jacaré Curituba, Poço Redondo /SE...15
Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos e biológicos e respectivos métodos de análise utilizados para a avaliação da qualidade da água.....16
Tabela 3 – Resumo estatístico da composição das variáveis da qualidade das águas da Bacia Escola Jacaré Curituba, Poço Redondo-SE.....18
Tabela 4 – Matriz das cargas de fatores comuns rotacionada pelo método Varimax.....26

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Fonte dos dados de entrada para modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.....43
Tabela 2 – Parâmetros do solo necessários para modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.....46
Tabela 3 – Elementos Climáticos obtidos de Xavier para Bacia Escola Jacaré Curituba.....47
Tabela 4 – Critérios de avaliação de desempenho de modelos hidrológicos e suas respectivas classificações.....49
Tabela 5 – Avaliações estatísticas da calibração da vazão diária no período fevereiro a dezembro de 2016 para a modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.....51

LISTA DE SIGLAS

AGRL – Agricultural Land Generic
 ALPHA_BF – Fator de escoamento de base
 ANION_EXCL – Porosidade (%)
 APP – Área de Preservação Permanente
 ARS – Agricultural Research Service – Seção de Pesquisas Agrícolas
 Biomix – Eficiência de mixagem biológica do solo
 CANMX – Armazenamento máximo de água no dossel vegetativo
 Ch_K2 – Condutividade hidráulica efetiva do canal principal
 Ch_N2 – Coeficiente de Manning para o canal principal
 CLAY – Argila (%)
 CN – Curva Número
 CN2 – Valor da curva número para a condição de umidade II (Soil Conservation Soil)
 COE – Coeficiente de Nash- Sutcliffe
 CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
 CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
 CREAMS – Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems
 DBO – Demanda bioquímica de oxigênio
 DEWPT – Ponto de orvalho médio diário no mês (°C)
 Epco – Fator de compensação de retirada das plantas
 Esco – Fator de compensação de evaporação do solo
 Gw_Delay – Período de tempo que a água se move da camada de solo mais profunda até o aquífero superficial
 Gw_Revap – Coeficiente de escoamento (movimento) de água do aquífero superficial para zona insaturada
 Gwqmn – Profundidade mínima do aquífero superficial para que ocorra escoamento subterrâneo
 HRU – Unidade de Resposta Hidrológica
 INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
 INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 ITPS – Instituto Tecnológico de pesquisas de Sergipe
 MDE – Modelo digital de elevação
 MMA – Ministério do Meio Ambiente
 MNT – Modelo numérico do terreno
 NH³ – Amônia
 NH⁴ – Íon amônio
 NO² – Íon nitrito
 NO³ – Íon nitrato
 NSE – Coeficiente de Eficiência de Nash–Sutcliffe
 OD – Oxigênio dissolvido
 PBIAS – Percentual de tendência
 PCPD – Número médio de dias chuvosos no mês
 PCPMM – Média da precipitação no mês
 PCPSKW – Coeficiente Skew para a precipitação diária no mês

PCPSTD – Desvio padrão da precipitação no mês
 pH – Potencial hidrogeniônico
 PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
 PR_W – Probabilidade de dia úmido (com chuva) seguido de um dia seco no mês
 PR_W – Probabilidade de dia úmido seguido de outro dia úmido no mês
 Qobs – Vazão Observada
 Qsim – Vazão simulada
 r – Coeficiente de correlação
 R² – Coeficiente de determinação
 Revapmn – Profundidade do aquífero superficial ocorre percolação ao aquífero profundo
 RMSE – Raiz quadrada do erro quadrático médio
 RSR – Erro padrão médio normalizado
 SAND – Areia (%)
 SCS – Soil Conservation Service
 SILT – Silte (%)
 SLOPE – Declividade média
 SLSUBBSN – Comprimento do declive médio
 SOL_ALB – Albedo do solo úmido
 SOL_AWC – Conteúdo de água disponível no solo (mmH₂O mm⁻¹solo)
 SOL_BD – Densidade do solo (g cm⁻³)
 SOL_CBN – Carbono orgânico (%)
 SOL_K – Condutividade hidráulica saturada (mmh⁻¹)
 SOL_Z – Profundidade do solo (mm)
 SOLARAV – Radiação solar média diária no mês (MJ.m⁻².dia⁻¹)
 SPAS – Summer Pasture
 SRH – Secretaria de Recursos Hídricos de Sergipe
 SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
 SSQ – Soma dos quadrados dos resíduos
 STD – Sólidos totais dissolvidos
 STS – Sólidos totais suspensos
 SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
 SURLAG – Coeficiente de resposta do escoamento superficial
 SWAT – Soil and Water Assessment Tool
 SWRRB – Simulator for Water Resources in Rural Basins
 TMPMN – Temperatura mínima nos diferentes meses do ano (°C)
 TMPMX – Temperatura máxima nos diferentes meses do ano (°C)
 TMPSTDMN – Desvio padrão da mínima temperatura no mês
 TMPSTDMX – Desvio padrão da máxima temperatura no mês
 UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
 USDA – United States Dept. of Agriculture – Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
 UTM – Universal Transversa de Mercator
 WNDAV – Velocidade do vento médio diário no mês (m.s⁻¹)
 WWAP – World Water Assessment Programme.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS GERAL	4
1.2. Objetivos Específicos	4
REFERÊNCIAS	5
2. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA ESCOLA JACARÉ CURITUBA	8
2.1. INTRODUÇÃO	10
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.2.1. Área de Estudo	11
2.2.2. Amostragem e Análises Químicas	14
2.2.3. Classificação da Qualidade da Água	16
2.2.4. Análises multivariada de dados.	16
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
2.3.1. Características Físico-Químicas e Biológicas	17
2.3.2. Parâmetros de Qualidade da Água para fins de Irrigação e Grau de restrição	23
2.3.3. Análise Multivariada dos Dados	28
2.4. CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32
3. MODELAGEM HIDROLÓGICA DE BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL	37
3.1. INTRODUÇÃO	39
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	41
3.2.1. Caracterização da Área de Estudo	41
3.2.2. Monitoramento Quantidade da Água	42
3.2.3. Dados de estrada do modelo hidrológico	43
3.2.4. Calibração/Validação e Estatísticas Utilizadas	48
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.4. CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
APÊNDICES	63
ANEXO	66

1. INTRODUÇÃO

O monitoramento e modelagem de bacias hidrográficas são fundamentais para acompanhar e avaliar o comportamento dos recursos hídricos. As informações geradas a partir da modelagem podem fornecer subsídios para buscar entender as ações antrópicas de forma detalhada, analisando a degradação deste recurso, seja através dos desmatamentos das margens, lançamento de efluentes domésticos e manejos agrícolas.

A procura por água tem aumentado cada vez mais não só em quantidade, mas também em qualidade. Segundo Organização das Nações Unidas (2017), às demandas futuras de água serão cada vez maiores para atender a estimativa populacional mundial de 9,8 bilhões de habitantes até 2050 (WWAP, 2017). Conforme a Lei 9.433, a água é um recurso natural limitado (BRASIL, 1997). O uso de modo sustentável é essencial e racional, ou seja, torna-se necessário a gestão para garantia de oferta e equilíbrio no sistema. Porém, a crescente utilização dos recursos hídricos de forma desordenada, visando apenas o lucro e sem as práticas sustentáveis e conscientes tem sido os principais fatores de degradação dos recursos naturais, principalmente água e solo.

No Brasil, são descartados nos mananciais através de fontes pontuais e difusas toneladas de esgoto doméstico sem tratamento, efluentes industriais, resíduos de atividades agropecuárias, além da deposição inadequada dos resíduos sólidos. Soma-se a isto, a perda da vegetação ciliar e o desmatamento, que favorecem a erosão e o assoreamento, comprometendo a qualidade das águas e provocando poluição hídrica. Em escala espacial e temporal nota-se uma redução da qualidade e quantidade da água principalmente em regiões de clima semiárido (SILVA, 2013; PEIXOTO, 2016). As ações antrópicas podem contribuir para o crescimento dos processos de degradação, principalmente em ambientes com escassez hídrica.

No semiárido, os recursos hídricos são limitados ao longo do ano, por apresentarem baixos índices pluviométricos e alta evapotranspiração, em relação a isso, destacam-se os impactos ambientais, principalmente o risco de desertificação originado dos usos dos recursos hídricos e solo de forma predatória associada a retirada da mata nativa, excesso de irrigação, falta de drenagem, planejamento e gestão ambiental (AGUIAR NETTO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019). Segundo Pinto (2009), em geral, alterações no uso e ocupação do solo implicam em diferentes comportamentos nos atributos do solo e da água e os principais prejuízos aos recursos hídricos e a perda da biodiversidade está relacionada à remoção das florestas nativas que tem causado aumento das áreas degradadas.

Ressalta-se a importância da implantação da bacia escola, denominada Bacia Escola Jacaré Curituba, que consiste em uma unidade de repostas dos processos que compõe uma bacia hidrográfica, onde é realizado o monitoramento dos recursos naturais, atividades de ensino, pesquisa e extensão, proporcionam noções dos processos hidrológicos e ambientais (KOBİYAMA 2008; SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

A presente área de estudo está situada no Assentamento de Reforma Agrária Jacaré Curituba, ocupando parcialmente os municípios de Canindé do São Francisco e Poço Redondo/SE. Visando o desenvolvimento regional e a sustentabilidade ambiental na região semiárida do Estado, os recursos hídricos locais são oriundos principalmente do rio São Francisco foi instalado o perímetro irrigado Jacaré Curitiba, formado por agricultores assentados, com aproximadamente 700 famílias, numa área total irrigada de 1.860 hectares dedicada aos cultivos de frutas e hortaliças (AGUIAR NETTO *et al.*, 2015; AGUIAR NETTO *et al.*, 2016; SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

Estudos anteriores realizados nesse mesmo Assentamento Rural mostraram áreas com altos índices de salinidade e sodicidade dos solos no perímetro irrigado Jacaré Curituba (SANTOS; LUCAS, 2015, SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018; SILVA *et al.*, 2019; LUCAS *et al.*, 2019). A fim de evitar surgimento de novas áreas sujeitas a desertificação, devido a elevada evapotranspiração e em consonância com o uso inadequado da água em qualidade e quantidade na irrigação, o que traz risco a sustentabilidade dessa região, faz-se necessário o estudo da influência da agricultura irrigada, e os efeitos relacionados aos diferentes uso e ocupação pouco sustentáveis.

Compreender possíveis alterações das características físicas, químicas e microbiológicas da água na bacia escola Jacaré Curituba, os efeitos que a preservação da mata nativa pode ter sobre a qualidade e quantidade de água desta unidade de planejamento, possibilitando a escolha de atividades compatíveis com as condições ambientais presentes e o tipo de manejo conservacionista adequado, pode evitar dessa forma maiores danos ao meio ambiente proporcionando o seu uso de modo sustentável.

Deste modo, foi implementado em um programa de monitoramento realizado durante o período de 2018 a 2019, com objetivo avaliar a influência da agricultura irrigada e da sazonalidade climática nos parâmetros indicadores da qualidade da água da Bacia Escola Jacaré Curituba, na região do baixo São Francisco sergipano. Associado a técnicas aplicadas do geoprocessamento e procedimentos estatísticos multivariados, a análise de componentes

principais - ACP e análise hierárquica de agrupamentos – AHA. Esta técnica permite resumir e facilitar a interpretação das amostras e variáveis de qualidade de água na tomada de decisão (ALVES *et al.*, 2018).

Em adição, recorre-se também aos usos de modelos hidrológicos para buscar representar a complexidade dos sistemas ambientais de forma simples, permitindo avaliar o estado atual e simular cenários, as informações geradas facilitarão a compreensão e tomada de decisão. É crescente a aplicações desses modelos em diferentes regiões do mundo com finalidades diversas.

Os modelos hidrológicos a exemplo do SWAT, Tank-Model, Top-Model, Mike She, EPIC, AGPNS, têm sido aplicados para prever o impacto das práticas de manejo do solo sobre a qualidade e quantidade de água em bacia hidrográfica (KIM *et al.*, 2010; LAM; SCHMALZ; FOHRER, 2010; OEURNNG; SAUVAGE; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2011; BLAINSKI *et al.*, 2011; BLAINSKI; ACOSTA; NOGUEIRA, 2017; ANDRADE *et al.*, 2019). Nesse contexto, a modelagem hidrológica em uma bacia hidrográfica no semiárido, mais precisamente em uma bacia escola permitirá adoção de técnicas e acompanhamento das variáveis do ciclo hidrológicos.

O modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) elaborado por Dr. Jeff Arnold do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA - United States Department of Agriculture), da Seção de Pesquisas Agrícolas (Agricultural Research Service - ARS), foi desenvolvido para compreender os processos do ciclo hidrológico, prever os impactos e avaliar as práticas de manejo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos e agroquímicos em bacias hidrográficas, interpretação da variação do uso e ocupação do solo e práticas de manejo em um longo período de tempo (NEITSCH *et al.*, 2005).

O modelo hidrológico SWAT tem sido amplamente utilizado no Brasil, em estudos com diferentes finalidades, a saber, para gestão de recursos hídricos, riscos de inundações, determinação da alteração do uso e ocupação do solo, estimativa da disponibilidade hídrica, rendimento agrícola, dinâmica de agrotóxico, mudanças climáticas, análise de qualidade da água, produção de água, concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, dinâmica hidrossedimentológica (SOUZA; SANTOS; KOBIYAMA, 2009, DURÃES MELLO; NAGHETTINI, 2011; SILVA *et al.*, 2013, FUKUNGANA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016, SILVA; SILVA e SOUZA, 2016; BRITO *et al.*, 2017; SILVA(a) *et al.*, 2018; SILVA(b) *et al.*, 2018, FONTES JUNIOR; MONTENEGRO, 2019; ANDRADE *et al.*, 2019).

A estrutura desta pesquisa é apresentada em forma de artigos que envolvem as problemáticas que motivaram esses estudos, realizou-se a modelagem hidrológica e o monitoramento hídrico para relação da agricultura irrigada em região semiárida, verificando-se quais restrições ambientais e consequências na produção de água. Assim a dissertação apresentará a sua composição em capítulos dos quais foram direcionados conforme:

- ✓ No artigo 1 - *Avaliação da qualidade das águas superficiais da Bacia Escola Jacaré Curituba.*

1.1.OBJETIVO GERAL

- Avaliar a influência da agricultura irrigada e da sazonalidade climática nos parâmetros indicadores da qualidade da água da Bacia Escola Jacaré-Curituba, na região do baixo São Francisco sergipano.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as amostras de qualidade da água da bacia hidrográfica e sua variação sazonal, por meio da determinação da concentração de 20 parâmetros e comparar os valores obtidos com os estabelecidos pela resolução 357/2005 do CONAMA;
- Aplicar ao conjunto dos dados obtidos técnicas de análise multivariada, componentes principais e análise de agrupamento hierárquico, para identificar as possíveis tendências de grupos dos pontos de coleta.

- ✓ No artigo 2 - *Modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba no Nordeste do Brasil*

1.1. OBJETIVO GERAL

- Realizar a modelagem hidrológica em bacia hidrográfica no semiárido, por meio da modelagem hidrológica, para verificar a influência das atividades da agricultura irrigada na quantidade da água.

1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a variabilidade e quantificação da produção de água na região pesquisada.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETTO, A. O. A. SANTOS, T. I. S; SANTOS, J. A.; SANTOS, R. R. S.; NUNES, F. M. O.. Águas do São Francisco. In: AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R. F. **Contexto Socioambiental das Águas do Rio São Francisco**. Sergipe: São Cristóvão, 2015. p.13-42.
- AGUIAR NETTO, A. O.; SANTANA, L. L; ALMEIDA, C. A. P.; FACCIOLO, G. G.; SALES, J. M. J. Efeito da variabilidade de cenários de uso do solo sobre a dinâmica da vazão e de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jacaré-SE. In: FAPITEC. (Org.). **Pesquisa em políticas públicas no estado de Sergipe**. 1ed. São Cristóvão: EDUFS, 2016, v. 1, p. 267-280.
- ALVES, J. P. H.; FONSECA, L. C.; CHIELLE, R. S. A.; MACEDO, L. C. B. Monitoring water quality of the Sergipe river basin: na evaluation using multivariate data analysis. **razilian Journal of Water Resources**, v. 23, n. 27), p. 1–12. 2018.
- ANDRADE, C.W.L., MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A, LIMA, J.R.S, SRINIVASAN, R., JONES, C. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. **Ecohydrology & Hydrobiology**. v. 19, p. 237–250, 2019
- BLAINSKI, E.; SILVIERA, F. A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L. F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 24, n. 1, p. 65-70, 2011
- BLAINSKI, E., ACOSTA, E., NOGUEIRA, P.C.P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Rev. Ambiente Água**. v. 12, p. 226–237, 2017.
- BRASIL. **Lei N° 9433 DE 9 DE JANEIRO /1997** - "Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 Data da legislação: 08/01/1997 - Diário Oficial da União, Brasília, 09 de jan. 1997, Seção 1. p. 470.
- BRITO, F.B.; AGUIAR NETTO, A.O.; VASCO, A.N.; SILVA, G.M. Aplicação do modelo SWAT para avaliar o potencial de contaminação por agrotóxicos num afluente do rio São Francisco, Brasil. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.
- DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de; NAGHETTINI, M. Applicability of the SWAT model for hydrologic simulation in Paraopeba river basin, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 481-488, 2011
- FONTES JUNIOR, R; MONTENEGRO, A. Impact of land use change on the water balance in a representative watershed in the semiarid of the state of Pernambuco using the SWAT model. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 1, p. 110-117, 2019.
- FUKUNAGA, D. C.; CECÍLIO, R. V.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. 2015. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **Catena**, v. 125, p. 206-213, 2015.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P. L. B.; ROCHA, H. L.; CORSEUIL, C.W.; MALUTTA, S. **School catchments network in the Upper Negro River basin, southern Brazil: Scientific research and environmental education.** In: V Oficina Internacional sobre Enfoques Regionais para o Desenvolvimento e Gestão de Reservatórios na Bacia do Prata. (Foz do Iguaçu: 2008), UNESCO/ICHARM/UNEP, Foz do Iguaçu, Anais, 2008. 14p. CD-rom.

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; ROCHA, H.L.; CORSEUIL, C.W.; MALUTTA, S.; GIGLIO, J.N.; MOTA, A.A.; SANTOS, I.; RIBAS JUNIOR, U.; LANGA, R. Implementation of school catchments nework for water resoureces management of the upper Negro river region, southern Brazil. In: Makoto T., William C. B., Yoshinori F. et al. (org). **From headwaters to the ocean hydrological changes and watershed management.** London: Taylor & Francis group, 2009. p. 151-157.

LAM, Q. D.; SCHMALZ, B.; FOHRER, N. Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. **Agricultural Water Management**, v.97, p.317-325, 2010.

LUCAS, A. A. T.; FARIAS, D.B.S.; SANTOS S.J.S; SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Anny kelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará.** 1ed.Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R. & WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool: Theoretical documentation** - version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service; Black land Research Center - Texas Agricultural Experiment Station, 2005. 494p.

OEURNG, C., SAUVAGE, S., SÁNCHEZ-PÉREZ, J.-M. Dynamics of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest France. **Earth Surf. Process. Landf.** v. 35, p. 1289 –1301., 2010.

PEIXOTO, J. S. **Monitoramento da qualidade da água no baixo São Francisco e ações de educação ambiental.** Dissertação (Mestrado em recursos hídricos) – Universidade Federal de Sergipe 86 p. 2016.

PEREIRA D.R, MARTINEZ M.A, PRUSKI F.F, SILVA D.D Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology.** v.7 n°1, p.14-37. 2016.

PINTO, D. B. F. Qualidade da água do ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande – MG, Brasil. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, jul./ago. 2009

SALES, J.M.J; BARRETO, S.S; AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização da bacia escola Jacaré Curituba, em Poço Redondo-SE. In: PATRICIA ROSALBA SALVADOR MOURA COSTA; ANTENOR DE OLIVEIRA AGUIAR NETTO. (Org.). **Lugares, Potencialidades e Resistências: Terra e Povo no São Francisco.** 1ed.Aracaju: Criação, 2018, v. 1, p. 111-132.

SANTOS, S. J. S.; LUCAS, A. A. T. Diagnóstico da salinização ocorrente no solo do perímetro irrigado Jacaré - Curituba do território do alto sertão sergipano. In: AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R. F. **Contexto Socioambiental das Águas do Rio São Francisco.** São Cristóvão: EDUFS, 2015. p.253-274.

SILVA, M. G. DA. **Modelagem ambiental na bacia hidrográfica do rio Poxim-Açu/SE e sus relações antrópicas.** Tese (Doutorado em desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 224 p. 2013.

SILVA, V. De P. R. Da; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. De. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco river basin. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016.

SILVA(a) V. De P.R., SILVA, M.T.; SINGH, V.P.; DE SOUZA, E.P.; BRAGA C.C; DE HOLANDA, R.M.; ALMEIDA, R.S.R.; DE SOUSA, F.A.S.; BRAGA, A.C.R. Simulation of stream flow and hydrological response tol and-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, v. 162, p. 166-176, 2018.

SILVA(b), R. M.; DANTAS, J. C.; BELTRAO, J. A.; SANTOS, C. A. G. **Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model.** Nordic Hydrology. Hydrology Research (Print)), p. 2018222-923, 2018.

SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; LUCAS, A. A. T.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Anny kelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará.** 1ed.Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.

SOUZA, R.M.; DOS SANTOS, I; KOBIYAMA, M. **O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro.** 2009.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017: Wastewater, **The Untapped Resource.** Paris, UNESCO.2017, 198p.

2. AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NO BAIXO SÃO FRANCISCO

RESUMO

A agricultura irrigada proporciona a produção de alimentos em regiões semiáridas em diferentes épocas do ano, contudo o manejo inadequado pode ocasionar problemas ambientais. Deste modo, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da agricultura irrigada e da sazonalidade climática nos parâmetros indicadores da qualidade da água da Bacia Escola Jacaré-Curituba, na região do baixo São Francisco Sergipano. Para tal, utilizou dados coletados das concentrações médias de 20 parâmetros da qualidade da água, obtidos em seis campanhas de amostragem no período de abril/2018 a agosto/2019, determinados conforme descrito no Standard methods e foram aplicadas técnicas de análise multivariada com aplicação da análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos hierárquicos (AAH), classificação para fins de irrigação e comparadas com órgãos reguladores. Os resultados obtidos neste trabalho permitiram inferir que os principais impactos na qualidade da água da bacia escola Jacaré Curituba foram observados no período seco. A qualidade da água na área de estudo encontra-se comprometida para padrões definidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente-CONAMA, Ministério da Saúde-MS e Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura-FAO principalmente no grupo I (Ponto de Controle - P2) no que se refere aos parâmetros salinidade, sódio, condutividade elétrica, cloretos, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, clorofila-a e nutrientes (fósforo total e nitrato foram maiores no período seco), como consequência das atividades humanas (aporte de resíduos agrícolas), o grupo II (Barragem - P1) refere-se aos parâmetros potencial hidrogeniônico, temperatura, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, cor e os nutrientes, destacou que nestes pontos foram observados uma melhor qualidade de água no período chuvoso. Na classificação das águas de irrigação houve variação entre as classes C1S1 (Barragem) à C4S3 (Ponto de Controle). Deve-se enfatizar que as técnicas adotadas nessa pesquisa mostraram resultados promissores, revelando a forte influência da agricultura irrigada na qualidade da água, relação à sazonalidade climática e os impactos causados por fontes naturais e antrópicas na Bacia Escola Jacaré Curituba.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, áreas irrigadas, sazonalidade climática, análise multivariada

ABSTRACT

Irrigated agriculture provides food production in semiarid regions at different times of the year, however, inadequate management can cause environmental problems. Thus, this research aimed to evaluate the influence of irrigated agriculture and climatic seasonality in the water quality parameters of the Jacaré-Curituba School Basin, in the lower São Francisco Sergipano region. To this end, it used data collected from the average concentrations of 20 water quality parameters, obtained in six sampling campaigns from April / 2018 to August / 2019, determined as described in the Standard methods and multivariate analysis techniques were applied with application of the principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA), classification for irrigation purposes and compared with regulatory bodies. The results obtained in this work allowed to infer that the main impacts on the water quality of the Jacaré Curituba school basin were observed in the dry period. The water quality in the study area is compromised to standards defined by the National Environment Council-CONAMA, Ministry of Health-MS and United Nations Food and Agriculture Organization-FAO mainly in group I (Control Point - P2) regarding the parameters salinity, sodium, electrical conductivity, chlorides, total dissolved solids, alkalinity, hardness, chlorophyll-a and nutrients (total phosphorus and nitrate were higher in the dry period), as a consequence of human activities (input of waste group II (Dam - P1) refers to the parameters hydrogen potential, temperature, turbidity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, color and nutrients, emphasized that in these points a better water quality was observed in the rainy season . In the classification of irrigation water there was variation between classes C1S1 (Dam) to C4S3 (Control Point). It should be emphasized that the techniques adopted in this research showed promising results, revealing the strong influence of irrigated agriculture on water quality, in relation to climatic seasonality and the impacts caused by natural and man-made sources in the Jacaré Curituba School Basin.

KEYWORDS: Water resources, irrigated areas, climate seasonality, multivariate analysis.

2.1 INTRODUÇÃO

A agricultura (incluindo a irrigação, a pecuária e a aquicultura) destaca-se como responsável pelo 69% das captações hídricas anuais, e é a maior demanda de consumo de água doce do Planeta (WWAP, 2018) A agricultura irrigada proporciona o aumento da produção de alimentos em diferentes épocas do ano e condições climáticas em virtude da demanda mundial por água e alimento, contudo, o manejo inadequado da irrigação e drenagem são umas das principais fontes de poluição difusa dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, nesses ambientes os impactos das atividades agrícolas são cada vez mais importantes na gestão de recursos hídricos (LOMBA *et al.*, 2017, XIE *et al.*, 2018, SINGH, 2019)

Nos últimos anos, tem-se discutido com maior frequência a temática dos recursos hídricos em terras agrícolas, enfatizando-se as perdas em qualidade e quantidade quando adotado plantios sucessivos, aumento da aplicação de agroquímicos, manejos incorretos dos solos e insumos fertilizantes e agrotóxicos nas lavouras e pastagens ameaça a sustentabilidade hídrica especialmente em regiões árida e semiáridas. Pesquisadores ao redor do mundo discutem sobre a situação dos recursos hídricos e sobre a importância do planejamento, gestão e monitoramento dos mesmos (BARAKAT *et al.*, 2016; ARAUJO; AGUIAR NETTO, 2018; BRITTO *et al.*, 2018; BOUAROUDJ *et al.*, 2019; EWAID *et al.*, 2018; CRUZ *et al.*, 2019; NNOROM *et al.*, 2019).

É de grande importância a identificação da qualidade da água, bem como verificar a sua vulnerabilidade à atividade humana, para que seja realizada uma gestão adequada dos recursos hídricos no que se refere ao seu gerenciamento, uso e conservação (SANTI *et al.*, 2012; CARVALHO *et al.*, 2017a). Faz-se necessário estudo para caracterizar física, química e microbiológicamente as águas utilizadas na bacia escola, uma vez que, pesquisas anteriores já revelaram problemas com altos índices de salinidade e sódícidades em solos na região do perímetro irrigado Jacaré Curituba-Sergipe, (SANTOS E LUCAS 2015, SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

As técnicas de análise multivariada em bacia hidrográfica com influência de cultivos agrícolas vêm sendo desenvolvidas para verificar possíveis alterações na qualidade da água (BARAKAT *et al.*, 2016; XIAO *et al.*, 2019; MONTEIRO *et al.*, 2019). A aplicação de técnicas estatísticas multivariadas, como a análise de componentes principais - ACP e análise de agrupamentos hierárquico – AAH, utilizadas visando extrair informações complementares mais relevantes em um conjunto de dados complexos, com a utilização desse tipo de análise ACP e

AAH, permite resumir e facilitar a interpretação das amostras e variáveis de qualidade de água na tomada de decisão (ALVES *et al.*, 2018).

O monitoramento que determina ações de planejamento para conservação do recurso água se faz necessário, pois as características da qualidade da água variam de acordo com o espaço e o tempo, podendo ser um indicativo da ação antrópica. Sendo assim, a realização de um monitoramento espacial e temporal consistente em determinar muitas características hídricas em locais e períodos diferentes, o que gera um grande número de informações correlacionadas (BERTOSSI *et al.*, 2013; CARVALHO *et al.*, 2017b).

Deste modo, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência da agricultura irrigada e da sazonalidade climática nos parâmetros indicadores da qualidade da água da Bacia Escola Jacaré-Curituba, na região do baixo São Francisco sergipano.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no semiárido Nordestino, entre os municípios de Canindé do São Francisco-SE e de Poço Redondo-SE (Figura 1).

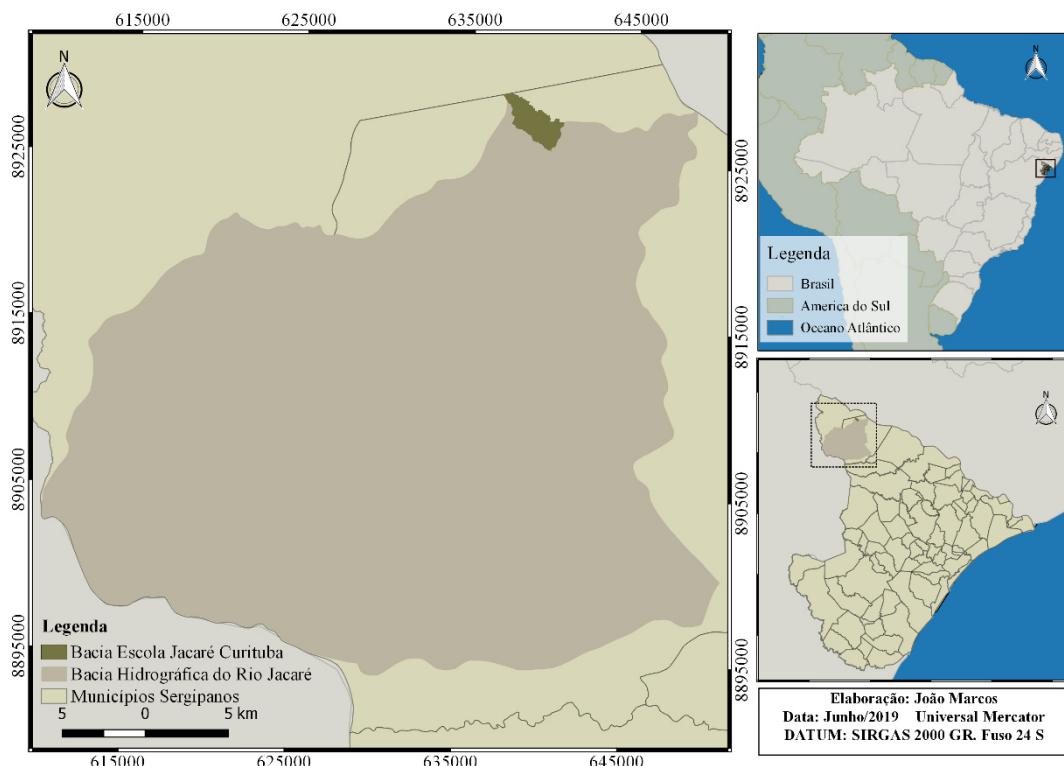


Figura 1: Localização dos pontos de amostragem para fins de qualidade da água e o uso e ocupação da terra da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Os municípios estão localizados no polígono da seca em que compreende a área do Nordeste brasileiro, criada pela Lei nº 175, de 7 de janeiro de 1936, onde classifica os municípios considerando o índice de aridez, balanço hídrico e o risco de crises prolongadas de estiagens (BRASIL, 2019).

A bacia escola foi implantada no ano de 2015 em um riacho afluente do rio Jacaré, importante afluente da margem direita do rio São Francisco, situada no Assentamento de reforma agrária Jacaré Curituba, destaque no Estado de Sergipe com a aproximadamente 700 famílias de agricultores familiares, através da irrigação localizada salientar que a agricultura irrigada fortalece a economia regional com o aumento da produção agrícola em lavouras temporária e perenes com destaque mandioca, quiabo, milho verde, acerola e goiaba (AGUIAR NETTO *et al.*, 2016; SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

Com base na estrutura proposta Kobjiyama *et al.*, (2008), A bacia escola foi estabelecida para exercer e proporcionar aos diversos públicos a possibilidade de pesquisa científicas, trabalhos de campo, atividade de extensão e educação ambiental, estudo dos efeitos das mudanças no uso e ocupação do solo e sobre os processos hidrológicos.

Os recursos hídricos locais tem seu início no lago da Usina Hidrelétrica de Xingó a captação das águas do rio São Francisco inicialmente por gravidade e posteriormente através da estação de Bombeamento EB-100 segue por adutoras e canais até a bacia escola, sua chegada por canal aberto no reservatório de acumulação construído pela CEHOP, esse com as seguintes características volume útil projetado 197000m³, área do espelho d' água 200000m², comprimento do coroamento da barragem 1140 metros, esse reservatório é responsável pela distribuição da água para os lotes irrigados (CEHOP 2019).

Segundo a classificação climática de KOPPEN (1918), o clima é do tipo Bssh' – clima muito quente, semiárido, tipo estepe, Caatinga hiperxerófila com estação chuvosa no inverno compreendendo os meses de abril a julho e seco durante os meses restantes do ano com precipitação baixas e irregulares. A pluviosidade média anual situa-se em 552,25 mm, local com elevadas temperaturas média superior a 23°C e evapotranspiração superior a 1500mm anuais. Os solos na região são predominantemente do tipo Luvissolo Crômico, são rasos com textura franco argilosa, dificuldade de drenagem e boa fertilidade o que favorecem os cultivos agrícolas observados (SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

As médias das características climáticas na região para o período de 1980 a 2016 de acordo com o banco de dados disponibilizado por Xavier *et al.* (2015) e com os dados

meteorológicos do escritório local da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe – EMDAGRO, em conjunto com a vazão média mensal coletada pela Calha Parshall localizada no ponto 2 da coleta de dados (Ponto de Controle) são apresentados na Figura 2.

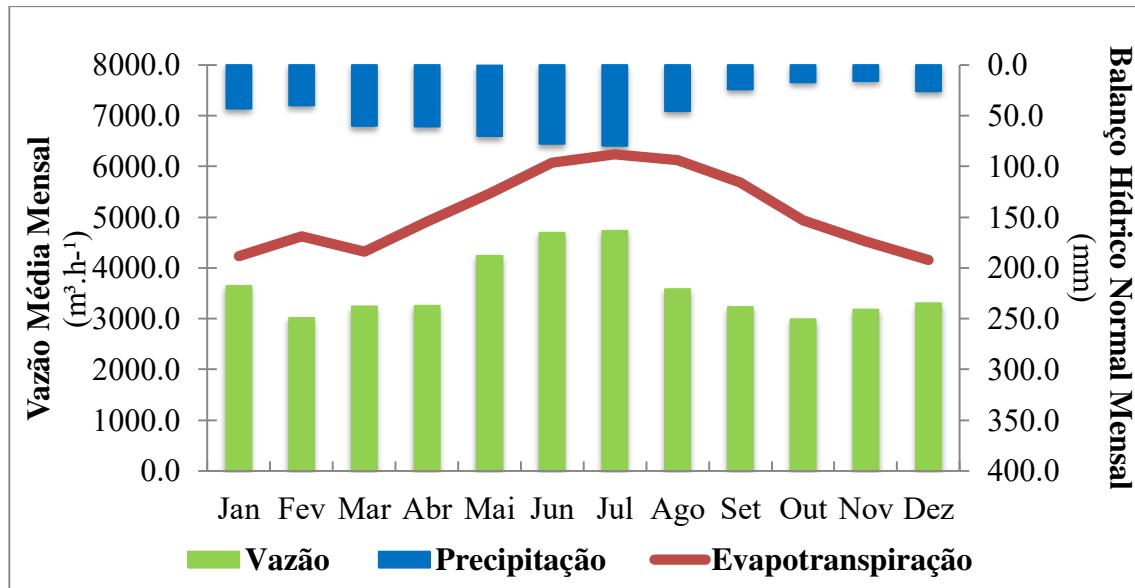


Figura 2: Dados hidrológicos mensais da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Em relação ao mapa de uso/ocupação do solo através do softwares livres Qgis versão 2.6.1, as técnicas de geoprocessamento, os trabalhos de campo e a ortofotos digitais, obtidas a partir do Gaofen-2; com resolução de pixel de 0,8mx0,8m, georreferenciadas, com coordenadas na projeção UTM(*Universal Transversa de Mercator*), Modelo da Terra pertencente ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, conhecido como SIRGAS2000 , contidos na zona 24S, recortada a partir da máscara da bacia do Escola Jacaré Curituba, posteriormente essa imagem foi processada e criou-se o mapa de uso e ocupação atual presente na área de estudo (Figura 3).

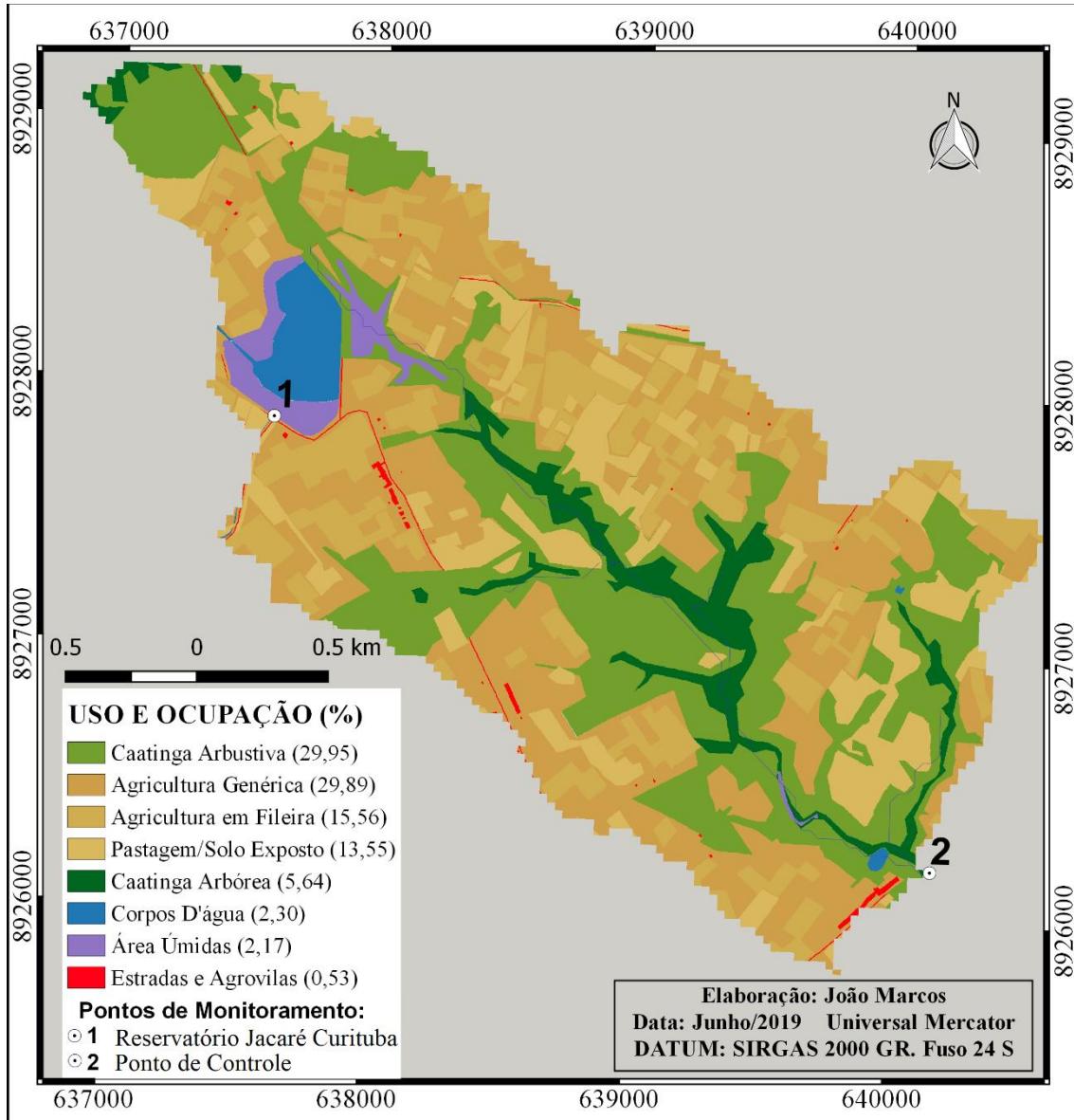


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem para fins de qualidade da água e o uso e ocupação da terra da Bacia Escola Jacaré Curituba.

2.2.2 Amostragem e Análises Químicas

As escolhas dos locais de amostragem foram selecionados de forma programada, considerando a acessibilidade e finalidade de representação da bacia, compreendendo os diferentes usos e ocupação do solo, distribuídos em 2 (dois) locais da bacia escola Jacaré-Curituba(Figura 3 e Apêndice I).

A primeira estação de monitoramento, é na saída barragem para o canal de irrigação (P1) que tem a finalidade de abastecer o sistema de irrigação do Assentamento Jacaré – Curituba, esse reservatório está 3km do ponto de controle. A segunda estação (P2)

correspondente ao Ponto de Controle onde foi instalada um medidor tipo Calha Parshall instalada no centro de difusão, onde desde 2015 são realizadas as medição de vazão diárias.

As campanhas de amostragem foram realizadas em diferentes períodos para avaliar a influência da sazonalidade na qualidade das águas dos locais estudados. O periodo sazonal definido seguindo as características climáticas mensais, foi identificado como úmidos (meses com maiores precipitação), secos (meses baixas precipitações)e a zona intermediária entre ambas estações, conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1. Estações de monitoramento na bacia escola Jacaré-Curituba, Poço Redondo/SE.

IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRAGEM	
Barragem Jacaré-Curituba(P1)	Ponto de Controle (P2)
UTM 24L 637599; 8927866	UTM 24L 640139; 8926218-
PERÍODO SAZONAL	
Transição Seco-Úmido(t ¹)	Abril/2018
Úmido(u ¹)	Julho/2018
Seco(s ¹)	Novembro/2018
Seco(s ²)	Janeiro/2019
Úmido(u ²)	Maio/2019
Transição Seco- Úmido(t ²)	Agosto/2019

¹ e ² Correspondente ao primeiro e segundo período de sazonal, respectivamente.

Em cada ponto foram coletadas amostras de água na camada superficial em frascos plásticos, que foram previamente limpos. Todos os procedimentos de coleta, conservação e análise obedeceram às metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), os parâmetros e métodos de análise utilizados estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros físico-químicos e biológicos e respectivos métodos de análise utilizados para a avaliação da qualidade da água.

Ensaio	Sigla	Unidade	LQ*	Método
pH		--	1 – 12	*SMEWW, 2012, 4500 H+ B
Condutividade Elétrica	CE	dS m ⁻¹	0,01	SMEWW, 2012, 2510 B
Oxigênio Dissolvido	OD	mg O ₂ L ⁻¹	0,04	SMEWW, 2012, 4500-O C
Sólidos Dissolvidos Totais	STD	mg L ⁻¹	0,006	SMEWW, 2012, 2510 A
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg O ₂ L ⁻¹	0,5	SMEWW, 2012, 5210-D
Sólidos em Suspensão Totais	SST	mg L ⁻¹	--	SMEWW, 2012, 2540 D
Nitrogênio – Ammoniacal	NH ₃	mg NH ₃ L ⁻¹	0,012	SMEWW, 2012, 4500-NH3 F
Nitrogênio – Nitrito	NO ₂	mg N-NO ₂ L ⁻¹	0,0009	SMEWW, 2012, 4500-NO2 B
Nitrogênio – Nitrato	NO ₃	mg N-NO ₃ L ⁻¹	0,026	SMEWW, 2012, 4500-NO3 C
Cor Aparente	Cor	uH	0,02	SMEWW, 2012, 2120 C
Dureza Total	DT	mg CaCO ₃ L ⁻¹	2,00	SMEWW, 2012, 2340 C
Temperatura da água	Temp	°C	0,10	(ensaio de campo)
Salinidade	SAL	g/Kg	0,01	SMEWW, 2012, 2520 B
Clorofila a	Cl-a	µg L ⁻¹	0,01	SMEWW, 2012, 10200 H
Sódio	Na ⁺	mg Na L ⁻¹	0,0043	*ICP OES
Fósforo Total (RBLE)	Pt	mg P L ⁻¹	0,0067	SMEWW, 2012, 4500-P B,E
Cloretos (RBLE)	Cl ⁻	mg Cl L ⁻¹	2,42	SMEWW, 2012, 4500-Cl B
Alcalinidade Total (RBLE)	Alc	mg CaCO ₃ L ⁻¹	5,22	SMEWW, 2012, 2320 B
Coliformes Termotolerantes	Coli	NMP/100mL	--	SMEWW9221B
Turbidez	Tr	ut	0,01	SMEWW, 2017, 2130 B

*SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23^a. ed., Washington, 2017; ICP OES: Espectrofotometria de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado; LQ: Limite de Quantificação do Método

2.2.3 Classificação da Qualidade da Água

De acordo com órgãos reguladores a classificação da água foram determinadas através dos parâmetros analisados para o atendimento de "Valores Máximos Permitidos". – Foram utilizadas a classificação do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 357/2005(BRASIL, 2005), pela classificação das águas para fins de irrigação de acordo com Ayers e Westcot (1994) e pela metodologia sugerida pelo United States Salinity Laboratory - USSL (RICHARDS, 1954).

Utilizou-se o diagrama de classificação das águas para fins de irrigação em que a concentração total de sais e ou condutividade elétrica combinada com a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), permite formar até vinte classes de água para irrigação. Os resultados do diagrama oscilam entre os de risco de salinidade C1 a C4 e os riscos de problemas de infiltração no solo causado pela sodicidade da água de S1 a S4 em todas as combinações possíveis.

2.2.4 Análises multivariada de dados.

O software Statistica 12.0 foi usado para aplicação da análise multivariada aos dados obtidos, partiu de uma matriz de 12 x 20 (linhas x colunas) as linhas representando os pontos

de amostragem em diferentes épocas do ano, e as colunas os parâmetros determinados (ver Tabela 2) como variáveis. Em seguida, os dados foram pré-processados usando autoescalamento (com média zero e desvio padrão igual a 1). Para a construção do gráfico resultante a partir da HCA que ilustra os agrupamentos formados, chamado de dendograma foi usada à medida Euclidiana para o cálculo das distâncias interpontos e aplicado o método Ward's para ligação (a geração dos grupos) (HORTELLANI *et al.*, 2008).

2.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

2.3.1 Características Físico-Químicas e Biológicas

De acordo com os resultados obtidos para uso e ocupação da terra conforme a Figura 3, a maior parte da Bacia Escola Jacaré-Curituba encontra-se ocupada pela agricultura irrigada, classificadas neste trabalho em dois tipos, a agricultura genérica onde são pequenas glebas, as quais são cultivadas culturais anuais, semianuais (29,89%), e a agricultura em fileira(15,56%) em que consiste em sua maior parte as espécies de goiaba, banana, acerola e milho verde, ambos os tipos de agricultura somadas possuem porcentagem igual a 45,45% da área de estudo e estão distribuídas na paisagem. Nos dois sistemas a aplicação dos fertilizantes é realizada na época de plantio e em manutenção, enquanto a aplicação de defensivos agrícolas não possui período fixo. Ocorre, ainda, associada ainda a agricultura e pecuária a área ocupada com pastagem e solos expostos 13.55% nessa bacia.

A área referente a Caatinga e preservação da mata ciliar, foi classificada em Caatinga arbustiva sendo representada por 29,95% da área total da bacia, enquanto que a Caatinga Arbórea encontra-se em apenas 5,64% da terra localizada em áreas protegidas. A redução da vegetação ciliar e remanescentes de mata nativa em diferentes locais da bacia hidrográfica do rio Jacaré 2007(SANTANA, 2007; AGUIAR NETTO *et al.*, 2015)

A recuperação hidroambiental desenvolvida desde 2013, seja no método da implantação Florestal ou regeneração natural, destaque para o importante papel de recuperação realizados nos últimos anos através dos projetos Águas do São Francisco, apresentou bons resultados, pois foram reflorestadas as margens desse riacho bem como em outras áreas no Assentamento Rural Jacaré Curituba (AGUIAR NETTO *et al.*, 2015). Em menores proporção de ocupação das terras na Bacia Escola os corpos hídricos e as áreas úmidas ocupam 2,30% e 2,17% respectivamente, já as estradas, agrovilas e infraestruturas representam apenas 0,5% da área total.

Em geral os valores dos parâmetros avaliados da qualidade da água encontrados na Calha Parshall (Ponto de Controle– P2) foram superiores aos da água oriunda da Barragem Jacaré Curituba (Barragem – P1) (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo estatístico da composição das variáveis da qualidade das águas da Bacia Escola Jacaré Curituba, Poço Redondo-SE.

Parâmetros	Barragem Jacaré Curituba - P1				Ponto de Controle - P2				CONAMA 357/05	FAO
	Média	Desvio Padrão.	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão.	Mínimo	Máximo	Padrão (L2)	
PH	8.47	0.5	7.92	9.1	8.24	0.11	8.07	8.37	6 a 9.0	6.5 a 8.5
CE(dS m ⁻¹)	0.54	1.14	0.007	2.87	2.76	0.64	2.14	3.97	-	< 0.7
OD(mg O ₂ L ⁻¹)	9.0	2.08	5.22	11.57	7.1	0.88	6.05	8.62	>5	
SDT(mg L ⁻¹)	47.91	5.29	41.87	54.63	1409.17	121.70	1197.0	1556.0	500	<450
DBO(mg O ₂ L ⁻¹)	19.82	22.62	0.5	64.0	9.33	9.03	0.5	25.0	≤5	≤5
SST (mg L ⁻¹)	12.5	23.82	1.0	61.0	10.17	9.15	3.0	28.0		
NH ₃ (mg NH ₃ L ⁻¹)	0.04	0.03	0.01	0.08	0.03	0.02	0.02	0.06	2	
NO ₂ (mg N-NO ₂ L ⁻¹)	0.04	0.05	0.00	0.14	0.62	1.33	0.01	3.33	1	
NO ₃ (mg N-NO ₃ L ⁻¹)	0.51	1.02	0.00	2.57	0.94	1.13	0.01	2.62	10	<5
COR (uH)	6.73	14.39	0.60	36.1	15.64	28.22	0.5	72.9	75	
DT(mg CaCO ₃ L ⁻¹)	33.28	7.17	24.74	41.09	1204.08	740.04	514.1	2350.0		
SAL(g/Kg)	0.27	0.59	0.02	1.48	1.51	0.31	1.18	2.09	<0.5	
CL-a	1.22	1.35	0.01	3.75	3.92	2.12	0.01	5.52	30	
Na(mg Na L ⁻¹)	42.44	95.32	1.20	237.0	324.83	12.89	312.0	340.0		<69
PT(mg P L ⁻¹)	0.03	0.01	0.02	0.04	0.06	0.03	0.04	0.1	0.050	<1
Cl(mg Cl L ⁻¹)	4.08	0.59	3.35	5.0	510.58	39.42	462.7	573.1	250	106
ALC(mg CaCO ₃ L ⁻¹)	40.13	8.2	31.74	54.22	550.77	95.76	476.1	699.3		
Coli(NMP/100mL)	3426.5	3140.8	79.0	6800.0	926.67	724.81	170.0	1700.0		<1000
Tz	2.42	3.61	0.2	9.60	2.1	1.34	0.6	4.3		
T (°C)	28.63	1.76	26.54	31.17	28.35	1.82	24.74	29.85		

pH: potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade Elétrica; OD: Oxigênio Dissolvido; SDT: Sólidos Dissolvidos Totais; DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos em Suspensão Totais; NH₃: Nitrogênio – Ammoniacal; NO₂: Nitrogênio – Nitrito; NO₃: Nitrogênio – Nitrato; COR: Cor Aparente; DT: Dureza Total; SAL: Salinidade; Cl-a: Clorofila a; Na: Sódio; PT: Fósforo Total; Cl: Cloretos; ALC: Alcalinidade Total; Coli: Coliformes Termotolerantes; Tz: Turbidez; T: Temperatura da Água.

O pH é um parâmetro que caracteriza o grau de acidez ou de alcalinidade da água ou do solo. O pH da água medido nos dois locais de estudo variou entre 7,92 e 9,10 no período seco (Ps), entre 8,15 e 9,05 para o período de transição (Pt) e de 8,01 a 8,34, para o período úmido (Pu) entre os pontos de coleta. O maior valor de 9,10 registrado durante a pesquisa foi observado em (P1s¹). No geral, o pH das águas dos locais estudados foi classificado como normal, variando de neutro a levemente alcalino (Figura 4A).

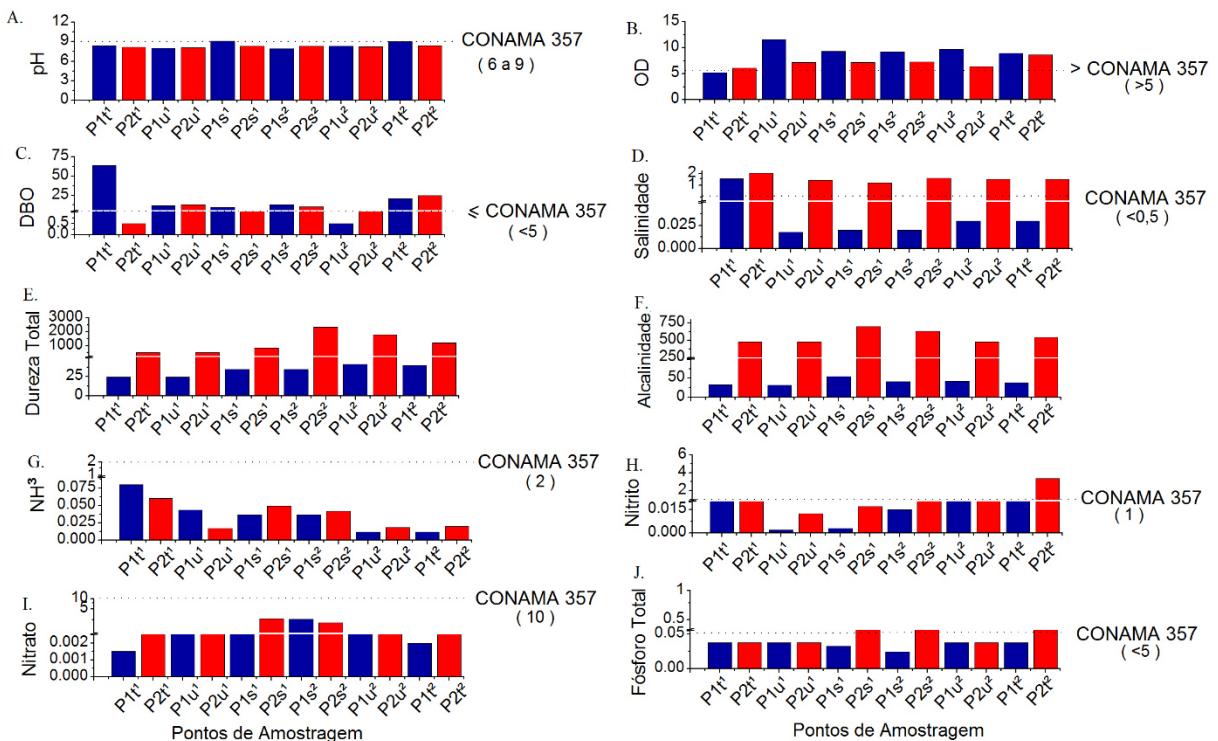


Figura 4. Resultados dos indicadores químicos da qualidade da água na Bacia Escola Jacaré Curituba em três períodos de amostragem [seco(s), úmido(u) e a transição(t)] entre os anos de 2018 a 2019. P1(Barragem) e P2(Ponto de Controle).

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005) quase todas as amostras estudadas (83,3%) foram classificadas na faixa normal de pH (6,0 - 9,0). Neste estudo foram observados valores acima de 8,5 nas águas da barragem em novembro (P1s¹) e em agosto de 2019 no mesmo ponto de amostragem (P1t²), época que houve diminuição no nível do reservatório. O pH acima de 8,5 favorece ao entupimento nos sistemas de irrigação localizados e pode ser fator limitante em relação à algumas culturas.

De acordo com Sales *et al.* (2018) os solos da região de estudo são levemente alcalinos, fato esse que pode justificar a ocorrência de pH com característica neutra a alcalina, pois o escoamento da água arrasta componentes dos solos e pode influenciar os resultados de pH.

As concentrações de oxigênio dissolvido (OD) estabelecidas pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005) devem apresentar um limite mínimo de 5 mg.L⁻¹ de OD; desta

maneira, os valores analisados nos dois locais de amostragem (Figura 4B), atenderam à legislação para água doce classe 2 em todos os períodos estudados.

Resultado semelhante foi obtido por Sassoma *et al.* (2015) ao analisarem a qualidade da água do Rio Catumbela na Angola, por Valle Júnior *et al.* (2013) Rio Uberaba – MG e por Vasconcelos *et al.* (2009) do Rio Acaraú – CE.

Os valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) variaram de 0,5 a 64,0 mg.L⁻¹, na Barragem (P1) e em relação ao Ponto de Controle (P2) os valores encontrados ficaram entre 0,5 a 25 mg.L⁻¹. Os valores da DBO apresentados na Figura 4C, mostra que em ambos os pontos foram semelhantes em relação ao período seco e chuvoso, sendo o maior valor (64 mg.L⁻¹) registrado no reservatório durante o período de transição seco e chuvoso (P1t¹).

O aumento durante esse período provavelmente ocorre devido ao aumento dos níveis da matéria orgânica, tal como reportado por Britto *et al.* (2018), onde a maior concentração da matéria orgânica no corpo d'água ocorreu no período seco resultante da evapotranspiração na região. Foram observados valores acima do máximo estabelecido para DBO (até 5 mg L⁻¹), apenas para os períodos (P1t¹, P1t² e P2t²).

Os resultados da salinidade podem ser observados na Figura 4D, sendo as variações média desse parâmetro de 0,27 g.kg⁻¹ na Barragem (P1) e de 1,51 g.kg⁻¹ no Ponto de Controle (P2). O teor de sais dissolvidos presente no corpo hídrico é indispensável em estudos para agricultura irrigada, como forma de avaliar a qualidade da água para fins de irrigação e abastecimento humano. A maior salinidade em amostras coletadas no Ponto de Controle (P2) e possíveis correlações com o escoamento agrícolas foram encontrados por Monteiro *et al.* (2019).

Nas Figuras 4E e 4F, as amostras de água coletadas evidenciaram os elevados teores para os parâmetros dureza e alcalinidade no Ponto da Controle (P2), local com forte influência das atividades e cultivos agrícolas. Os valores da variável dureza total encontrados no Ponto de Controle (P2) foram superiores em todo o período estudado aos valores encontrados na Barragem (P1) e variou de 514,1 a 2.350 mg.L⁻¹. Para o consumo humano estas variáveis indicam sabor desagradável, na irrigação provoca efeitos de incrustações nas tubulações. O Ponto de Controle (P2), também apresentou maior variação dos valores (476 a 699,30 mg.L⁻¹) e assim como a dureza, os altos valores conferem à água sabor desagradável (LORDELO *et al.*, 2018).

Em bacias hidrográficas que possuem uso para fins de agricultura irrigada, o aumento das concentrações de fosforo e nitrogênio pode estar associado as práticas agrícolas, irrigação, uso intensivo de fertilizantes, revolvimento do solo, erosão do solo, e a drenagem. Promovem o crescimento excessivo de algas em consequência do processo de eutrofização, e expõe ainda a

problemas com a redução do oxigênio dissolvido e aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica (SCHINDLER et al., 2012). Durante a pesquisa foi observada a presença de macrófitas aquática que são possíveis indicadores do aporte de nutrientes no sistema natural.

Conforme apresentado na Figura 4G em relação a NH_3 os valores encontrados ficaram entre 0,012 a 0,08 mg.L^{-1} na Barragem (P1) e entre 0,017 a 0,06 mg.L^{-1} no Ponto de Controle (P2), o Nitrito (NO_2) na Barragem variou de 0,002 a 0,14 mg.L^{-1} e no Ponto de Controle (P2) foi encontrado valores entre 0,123 e 3,331 mg.L^{-1} (Figura 4H), enquanto para o Nitrato (NO_3) na Barragem (P1) foi encontrado valores de 0,018 a 2,565 mg.L^{-1} e no Ponto de Controle (P2) valores de 0,012 a 2,62 mg.L^{-1} (Figura 4I). Com exceção dos resultados do Nitrito obtidos durante o mês de agosto de 2019, o qual foi 3 vezes superior ao valor máximo permitível pelo CONAMA (BRASIL, 2005), todos os demais valores encontrados para as formas de nitrogênio estão abaixo dos valores fixados pela legislação.

Segundo Sassoma *et al.* (2015) a presença de nitritos nos mananciais indica introdução recente destes compostos nas águas, pois estes são instáveis e oxidam-se facilmente para nitratos. Os nutrientes são essenciais para os seres vivos, sendo que em ambientes aquáticos a presença dos nutrientes pode estar associada tanto às fontes naturais (dissolução dos solos) quanto antropogênicas (do uso de fertilizantes e despejos domésticos) e podem ser transportados para os rios em razão da drenagem das águas em áreas agrícolas e urbanas (KUMAR *et al.*, 2017).

Durante o monitoramento hídrico na Bacia Escola Jacaré-Curituba verificou-se que o fósforo total (PT) registrado na Barragem (P1) apresentou valores médios entre 0,028 a 0,037 mg.L^{-1} , enquanto que na região do Ponto de Controle (P2) foram observados valores situados na faixa de 0,037 a 0,087 mg.L^{-1} .

Os maiores valores observados ocorreram no período de estiagem em P2s¹ e P2s² (Figura 4J), sendo esses valores acima do máximo permitível pelo CONAMA (BRASIL, 2005), este fato pode ser explicado com a diminuição das chuvas e a aplicação de fertilizantes fosfatados, cuja origem são os excedentes da água de drenagem agrícola. Além disso, no período chuvoso, o escoamento superficial das águas das chuvas é somado aos excedentes da irrigação, favorecendo a diluição das concentrações de fósforo. Esses resultados diferem do padrão encontrado por Britto *et al.* (2018), que registraram maiores valores no período chuvoso em que o autor destaca os mecanismos do escoamento superficial.

Analizando a Figura 5A observa-se que a cor da água no Ponto de Controle (P2) é relativamente maior que os teores encontrados na Barragem (P1). Em relação à sazonalidade, a época mais chuvosa e o período posterior a ela apresentaram o maior resultado em ambos os

locais, a cor aparente obteve-se variações média de 6,73 uH em P1 e de 15,64 uH em P2. Dentre as causas da cor nos mananciais, ocorrem as causas naturais, proveniente da matéria orgânica natural (decomposição vegetal, algas, tanino, lignina e os minerais dissolvidos “complexo de ferro e manganês”) e antrópicas (lançamento de efluentes) (VON SPERLING, 2007; SKORONSKI *et al.*, 2014).

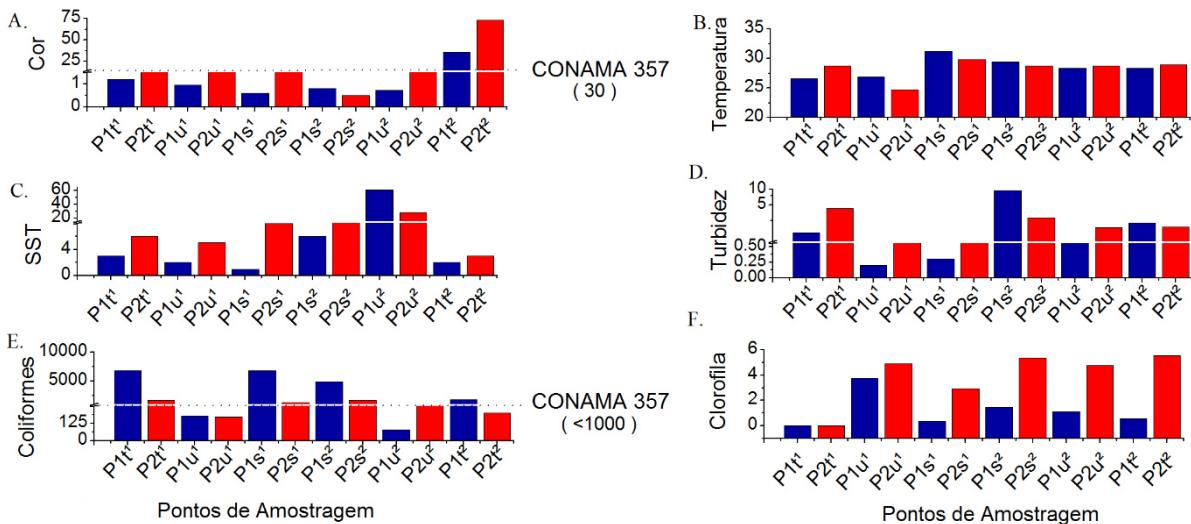


Figura 5. Resultados dos indicadores físicos e biológicos da qualidade da água na Bacia Escola Jacaré Curituba em três períodos de amostragem [seco(s), úmido(u) e a transição(t)] entre os anos de 2018 a 2019. P1(Barragem) e P2(Ponto de Controle).

Em relação à temperatura da água, os resultados obtidos mostram que existe baixa variação ao longo do período analisado em ambos os locais estudados (Figura 5B), sendo que a temperatura no período chuvoso variou de 24,74 a 28,74°C, e no período de estiagem a variação foi de 28,75 a 31,17°C. O menor valor observado ocorreu no período úmido em P2u¹, durante este período da coleta de dados, as condições climáticas eram presença de chuvas constantes durante o mês de julho.

Resultados semelhantes foram encontrados por Britto *et al.* (2016) que analisaram os impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do Rio Betume no Estado de Sergipe. Os autores encontraram valores de temperatura no período seco variando de 26,2 a 29,72 °C e no período chuvoso variando de 25,86 a 28,63 °C.

Os sólidos em suspensão totais (SST) apresentaram valores entre 1 a 61 mg.L⁻¹ na Barragem (P1) e 3 a 28 mg.L⁻¹ no Ponto de Controle (P2) (Figura 5C). Outra forma de verificar a carga de sólidos é através da medição da resistência da água à passagem de luz é conhecida como turbidez, a qual é provocada pela presença de partículas flutuando na água, é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição, e o valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 5,0 NTU. Os valores encontrados nas águas analisadas variaram de

0,20 a 9,60 NTU, sendo o maior valor de 9,6 NTU (P1s²) correspondente ao ponto da Barragem durante o mês de janeiro de 2019 (Figura 5D), de acordo com a resolução está acima do limite estabelecido CONAMA 357 (BRASIL, 2005).

Segundo Britto *et al.* (2016) o aumento dos valores de turbidez ocorre possivelmente devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias, plâncton.

Nos dois pontos amostrados e em qualquer época do estudo foram encontrados a presença de Coliformes Termotolerantes (Coli), cujos valores encontrados variaram entre 79 a 6.800 NPM.100mL⁻¹ (Figura 5E). Este fato pode estar relacionado ao livre acesso de animais especialmente bovinos para dessedentação animal e isso torna-se preocupante pelo uso da água da barragem para fins de abastecimento humano.

Nota-se, ainda, que durante o período seco em ambos os locais e no período de transição, na barragem, os valores de Coli foram superiores aos valores máximos permitidos pela resolução 357 do CONAMA (BRASIL, 2005), que é de 1.000 NPM.100mL⁻¹. A presença dos coliformes na água pode ser prejudicial ao ser humano diante da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Os coliformes são uma variável importante em relação ao uso da água para fins de irrigação, pela possibilidade de conter microrganismos causadores de doenças. Ressalta-se que a ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária por meio da resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, estabelece limites microbiológicos para Coliformes Termotolerantes em hortaliças e frutas in natura para consumos diretas e frescas podendo até o limite de 100 NPM.100mL⁻¹ (BRASIL, 2001).

No que se refere aos valores de Clorofila-a registrada nesta pesquisa, na Figura 5F são apresentadas as variações no período seco (escala de 0,38 a 5,35 µg L⁻¹), transição (0,01 a 5,52 µg L⁻¹) e chuvoso (escala de 1,12 a 4,91 µg L⁻¹). O Ponto de Controle (P2) em relação a Barragem (P1) apresentam maiores valores durante todos os períodos estudados.

2.3.2 Parâmetros de Qualidade da Água para fins de Irrigação e Grau de restrição - FAO

A presença de teor de sais dissolvidos totais (STD) sob a forma de íons são oriundos de fontes naturais (erosão e dissolução de rochas) ou antrópicas (escoamento agrícolas), a carga de STD na Barragem (P1) mostrou uma média igual a 47,91 mg.L⁻¹, enquanto que os valores obtidos no Ponto de Controle (P2) em média foram equivalentes à 1.409,17 mg.L⁻¹ (Figura 6A), portanto superior ao valor máximo permitível pelo CONAMA 357 (até 500 mg L⁻¹) (BRASIL, 2005) e de acordo com a FAO (AYERS e WESTCOT, 1994), apresenta um grau de restrição

de uso moderado para valores entre 450 a 2.000 mg L⁻¹. Ressalta-se a forte influência de áreas agrícolas no Ponto de Controle (P2) enquanto que na Barragem (P1) a água vem do rio São Francisco por adutoras.

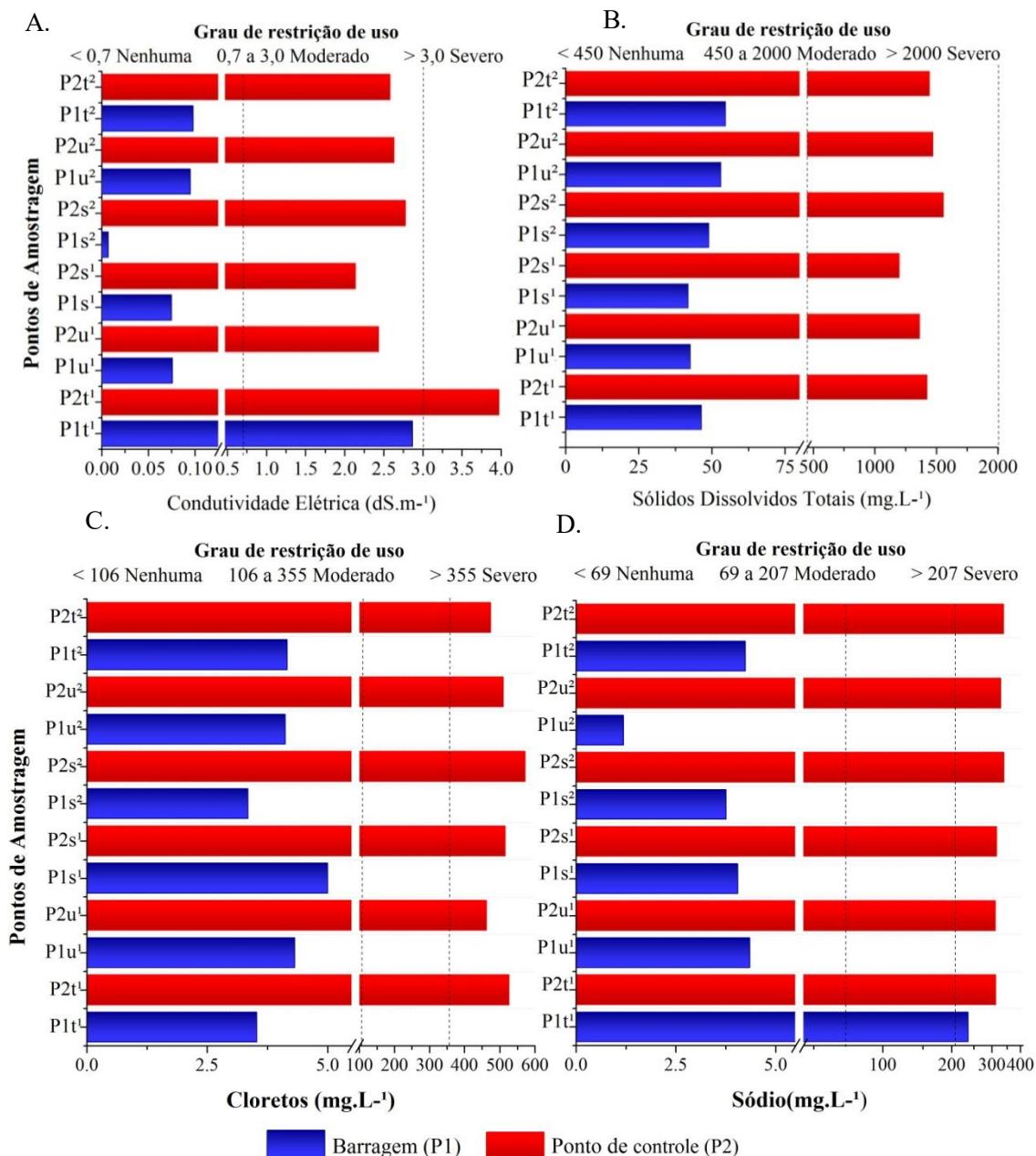


Figura 6. Resultados dos parâmetros de qualidade da água para fins de irrigação na bacia escola Jacaré Curituba em três períodos de amostragem (s-seco, u-úmido e a t-transição) entre os anos de 2018 a 2019, e os respectivos graus de restrição de uso segundo a FAO.

Outro modo de avaliar o teor de sais na água é por meio da condutividade elétrica (CE), sendo que os resultados apresentaram as maiores variações entre os locais de amostragem, apresentando valores mais baixos equivalentes à 0,007 dS.m⁻¹ para a Barragem (P1) e valores elevados no Ponto de Controle (P2) igual à 3,97 dS.m⁻¹ (Figura 6B).

Este padrão de aumento ocorre tanto no período chuvoso quanto no seco. Ressalta-se que a água da barragem abastece a irrigação localizada nos lotes do Assentamento Rural Jacaré Curituba, enquanto os escoamentos gerados por excedente na irrigação drenam superficialmente e subsuperficialmente para o riacho estudado. Os elevados valores de Condutividade Elétrica ($> 0,1 \text{ dS.m}^{-1}$) permitem inferir que esses ambientes apresentam muitos íons dissolvidos na água, oriundos da água de drenagem agrícola. Silva *et al.*, (2019) em trabalhos sobre recuperação de solos salinos no mesmo Assentamento Rural, afirmam que os solos salinizam por excesso da água da irrigação.

Esses resultados corroboram com o registro de solos em processo de salinização no Assentamento Rural Jacaré Curituba encontrados por Santos e Lucas (2015), Sales *et al.* (2018), Silva *et al.* (2019), que mostram elevados teores de Condutividade Elétrica no solo. Menezes *et al.* (2016) sugerem que após a passagem por lotes irrigados a água retorna com uma qualidade deteriorada possivelmente devido ao mau uso do solo e da água nos cultivos agrícolas.

Na Figura 6C e 6D pode-se visualizar os valores obtidos para os íons dissolvidos de sódio (Na^+) e cloretos (Cl^-) que apresentaram elevadas concentrações, superiores a 207 mg.L^{-1} para sódio e maiores que 355 mg.L^{-1} para os cloretos no Ponto de Controle da Bacia Escola Jacaré Curituba (P2). Assim, pode-se afirmar que no Ponto de Controle (P2) ocorreu aumento dos valores de sólidos dissolvidos totais, sódio, cloretos, dureza, alcalinidade, condutividade e salinidade em todos os períodos das análises, em comparação a Barragem (P1). A passagem da água por áreas agrícolas irrigadas resulta em problemas de qualidade, devido ao manejo inadequado do solo e da água (MONTEIRO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019).

De acordo com as diretrizes adotadas para análise no diagrama de classificação das águas para fins de irrigação (Figura 7), indiferente ao período do ano e local, a qualidade da água no Ponto de Controle (P2) apresentou as Classes C4 (águas de salinidade muito alta com condutividade elétrica entre $0,75$ a $2,25 \text{ dS.m}^{-1}$), confirmado a perda de qualidade da água entre os pontos 1 e 2 na Bacia Escola Jacaré Curituba.

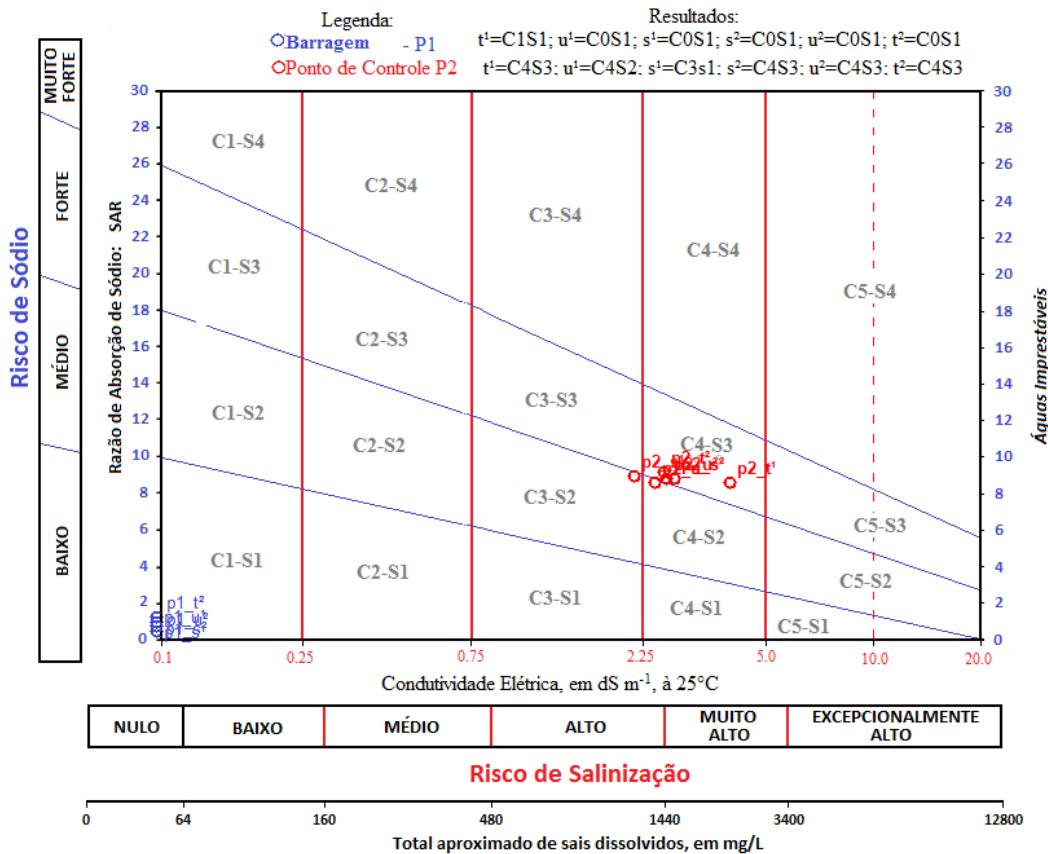


Figura 7. Diagrama de classificação das águas para fins de irrigação da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Verifica-se que 83% das amostras das águas coletadas no Ponto de Controle (P2) apresentam CE superior à $2,25 \text{ dS.m}^{-1}$, portanto impróprias para fins de irrigação. O Diagrama também apresenta resultados que indicam a boa qualidade da água da Barragem (P1),(C1S1, ou seja, águas de salinidade e sodicidade reduzidas, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação e revelam importância da preservação e manutenção desse manancial, devendo-se mitigar o livre acesso de animais e os descartes de resíduos próximos a barragem, que podem favorecer sua deterioração.

Lucas *et al.* (2019) utilizando a classificação e o diagrama de acordo a FAO (AYERS e WESTCOT, 1994), na bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins, Estado de São Paulo, apresentou um baixo a médio risco de salinidade, os locais apresentaram-se C1 e C2, exceto em um dos pontos de amostragem que apresentou risco a salinização classificada como C3, esse recebe água de áreas agrícolas. A Qualidade da água em um rio no platô de Loess na China foi classificada segundo os critérios da FAO classificada como (C4S4 e C4S2), principalmente relacionada com sódio elevado e perigo salinidade (XIAO *et al.*, 2019).

Os níveis de sais e nutrientes é impulsionado principalmente pela quantidade e qualidade da água lixiviada de origem agrícola, e trabalhos têm indicado a correlação da

drenagem agrícola no processo de degradação da qualidade, da mesma forma que pode limitar a disponibilidade de água em regiões a jusante (van VLIET *et al.*, 2017; HU *et al.*, 2019).

2.3.3 Análise Multivariada dos Dados

Tendo por objetivo agrupar as propriedades físico-químicas e microbiológicas da água nos pontos estudados na Bacia Escola Jacaré-Curituba foi aplicada análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamentos hierárquicos (AAH) ao conjunto de dados do período sazonal. A matriz de correlação entre os componentes e variáveis padronizadas foi utilizada para identificar a similaridade na qualidade da água dos 2 pontos de amostragem nas 6 campanhas, as utilizações desses dois tipos de análise apresentam resultados similares e mantém com as informações relevantes (ALVES *et al.*, 2018).

Os 11 PCs representam 100% da variação nos resultados obtidos (Figura 8), considerando o critério de Kaiser, no qual os autovalores dos fatores devem ser maiores que 1, sendo que os quatro primeiros PCs têm > 1 , representando 88,8% da variação (Tabela 4). O primeiro componente principal é o resultado de 10 variáveis estudadas, o que explica 48,04% da variância total.

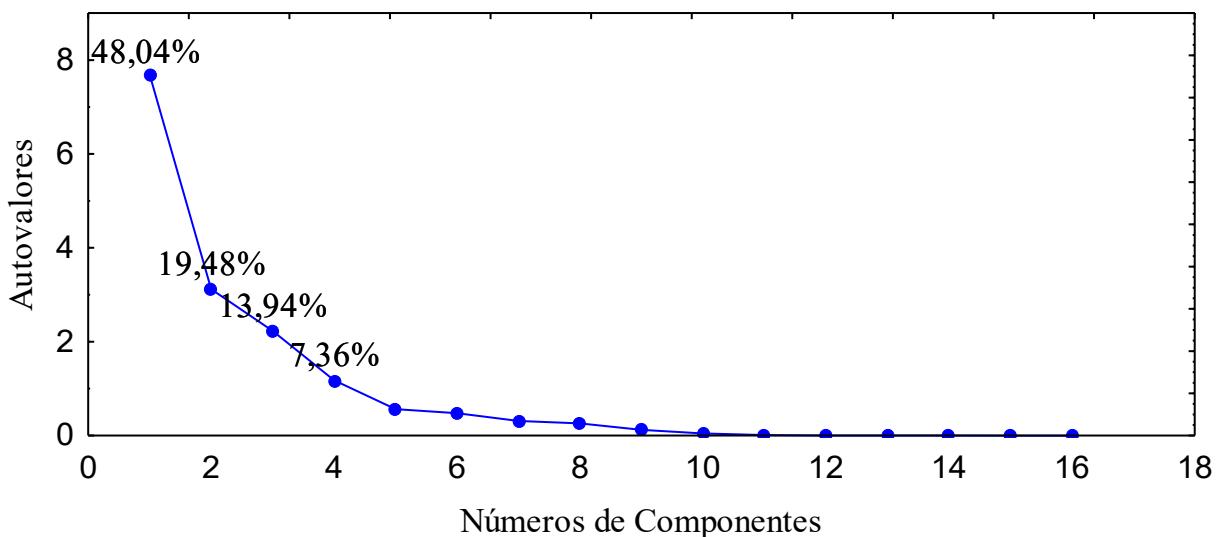


Figura 8: Os autovalores dos componentes principais da qualidade das águas na Bacia Escola Jacaré Curituba.

A classificação dos fatores segundo Liu *et al.*, (2003), em que as categorias como “fraco” (0,03-0,50), “moderado” (0,50-0,75) e “forte” (valores superiores a 0,75). As principais variáveis responsáveis pela separação das amostras nos primeiros componentes principais, apresentaram valores superiores a 0,7 considerado como significativo tem fortes cargas positivas sobre as

vaiáveis (STD, SAL, Alc, Cl, Na, DT, e CE), forte carga negativa no oxigênio dissolvido e moderada carga em (Cl-a e PT). O segundo componente principal carga negativa (COLI, DBO e NH3), Os dois primeiros componentes principais representam 67,6% (PC1-48,04% E PC2-19,48%) exemplificar a separação das amostras. A variabilidade da qualidade da água foi realizada considerando cargas fatoriais maiores que |0,5| sem haver muita perda de informações.

Tabela 4: Matriz das cargas de fatores comuns rotacionada pelo método Varimax

Variáveis	Componentes		
	1	2	3
SDT	0,93	0,28	0,11
SAL	0,93	-0,29	0,11
CL	0,94	0,27	0,03
ALC	0,93	0,31	0,00
Na	0,98	-0,07	0,12
CE	0,91	-0,32	0,11
DUR	0,81	0,37	-0,04
PT	0,66	0,29	-0,12
CL-a	0,54	0,61	0,23
OD	-0,73	0,55	0,12
DBO	-0,05	-0,77	0,33
NH3	0,22	-0,77	-0,34
NO2	0,25	0,12	0,85
NO3	0,26	0,27	-0,64
COR	0,11	0,15	0,91
COLI	-0,30	-0,72	-0,28
Autorvalor	8,14	3,3	2,48
% variância explicativa	48,04	19,48	13,94
% variância explicativa	48,04	67,52	81,46

O agrupamento hierárquico é demonstrado por um dendrograma resultante da aglomeração que proporciona uma visão geral, apresentando os grupos para as variáveis analisadas na área total do estudo pode ser visto na Figura 9. O que sugere que existem dois grupos principais (A e B) entre as variáveis estudadas. O Grupo A foi representado pelas variáveis que estavam em proximidade (Alc, Cl, Na, DT, TDS e CE), sendo que essas variáveis estão ligadas a sais dissolvidos e influenciados pela agricultura irrigada e apresenta as amostras de água coletadas no Ponto de Controle(P2).

O Grupo B foi separado por apresentar uma melhor qualidade de água indicando que essas amostras apresentam características de água doce. Vale ressaltar que essas amostras são utilizadas dentre outros fins, para o abastecimento humano e principalmente irrigação e P1-Barragem do Assentamento Jacaré Curituba, com maior influência das concentrações das

seguintes variáveis: pH, turbidez, oxigênio dissolvido, cor e os nutrientes (NH_3 , NO_2 , NO_3 e Pt), (Temperatura, SST e DBO). Esses resultados confirmam que a passagem da água por áreas agrícolas irrigadas compromete sua qualidade, especialmente em relação à questão da salinidade.

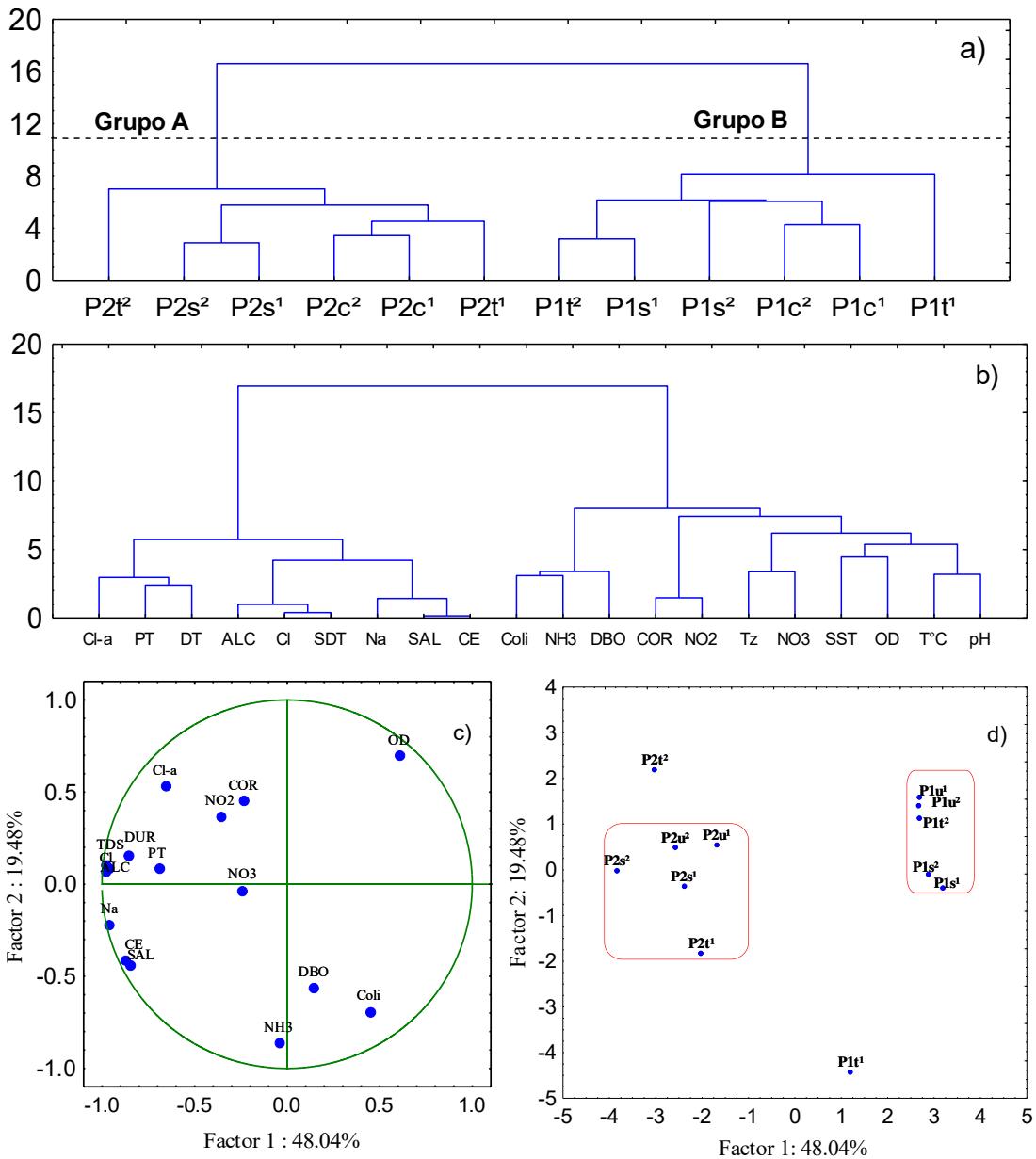


Figura 9: a) e b) Análise agrupamento Hierárquicos; c) e d) Análise Componentes Principais construídas com as variáveis estudadas para a avaliação da qualidade da água na Bacia Escola Jacaré Curituba.

Monteiro et al. (2019) utilizando a análise multivariada no mesmo Assentamento Rural e no rio São Francisco relatou que este tipo de processamento de dados foi eficiente a aplicação da análise de agrupamento principal e agrupamentos hierárquicos, demonstram deterioração das águas superficiais pelo aporte de resíduos agrícolas.

Segundo Barakat et al. (2016) A seleção dos quatro componentes principais, responsáveis por 63% da variância total, em que as amostras foram significativas. Corroborando com a utilizando de técnicas de análise multivariada em bacia hidrográfica com influência de cultivos agrícolas, foi registrada alteração na qualidade da água do rio Oum Er Rbia (Marrocos), contaminação difusa reflexo do escoamento agrícola, pois o rio atravessa áreas conhecidos pela agricultura intensiva e pecuária. Em um estudo no Platô de Loess na China, utilizando análise multivariada os autores encontraram em três componentes principais indicadores da qualidade das águas, explicando 57,8% da variância total, sendo essa técnica eficiente em análise de áreas agrícolas (XIAO *et al.*, 2019).

2.4. CONCLUSÕES

Os principais impactos na qualidade da água da bacia escola Jacaré Curituba foram observados no período seco, onde os parâmetros fósforo total e nitrato, foram maior no grupo I (Ponto de Controle).

Evidenciou-se também altos índices para os parâmetros salinidade, sódio, condutividade elétrica, cloretos, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, dureza, nutrientes e clorofila-a, possivelmente o escoamento de áreas agrícolas a montante são responsáveis por esse aumento, afetando a qualidade da água.

O grupo II constituído por amostras da Barragem que dentre outros fins, são usadas para o abastecimento humano, destacou que nestes pontos foram observados uma melhor qualidade de água no período chuvoso. Evidenciou-se durante o período sazonal diferentes níveis de qualidade da água, classificada como água imprópria para irrigação e consumo humano.

A aplicação da análise de componentes principais e análise agrupamento hierárquicos aos conjuntos de dados resultou na seleção de três fatores indicando a qualidade da água da Bacia Escola Jacaré Curituba, explicando 81,46% da variância total.

Na classificação das águas de irrigação houve variação entre as classes C₁S₁ na Barragem (P1) à C₄S₃ no Ponto de Controle (P2), que vai de baixo risco de salinidade e sodicidade a muito alto risco de salinidade e forte risco de sodicidade.

Deve-se enfatizar que as técnicas adotadas nessa pesquisa mostraram resultados promissores, revelando a forte influência da agricultura irrigada na qualidade da água, relação à sazonalidade climática e os impactos causados por fontes naturais e antrópicas na Bacia Escola Jacaré Curituba.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR NETTO, A. O.; SANTANA, L. L; ALMEIDA, C. A. P.; FACCIOLI, G. G.; SALES, J. M. J. Efeito da variabilidade de cenários de uso do solo sobre a dinâmica da vazão e de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jacaré-SE. In: FAPITEC. (Org.). **Pesquisa em políticas públicas no estado de Sergipe**. 1ed. São Cristóvão: EDUFS, 2016, v. 1, p. 267-280.
- APHA. American Public Health Association (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23^a. ed., Washington
- ALVES, J.P.H.; FONSECA, L.C.; CHIELLE, R.S.A.; MACEDO, L.C.B. Monitoring water quality of the Sergipe river basin: an evaluation using multivariate data analysis. **razilian Journal of Water Resources**, v. 23, n. 27), p. 1–12. 2018.
- ARAUJO, S.S.; NETTO, A.; OLIVEIRA, A. “(In) sostenibilidad en la ribera baja del río São Francisco en los Estados de Sergipe y Alagoas (Brasil)”. **Agua Y Territorio**, v.3, p. 83-95, 2018.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. 3rd. ed. Rome: FAO, 1994. 174p. FAO. **Irrigation and Drainage Paper**, 29.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.
- BORTOLINI, LUCIA & MAUCIERI, CARMELO & BORIN, MAURIZIO. A Tool for the Evaluation of Irrigation Water Quality in the Arid and Semi-Arid Regions. **Agronomy**. v8. p23, 2018.
- BERTOSSI, A. P. A.; MENEZES, J. P. C.; CECÍLIO, R. A.; GARCIA, G. O.; NEVES, M. A. Seleção e agrupamento de indicadores da qualidade de águas utilizando Estatística Multivariada. **Ciências Agrárias**, v.34, n.5, p.2025-2036, 2013.
- BOUAROUDJ, S., MENAD, A., BOUNAMOUS, A., ALI-KHODJA, H., GHERIB, A., WEIGEL, D.E., CHENCHOUNI, H. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**. v.219, p.76 - 88, 2019.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova **Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos e seus anexos I e II**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 10 jan. 2001, Seção 1, n. 7-E, p. 45.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005**. Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais. Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- BRITO, F.B.; AGUIAR NETTO, A.O.; VASCO, A.N.; SILVA, G.M. Aplicação do modelo SWAT para avaliar o potencial de contaminação por agrotóxicos num afluente do rio São Francisco, Brasil. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.
- BARAKAT, A., EL BAGHDADI, M., RAIS, J.; AGHEZZAF, B., & SLASSI, M. "Assessment of spatial and seasonal water quality variation of OumErRbia River

(Morocco) using multivariate statistical techniques". **International Soil and Water Conservation Research**, v.4 n.4, p.284–292. 2016

BRITTO, BRANDÃO, F.; NASCIMENTO, V.A.; AGUIAR NETTO, A.O.; GARCIA, C.A.B.; MORAES, OLIVEIRA, G.F.; SILVA, M.G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe". **Revista Brasileira De Recursos Hídricos** v. 23, p. 1-11, 2018.

CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; LOPES, F. B.; CARVALHO, C. M.; GOMES FILHO, R. R.; ARAÚJO FILHO, R. N. Influence of Prolonged Drought on Groundwater Quality: Irrigated Perimeter of Lower Acaraú – State of Ceará– Northeast of Brazil. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.18, n.3, p.1-14, 2017a.

CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; VALNIR JÚNIOR, M.; CARVALHO, C. M. Variabilidade espacial e temporal da qualidade da água de poços no perímetro irrigado do Baixo Acaraú - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.2, p.1348-1357, 2017b.

CETESB. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2008. Disponível em: www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em maio de 2016.

CRUZ, M.A.S.; GONÇALVES, A.A.; ARAGÃO, R.; AMORIM, J.R.A.; MOTA, P.V.M.; SRINIVASAN, V.S.; GARCIA, C.A.B.; FIGUEIREDO, E.E. "Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil". **Environmental Earth Sciences** v.78 n. 68, p. 1-11, 2019.

EWAID, S. H., ABED, S. A., AND KADHUM, S. A. Predicting the Tigris River Water Quality within Baghdad, Iraq by Using Water Quality Index and Regression Analysis. **Environmental Technology & Innovation**, v11, p. 390 –398. 2018

HU, QIULI & YANG, YONGHUI & HAN, SHUMIN & WANG, JIUSHENG. Degradation of agricultural drainage water quantity and quality due to farmland expansion and water-saving operations in arid basins. **Agricultural Water Management**. v.213. p.185-192, 2019.

HORTELLANI, M. A.; SARKIS, J. E. S.; ABESSA, D. M. S.; SOUSA, E. C. P. M. (2008). "Avaliação da contaminação por elementos metálicos dos sedimentos do estuário Santos". **Química Nova** v31, p. 10-19, 2008.

ILIĆ, MILICA & VRANEŠEVIĆ, MILICA & BEZDAN, ATILA & BLAGOJEVIĆ, BOŠKO. Classification of Water Quality of Banat Watercourses in Serbia for the Needs of Irrigation. **Journal of Environmental Geography**, v 12, p. 51-57, 2019.

KÖPPEN, N. W. **Climatología**: com um estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1918. 478 p

KOBIYAMA, M.; Chaffe, P.L.B.; Rocha, H.L.; Corseuil, C.W.; Malutta, S. **School catchments network in the Upper Negro River basin, southern Brazil: Scientific research and environmental education**. In: V Oficina Internacional sobre Enfoques Regionais para o Desenvolvimento e Gestão de Reservatórios na Bacia do Prata. (Foz do Iguaçu: 2008), UNESCO/ICHARM/UNEP, Foz do Iguaçu, Anais, 2008. 14p. CD-rom.

KUMAR, P.; THAKUR, P.; BANSOD, B.K.S.; DEBNATH, S. "Groundwater: a regional resource and a regional governance". **Environment Development and Sustainability**

v.20(3), p. 1133–1151, 2017.

LOMBA, A.; STROHBACH, M.; JERRENTRUP, S.; DAURBER, J.; KLIMEK, S.; McCracken, D. Making the best of both worlds: Can high-resolution agricultural administrative data support the assessment of High Nature Value farmlands across Europe? **Ecological Indicators** v.72, p.118-130, 2017.

LORDELO, LIDIANE MENDES KRUSCHEWSKY; PORSANI, JOSÉ MILTON; BORJA, Patrícia Campos. Qualidade físico-química da água para abastecimento humano em municípios do sertão da Bahia: um estudo considerando diversas fontes de suprimento. **Águas Subterrâneas**, v. 32, p. 97-105, 2018.

LUCAS, A. A. T.; FARIAS, D.B.S.; SANTOS S.J.S; SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Anny kelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará**. 1ed. Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.

LUCAS, A.A.T.; FOLEGATTI, M. V.; DUARTE, S.N.; LUCAS, S. C. O. WATER SALINITY USED FOR IRRIGATION IN THE MARINS STREAM WATERSHED, BRAZIL. **IRRIGA**, v. 21, p. 25, 2018.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARTTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006. 328 p.

MASSOUD, M. F. Assessment of water quality along are creational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.

MENEZES, J.P.C.; BITTENCOURT, R.P.; FARIAS, M.S.; BELLO, I.P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L.F.C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental** v.21 n.3, p.519-534, 2016.

MONTEIRO, A.S.C; NASCIMENTO R.S.; SALES, J. M. J SILVA, I. S.; AGUIAR NETTO, A. O. XXIII-Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu – PR. QUALIDADE DA ÁGUA DOS RIOS SÃO FRANCISCO E JACARÉ POR MEIO DE ANÁLISE MULTIVARIADA. **ABRH**. 2019. Tema: Qualidade da Água. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/5160>. Acesso em: 20 nov. 2019.

NNOROM, I.C.; EWUZIE, U; EZE, S. "Multivariate statistical approach and water quality assessment of natural springs and other drinking water sources in Southeastern Nigeria". **Heliyon**. v.5 n1, e01123. p.36 2019.

NOVOA J, CHOKMANI K AND LHISSOU R. A novel index for assessment of riparian strip efficiency in agricultural landscapes using high spatial resolution satellite imagery **Science of The Total Environment**, v644 p.1439–51, 2018.

RICHARDS, L. A. (ed) (1954) **Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils**. Washington D. C.: United States Salinity Laboratory Staff. 166 p., USDA. Agriculture Handbook nº 60, Issued February.

SALES, J.M.J; BARRETO, S.S; AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização da Bacia Escola Jacaré Curituba, em Poço Redondo-SE. In: PATRICIA ROSALBA SALVADOR MOURA COSTA; ANTENOR DE OLIVEIRA AGUIAR NETTO. (Org.). **Lugares**,

Potencialidades e Resistências: Terra e Povo no São Francisco. 1ed. Aracaju: Criação, 2018, v. 1, p. 111-132.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. **Ecología Aplicada**, v.11, n.1, p.23-31, 2012.

SANTOS, S. J. S.; LUCAS, A. A. T. Diagnóstico da salinização ocorrente no solo do perímetro irrigado Jacaré Curituba do território do alto sertão sergipano. In: AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R. F. **Contexto Socioambiental das Águas do Rio São Francisco**. São Cristóvão: EDUFS, 2015. p.253-274.

SASSOMA, I. T. L.; SOUSA, I. F.; AGUIAR NETTO, A. O.; CARVALHO, C. M. Avaliação temporal e espacial de características físico-químicas em águas superficiais do Rio Catumbela, Angola. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.3, p.113-126, 2015

SCHINDLER, D.W, R.E HECKY; G.K MCCULLOUGH. A rápida eutrofização do lago Winnipeg: ecologização sob mudanças globais. **J. Res. Dos Grandes Lagos**. v.6 p38, 2012.

SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; LUCAS, A. A. T.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Anny kelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará**. 1ed.Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.

SINGH, A.. Environmental problems of salinization and poor drainage in irrigated areas: management through the mathematical models. **Journal of Cleaner Production** v.206, p.572–579. 2019.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M.; TREVISAN, V. (2014). Study of the application of tannin in the treatment of drinking water from the Tubarão River at Tubarão, SC. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. v. 9, n. 4, p. 679-687, 2014.

VAN VLIET, M.T.H., FLÖRKE, M., WADA, Y. Quality matters for water scarcity. **Nature Geoscience**. v10, p.800–802, 2017.

VASCONCELOS, R. S.; LEITE, K. N.; CARVALHO, C. M.; ELOI, W. M.; SILVA, L. M. F.; FEITOSA, H. O. Qualidade da água utilizada para irrigação na extensão da microbacia do baixo Acaraú. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.1, p.30–38, 2009.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.

XAVIER, A. C.; KING, CAREY W. S.; BRIDGET R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, v. 36, n.6, p.2644-2659, 2015.

XIE, Y.L., XIA, D.H., JI, L., HUANG, G.H., An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. **Ecological Indicators** v.92 p301-311, 2018.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: **Nature-based Solutions**. Paris, UNESCO. 2018. 154p.

3. MODELAGEM HIDROLÓGICA DE BACIA HIDROGRÁFICA NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

RESUMO

A utilização de modelos hidrológicos permite entender, avaliar e antecipar eventos de origem natural ou antrópicas de modo mais simples e econômico para a quantidade e qualidade dos recursos em uma bacia hidrográfica. O presente trabalho tem por objetivo realizar a modelagem hidrológica em bacia hidrográfica no semiárido, por meio da modelo SWAT, para verificar a influência do uso e ocupação da terra na produção de água. Para tal, foi utilizado o modelo hidrológico SWAT (*Soil land Water Assessment Tool*). A área de estudo está localizada na Bacia Escola Jacaré Curitiba, em Poço Redondo-SE, região semiárida do estado, inserida no bioma Caatinga e no baixo São Francisco. A metodologia adotada foi constituída de levantamento bibliográfico, trabalhos de campo, monitoramento hidrológico, análises fisico-química da água e do solo, levantamento do uso e ocupação da terra, calibração e validação do modelo hidrológico. O modelo SWAT simulou com sucesso o hidrograma de fluxo para o período de nov/2015 a jul/2018, devidamente calibrado e validado. As simulações de diferentes cenários de uso da terra destacam a maior produção de água em áreas agrícolas, o que pode ocasionar maior geração de sedimentos. O modelo SWAT calibrado e validado significa uma possibilidade para estudos futuros em bacias hidrográficas no semiárido e, então, contribuir para estudos sobre manejo de água e solo.

Palavras-chave: Recursos hídricos, qualidade da água, monitoramento ambiental, atividades antrópicas, agricultura irrigada.

ABSTRACT

The use of hydrological models allows to understand, evaluate and anticipate events of natural or man-made origin in a simpler and more economical way for the quantity and quality of resources in a hydrographic basin. The present work aims to perform a hydrological modeling in the hydrographic basin in the semiarid, using the SWAT model, to verify the influence of the use and exploitation of water production on the land. For this, the SWAT hydrological model (Soil Water Assessment Tool) was used. A study area located in the Jacaré Curitiba Basin, in Poço Redondo-SE, a semi-arid region of the state, inserted in the Caatinga biome and in the lower São Francisco. The adopted methodology was used for bibliographic survey, field work, hydrological monitoring, chemical and physical medicine of soil and soil, survey of land use and exploration, calibration and validation of hydrological model. The SWAT model successfully simulated or hydrographed the flow for the period from Nov / 2015 to Jul / 2018, duly calibrated and validated. As simulations of different land use scenarios, the greatest production of water in agricultural areas stands out, which can cause greater generation of sediments. The calibrated and validated SWAT model means a possibility for future studies in non-semiarid watersheds and then contributes to studies on water and soil management.

Keywords: Water resources, water quality, environmental monitoring, anthropic activities, irrigated agriculture.

3.1 INTRODUÇÃO

O manejo inadequado da água em qualidade e quantidade na irrigação desenvolvida em regiões áridas e semiáridas pode estar associada a situações impactantes, como à salinidade do solo, erosão do solo e à poluição ambiental. Dessa forma, faz-se necessário o estudo da influência da agricultura irrigada, e seus efeitos relacionados aos diferentes uso e ocupação e o que pode trazer risco a sustentabilidade hídrica.

Dentre as principais atividades consumidoras de água a agricultura é responsável por cerca de 70%, vale ressaltar que a agricultura irrigada corresponde a menos de 20% da área total cultivada do planeta, mas produzem mais de 40% dos alimentos, devido ao crescimento da população mundial e a necessidade da demanda na produção de água e alimentos em nível mundial para atender a cerca de 9,8 bilhões de habitantes, estimativa populacional para o ano de 2050, atualmente a população mundial é estimada em 7,74 bilhões de habitantes e que consome acima de 4,5 bilhões de litros de água por ano (WWAP, 2017; WWAP, 2018; WORLDOMETERS, 2019).

A base da produção de alimentos no Brasil são os pequenos produtores familiares, com a implantação dos perímetros irrigados em diversos locais do Brasil e principalmente em áreas de sequeiros que permite assegurar a produção de alimentos em diferentes épocas do ano. Porém, índices de degradação foram verificados em níveis globais, relacionados aos fatores naturais ou antrópicos, em bacias agrícolas correlacionados ainda a alterações na cobertura da terra, desmatamento, escoamento superficial e nível de nutrientes (KRISTENSEN, 2012; TSAKIRIS, 2015, AYALA *et al.*, 2016; ORDWAY; ASNER; LAMBIN, 2017). Estudos anteriores realizados na região do perímetro irrigado comprovam as elevadas concentrações de salinidade e sódicodez dos solos no assentamento rural irrigado Jacaré Curituba (SANTOS; LUCAS, 2015, SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018; SILVA *et al.*, 2019; LUCAS *et al.*, 2019).

Neste contexto a modelagem hidrológica em uma bacia hidrográfica no Semiárido do Nordeste do Brasil entre os municípios de Canindé do São Francisco e de Poço Redondo no Estado de Sergipe, mais precisamente em uma bacia escola permitiu a adoção de técnicas e acompanhamento das variáveis do ciclo hidrológicos. A base da estrutura proposta por Kobiyama *et al.*(2008), é da bacia escola exercer e proporcionar a possibilidade de pesquisa científicas, atividade de extensão, trabalhos de campo e educação ambiental. Este estudo é de crucial importância, além do monitoramento e modelagem de bacias hidrográficas fundamentais para acompanhar e avaliar o comportamento dos recursos hídricos.

Recorre-se aos usos de modelos hidrológicos para buscar representar a complexidade dos sistemas ambientais de forma simples, permitindo avaliar o estado atual e simular cenários, essas informações geradas facilitarão a compreensão e tomada de decisão. Os modelos são ferramentas em ascensão mundial com finalidades diversas. Entre inúmeros modelos hidrológicos a exemplo do SWAT, Tank-Model, Top-Model, Mike She, EPIC, AGPNS, têm sido aplicados para prever o impacto das práticas de manejo do solo sobre a qualidade e quantidade de água em bacia hidrográfica (OEURNNG, SAUVAGE; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2011; THOMPSON 2012; CELESTE; MENEZES; FONTES, 2014; AWAN; ISMAEEL 2014, UNIYAL *et al.*, 2017, SIVHARE; DIKSHIT; DWIVEDI 2018).

O modelo SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), foi desenvolvido para compreender os processos do ciclo hidrológicos, prever os impactos e avaliar as práticas de manejo sobre os recursos hídricos, produção de sedimentos e agroquímicos em bacias hidrográficas, interpretação da variação do uso e ocupação do solo e práticas de manejo em um longo período de tempo (NEITSCH *et al.*, 2005).

A utilização de modelo hidrológico SWAT na escala nacional foram realizados com diferentes finalidades para gestão de recursos hídricos, riscos de inundações, determinação da alteração do uso e ocupação do solo, estimativa da disponibilidade hídrica, rendimento agrícola, dinâmica de agrotóxico, mudanças climáticas, análise de qualidade da água, produção de água, concessão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, dinâmica hidrossedimentológica (SOUZA; SANTOS; KOBIYAMA, 2009, DURÃES MELLO; NAGHETTINI, 2011; SILVA *et al.*, 2013, FUKUNGANA *et al.*, 2015; PEREIRA *et al.*, 2016, SILVA; SILVA; SOUZA, 2016; BRITO *et al.*, 2017; SILVA(a) *et al.*, 2018; SILVA(b) *et al.*, 2018, FONTES JUNIOR; MONTENEGRO, 2019).

A escolha do modelo SWAT implementado nesta pesquisa através da ferramenta de sistema de informações geográficas com o software QuantumGis 2.6.1 Brighton e a interface QSWAT utilizado neste trabalho, por ser o SIG aberto, e à sua disponibilidade e facilidade de uso no tratamento dos dados de entrada, como também a possibilidade de reduzir a bacia hidrográfica em unidades menores, ou seja, a discretização de uma área, onde cada uma destas, por sua vez, agrupadas com características uniformes de solo, declividade e de uso/ocupação das terras, são denominadas de Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs) (NEITSCH *et al.*, 2005; CREECH *et al.*, 2015; ALMEIDA, 2018).

Assim, o presente trabalho tem por objetivo realizar a modelagem hidrológica em bacia hidrográfica no semiárido, por meio do modelo SWAT, para verificar a influência do uso e ocupação da terra na produção de água.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da área de estudo

A área do presente trabalho está localizada no semiárido do Nordeste do Brasil, apresentando uma área de 327ha entre os municípios de Canindé do São Francisco e de Poço Redondo. Encontra-se na porção noroeste Estado de Sergipe, uma distância para a capital Aracaju de igual a 190km (SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018). A Figura 1 apresenta a localização da Bacia Escola Jacaré Curituba e sua projeção geográfica no Estado de Sergipe e Brasil.

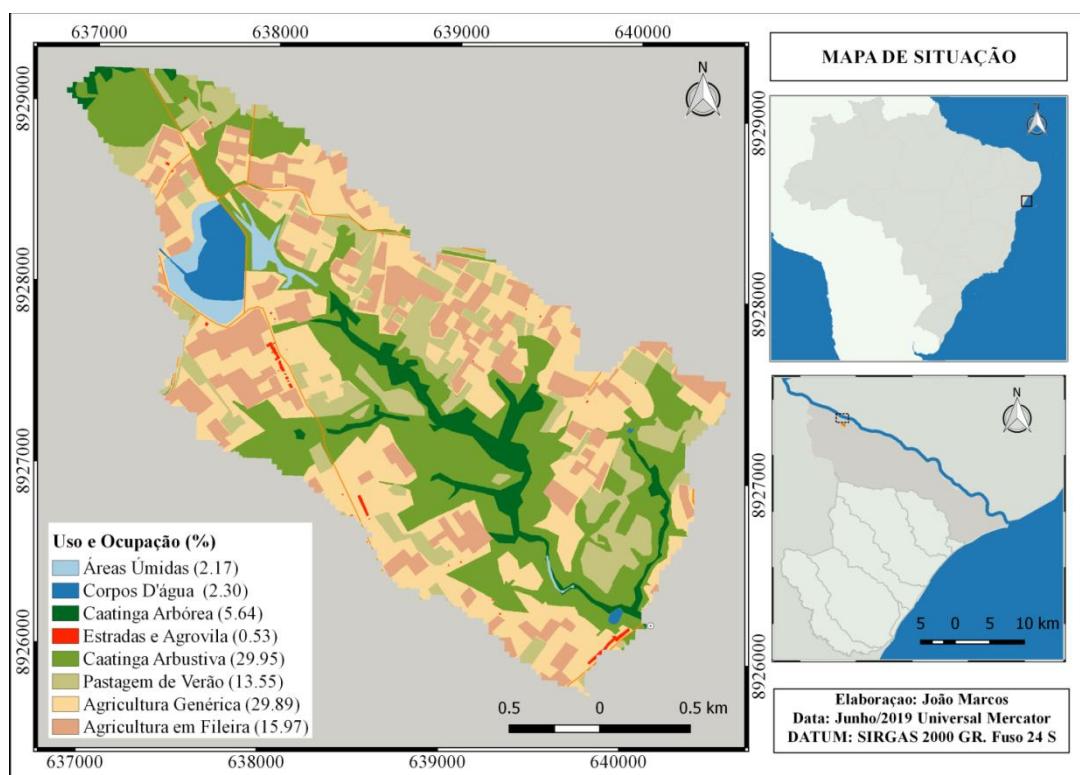


Figura 1 – Mapa de uso e ocupação da terra e a localização da área de estudo no Estado de Sergipe e Brasil.

A Bacia Escola foi implantada no ano de 2015, para exercer e proporcionar aos diversos públicos a possibilidade de pesquisa científicas, trabalhos de campo, atividade de extensão e educação ambiental (ver Anexos de A e D), situada em um riacho afluente do rio Jacaré, importante afluente da margem direita do rio São Francisco, esta Bacia Escola situa-se no Assentamento de reforma agrária Jacaré Curituba local que desde 2010 sofreu mudanças com a instalação do perímetro irrigado de mesmo nome, o que trouxe mudanças na região de clima semiárido, atendendo a aproximadamente 700 famílias de agricultores familiares, os quais

passaram a produzir diversas culturas com destaque quiabo, mandioca, milho e citros através da irrigação localizada (AGUIAR NETTO *et al.*, 2016).

A vegetação nativa dominante na área da bacia é a caatinga hiperxerófita. Verifica-se nesta formação vegetal a presença de indivíduos de porte arbóreo, isoladamente ou em pequenos grupos, com predominância de arbustos e árvores baixas e um grande número de cactáceas e bromeliáceas (SANTOS 2001).

Os solos na Bacia Escola Jacaré Curituba, de acordo com as fontes de dados disponíveis e pesquisas de campo, são classificados como Luvisolos. Ocorre predominância de Luvisolo Crômico que é um solo raso, com textura composta de argila de alta atividade, fertilidade elevada e coloração crômica. Observa-se, ainda, a presença de afloramentos rochosos na superfície e no perfil, velocidade de infiltração baixa, o que contribui para restrições do seu uso e propensão à erosão e salinização, essa classe é representante da totalidade da área ocupada pela bacia hidrográfica (SANTOS *et al.*, 2006; SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

O município de Poço Redondo onde a Bacia Escola está inserida apresenta a predominância de clima quente e seco, de acordo com a classificação climática de KOPPEN, é do tipo Bssh' – clima muito quente, semiárido, tipo estepe, com estação chuvosa no inverno, com 7 a 8 meses secos, onde a pluviosidade média situa-se abaixo de 700 mm/ano baixas e irregulares, a evapotranspiração potencial é superior a 1000mm anuais, com temperaturas superiores a 23 e 27 °C de acordo o escritório local da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe - EMDAGRO (SALES; BARRETO; AGUIAR NETTO, 2018).

3.2.2. Monitoramento Quantidade Da Água

As medições de vazão foram realizadas por meio de um ponto de controle, ou o exutório onde se dá todo o escoamento superficial gerado no interior da Bacia Escola Jacaré Curituba. Uma calha Parshall foi instalada durante o ano de 2015, com o monitoramento diário tendo início em outubro do mesmo ano. As medições diárias para obtenção das vazões possibilitaram a criação de um banco de dados com informações sobre a sazonalidade hídrica nesta bacia hidrográfica. A calha Parshall é um medidor de regime crítico que combina uma seção de estrangulamento logo após a entrada e no rebaixo e elevação do fundo do medidor, obtendo-se um regime de escoamento livre. Desta maneira, com a medição do nível da superfície do líquido num único ponto é suficiente para determinar a vazão.

Registra-se, que para esta calha com largura da garganta equivalente à 0,152m, utilizou-se a equação:

$$Q=0,381xH^{1,580}$$

em que :

$$Q = \text{Vazão (m}^3.\text{h}^{-1}\text{)}$$

H = Altura da lâmina de água (m)

3.2.3. Dados de estrada do modelo hidrológico

O modelo SWAT exige que o usuário forneça uma série de informações sobre a área de estudo onde as principais etapas e fonte de dados estão detalhados Tabela 1 (ver Apêndice A). Os procedimentos foram implementados com a ferramenta de sistema de informações geográficas (SIG) através do software QuantumGis 2.6.1 Brighton e a interface QSWAT.

Tabela 1 – Fonte dos dados de entrada para modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.

DESCRIÇÃO	TIPO	DESCRIÇÃO	FONTE
Precipitação Diária	Tabular	Dados diários de precipitação (mm).	Xavier, (2018) Canindé São Francisco-SE Poço Redondo-SE (EMDAGRO e COHIDRO)
Dados climatológicos “weather generator”SWAT	Tabular	Dados mensais de precipitação, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar.	Estação climatológica de Pão de Açucar e Xavier, (2018) (gridded).
Modelo Digital de Elevação	Mapa	O mapa utilizado tem escala 1:10.000	SRTM TOPODATA30m
Mapa pedológico	Mapa	O mapa utilizado tem escala 1:50.000	EMBRAPA 1:250.000
Mapa de uso e Ocupação	Mapa	O mapa utilizado tem escala 1:50.000	MapBioma (30m) Gaofen-2.(0.8m).
Dados dos perfis de solo	Tabular	Características físicas e químicas do solo para todos os perfis.	SALES <i>et al.</i> , (2018)

As etapas necessárias para subdividir a bacia hidrográfica em várias bacias menores e cada uma destas, por sua vez, agrupadas com características uniformes de solo, declividade e de uso/ocupação das terras, são denominadas de Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs). O número de sub-bacias geradas parte dos objetivos e resultados a serem obtidos no procedimento de discretização da bacia (CREECH *et al.*, 2015; ALMEIDA, 2018).

O Modelo SWAT requer um modelo digital de elevação (MDE) ou também denominado modelo digital do terreno (MDT), um caso específico de modelo numérico do

terreno (MNT). O MDT utilizado apresenta resolução de 30m, esses dados da Missão Topográfica Radar Shuttle (Shuttle Radar Topography Mission–SRTM) que foi uma missão espacial feita a bordo da espaçonave Endeavour entre 11 e 22 de fevereiro do ano 2000, percorrendo 176 órbitas a 233 km de altitude, com inclinação de 57°, obtendo dados topográficos de aproximadamente 80% do globo terrestre entre as latitudes 60°N e 56°S, com banda C, obtido a partir do repositório *Earthexplorer* do Departamento de Geologia do Estados Unidos (USGS, 2018). Disponível a partir de 2015 com resolução de 30m, essas imagens são necessárias para os procedimentos de correção de falhas (vazios ou *NoData*) e *outliers* (valores extremos, muito altas ou muito baixas) dos arquivos originais raster (arquivos digitais de imagens formados por uma série de pontos "pixels" organizados em linhas e colunas) (NASA, 2018; ALMEIDA, 2018).

Segundo Almeida (2018), algumas etapas devem ser aplicadas nas maioria dos Sistema de Informações Geográficas (SIG) disponíveis, onde a primeira etapa é a remoção dos valores negativos através do uso de uma função presente no programa onde é criado um novo raster, esse novo arquivo possui somente os valores de cota iguais ou superiores a zero, os valores inferiores são deixados vazios; Na segunda etapa é adotada um procedimento para preenchimento dos vazios onde os vazios foram substituídos pelo valor zero, através de um procedimento de reclassificação do raster; Na terceira e última etapa, novos valores são gerados com base na informação dos vizinhos mais próximos através de um procedimento de interpolação, consistindo na substituição dos zeros e dos eventuais *outliers* (ALMEIDA, 2018).

Os arquivos raster com os MDTs gerados são agrupados em uma cena única (Procedimento de Mosaico) e reprojetados para um sistema de coordenadas métricas planas. No presente estudo foi adotado o SIRGAS 2000 Mercator, que é o sistema de referência geodésico adotado na América. Buscando uma redução do tamanho final dos MDTs, procedeu também o recorte dos mesmos através do uso de uma camada vetorial abrangendo a área objeto da pesquisa, a bacia hidrográfica do rio Jacaré, acrescida de *buffer* de 5km a fim de contornar possíveis efeitos de borda. Finalmente, de posse dos MDTs, pôde-se concluir o delineamento da Bacia Escola Jacaré Curituba após a definição do ponto de controle de interesse (*inlets*) exutório (Calha Parshall).

A distribuição altimétrica presente na bacia e tipologias do relevo, é uma informação essencial para aplicação do modelo, as classes de declividade a serem tratadas, que na presente pesquisa estabeleceu-se as definidas pela EMBRAPA, ou seja, de 0° a 3° (terrenos planos), de 3° a 8° (suave ondulado), de 8° a 20° (ondulado), de 20° a 45° (forte-ondulado) e acima de 45° (montanhoso e forte montanhoso) (EMBRAPA, 2006).

Em relação à carta de uso/ocupação das terras, considerando-se que no primeiro momento, obtidas a partir do MapBiomas, georreferenciadas, recortada a partir da máscara do município Poço Redondo-SE e posteriormente foi gerado o uso e ocupação do solo através deortofotos digitais, as cenas para compor o mosaico a ser criado para a área de estudo obtidas a partir do Sentinel-1A e Sentinel-1B com resolução de pixel de 10mx10m, obtido a partir do repositório *Earthexplorer* do Departamento de Geologia do Estados Unidos (USGS, 2018). Essas ortofotos, georreferenciadas, com coordenadas na projeção UTM, fuso 24S e horizontal SIRGAS 2000, posteriormente foram tratadas e criada os usos e ocupação atual presente na área de estudo. Como ilustrados anteriormente na Figura 1(desse capítulo). Em relação às coberturas identificadas, procurou-se uma correlação de cobertura na base de dados preexistente disponibilizada pelo SWAT.

Os parâmetros de solos foram informados no modelo SWAT para cada uma das camadas (horizontes) de cada classe de solo presente na área de estudo. A Tabela 2 elenca e detalha cada classe de solo contida no mapa pedológico fornecida ao modelo.

Utilizou-se a macro SWAT_usersoil_PedoTransfer_template disponível no site do (swat.tamu.edu) para simular dados de solo, onde essa macro foi alimentada com dados reais. Desde 2013 foram coletados e analisados os solos da Bacia Escola Jacaré Curituba de 10 locais de amostragem, 7 desses pontos disponibilizados por Sales; Barreto e Aguiar Netto (2018); e 3 desses pontos de amostragem coletados durante essa pesquisa, analisados de acordo com as características físicas e químicas dos solos, Na Tabela 2 a média dos principais parâmetros requeridos no SWAT.

Tabela 2 – Parâmetros do solo necessários para modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.

NOME	DESCRIÇÃO	VALOR		
SNAM	Nome do Solo	Luvissolo Crômico		
HYDGRP	Grupo Hidrológico do Solo(A,B,C ou D)	D		
NLAYERS	Número de camadas	3		
SOL_ZMX	Profundidade máxima de enraizamento (mm)	600		
ANION_EXCL	Fração de porosidade.	0,52		
SOL_CRK	Volume de rachadura.	*0,5		
TEXTURE	Textura do solo	FRANCO ARGILOSO – CL		
Camadas(layer)	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos	A	Bt	C
SOL_Z	Profundidade da superfície do solo da camada (mm)	200	200	600*
SOL_DB	Densidade aparente (úmida) (g cm ⁻³).	1,23	1,25	1,48*
SOL_AWC	Capacidade de água disponível (mmH ₂ O mm ⁻¹ solo).	0,1099	0,1064	0,13*
SOL_K	Condutividade hidráulica saturada (mm h ⁻¹).	8,0	4,19	4,6
SOL_CBN	Carbono Orgânico (%)	1,91	1,51	1,1*
SOL_CLAY	Argila (%)	32,23	35,863	31,93*
SOL_SILT	Silte(%)	31,6	32,223	32,28*
SOL_SAND	Areia (%)	36,172	31,914	36,92*
SOL_ROCK	Fragmentos de Rocha (%)	0	0	0*
SOL_ALB	Albedo	0,16	0,212	0,281*
USLE K	Fator de Erodibilidade de Solo USLE	0,124*	0,130*	*0,146*
SOL_EC	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹).	4,70	3,2093	0*

*- Dados estimado por o banco de dados do SWAT-usersoil-PedoTransfer

Fonte: SALES, BARRETO AGUIAR NETTO, 2018

O modelo SWAT foi devidamente alimentado com todos os dados necessários e foram processadas todas as etapas da análise de HRUs, já na etapa de definição das HRU's, procedeu-se a determinação das faixas de cortes entre tipos de solo pelo uso/ocupação pela declividade do seguinte modo: considerar áreas onde o uso/ocupação participem em no mínimo 5% da área total da sub-bacia, considerar os tipos de solos que ocupem no mínimo 15% em relação a área total do uso/ocupação das terras e considerar as declividade que incidam sobre no mínimo 10% dos tipos de solos(ALMEIDA, 2018).

O modelo SWAT necessita de dados climáticos (ver Apêndice B) para a execução, porém na área de estudo não existe estação meteorológica, sendo que as mais próximas estão situadas, em Poço Redondo e Canindé do São Francisco, operacionalizada pela empresa de desenvolvimento agropecuário de Sergipe EMDAGRO e Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO) respectivamente. Contudo, essas estações foi alvo de análise nesse estudo apenas para a variável precipitação com o período correspondente de 2010 a 2018. Assim, foram utilizados os dados diários das cinco variáveis

climáticas requeridas pelo SWAT, disponibilizados a partir da pesquisa de Xavier (2015) para todo o Brasil com o período correspondente de 1980 a 2016.

Os parâmetros meteorológicos necessários para o gerador climático do SWAT são: TMPMN – Temperatura mínima e TMPMX – Temperatura máxima nos diferentes meses do ano (°C) TMPSTDMN – Desvio padrão da mínima e TMPSTDMX – Desvio padrão da máxima temperatura no mês; PCPD – Número médio de dias chuvosos no mês, PCPMM –Média da precipitação no mês, PCPSKW – Coeficiente Skew para a precipitação diária no mês, PCPSTD – Desvio padrão da precipitação no mês RAINHHMX(precipitação máxima de 0,5 h) período inteiro de registro para o mês; PR_W1 – Probabilidade de dia úmido (com chuva) seguido de um dia seco no mês; PR_W2 – Probabilidade de dia úmido seguido de outro dia úmido no mês; SOLARAV – Radiação solar média diária no mês (MJ.m⁻².dia⁻¹); WNDAV – Velocidade do vento médio diário no mês (m.s⁻¹) (ARNOLD *et al.*, 2012), estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 - Elementos Climáticos obtidos de Xavier para Bacia Escola Jacaré Curituba.

WLATITUDE	-9,6999												WLONGITUDE	-37,7365												WELEV	192	RAIN_YRS	37
Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez					
TMPMAX	34,15	34,02	33,88	32,52	30,48	28,65	27,91	28,86	31,06	33,09	34,20	34,51																	
TMPMN	22,69	22,86	23,02	22,63	21,73	20,64	19,82	19,55	20,25	21,27	22,17	22,64																	
TMPSTDMX	1,96	2,00	2,03	2,15	2,07	1,65	1,56	1,75	2,03	1,98	2,02	2,02																	
TMPSTDMN	0,92	0,84	0,86	0,83	0,90	0,91	1,02	1,04	1,04	0,93	0,93	0,85																	
PCPMM	42,94	40,01	59,72	52,65	70,22	77,68	79,58	45,22	23,95	16,84	15,58	25,79																	
PCPSTD	5,07	4,00	5,08	3,75	3,90	3,98	3,58	2,55	2,11	2,72	2,15	3,18																	
PCPSKW	7,23	5,38	4,93	4,34	3,05	3,14	3,01	4,78	6,17	11,77	6,76	7,30																	
PR_W1	0,22	0,21	0,25	0,30	0,35	0,57	0,46	0,41	0,21	0,11	0,12	0,13																	
PR_W2	0,57	0,63	0,70	0,76	0,80	0,85	0,87	0,81	0,71	0,56	0,53	0,61																	
PCPD	10,73	10,89	14,81	17,32	20,84	24,92	25,38	22,46	13,57	6,81	6,62	8,46																	
RAINHHMX	21,71	17,54	18,22	13,95	10,14	10,94	13,16	10,46	11,21	19,47	8,20	14,53																	
SOLARAV	22,25	22,13	21,34	19,29	16,40	14,69	15,13	17,64	20,80	23,11	23,65	22,95																	
DEWPT	22,07	22,34	22,97	23,07	22,51	21,72	20,91	20,67	20,86	21,27	21,48	21,81																	
WNDAV	2,71	2,52	2,38	2,27	2,09	2,13	2,24	2,45	2,75	2,90	2,87	2,77																	

No presente estudo foram utilizados softwares livres a exemplo do Qgis e a linguagem R, no ambiente RSTUDIO e RCOMMANDER (ALLAIRE, 2018) para formatação dos dados no padrão do SWAT.

3.2.4 Calibração / Validação e Estatísticas Utilizadas

A calibração e validação dos dados é essencial na utilização de modelos hidrológicos, a calibração é necessária para tornar o modelo o mais consistente possível e reduzir as

incertezas dos resultados, nessa etapa de minimizar os desvios entre as variáveis simuladas e medidas, enquanto que a validação é a verificação de um modelo através da comparação entre os dados modelizados com aqueles obtidos pela observação ou medidos no sistema real para um período de dados diferente ao utilizado na calibração (ARNOLD *et al.*, 2012; SILVA 2013; SALAZAR, 2016; BRITO, 2017; ALMEIDA, 2018).

No processo de calibração do modelo SWAT, os resultados simulados foram comparados em relação às vazões históricas registradas pela Calha Parshall. O modelo SWAT foi calibrado com o auxílio do Software SWAT-CUP (TAMU, 2018), usado também para a análise de sensibilidade por Silva (2013), Salazar (2016), Brito (2017) e Almeida (2018). A aplicação do SWAT-CUP, seguiu a metodologia descrita por Abbaspour (2012).

As séries de dados de vazão disponíveis foram divididas em dois períodos, um para a calibração e outro para validação. As ferramentas para a comparação gráfica e os critérios estatísticos utilizados para avaliação da calibração do modelo SWAT, são definidas pelas seguintes expressões matemáticas:

1) NSE-Eficiência de Nash-Sutcliffe:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \text{Equação (1)}$$

Em que:

O_i = evento observado;

S_i = evento simulado;

\bar{O} = média dos eventos observados no período de simulação

Os valores de NSE variam entre $-\infty$ e 1, sendo a unidade o valor para o qual os dados simulados se adequam perfeitamente às observações. Valores entre 0 e 1 são geralmente tidos como aceitáveis (MORIASI *et al.*, 2007; SILVA, 2013; ALMEIDA, 2018).

2) PBIAS-Tendência Percentual:

$$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^N O_i} \text{Equação (2)}$$

Para uma relação ótima tem-se PBIAS igual a zero sendo que valores de pequena magnitude indicam bons ajustes. Valores positivos indicam uma superestimação dos valores simulados enquanto valores negativos indicam uma subestimação dos valores simulados (MORIASI *et al.*, 2007; SILVA, 2013; ALMEIDA, 2018).

- 3) RSR-Normalização da raiz do erro médio quadrático pelo desvio padrão da série observada:

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Si - Oi)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Oi - \bar{O})^2}} \text{Equação (3)}$$

O coeficiente RSR incorpora os benefícios estatísticos dos índices de erro e inclui um fator de escala/normalização, de modo que os valores estatísticos resultantes são relatados e aplicados na avaliação de consistência. RSR varia entre o valor ideal 0 (zero) e valores superior a 0,7 insatisfatório (MORIASI *et al.*, 2007; SILVA, 2013; ALMEIDA, 2018).

Os intervalos foram comparados em consideração aos intervalos máximos e mínimos para manter os valores de saída razoáveis propostos por Moriasi et al. (2007) e Silva (2013) de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Critérios de avaliação de desempenho de modelos hidrológicos e suas respectivas classificações.

CLASSIFICAÇÃO	NS	PBIAS	RSR
Insatisfatório	$NS \leq 0,50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$RSR > 0,70$
Satisfatório	$0,50 < NS \leq 0,65$	$\pm 15 \leq PBIAS < 25 \pm$	$0,60 \leq RSR \leq 0,70$
Bom	$0,65 < NS \leq 0,75$	$\pm 10 \leq PBIAS < 15 \pm$	$0,50 \leq RSR \leq 0,60$
Muito bom	$0,75 < NS \leq 1,00$	$PBIAS < \pm 10$	$0,00 \leq RSR \leq 0,50$

Fonte: Adaptado de Moriasi et al. (2007) e Silva (2013).

Para a avaliação e simulação de cenários de cobertura do solo foram quatros cenários utilizados para avaliar o efeito da alteração na cobertura da terra no escoamento superficial. A cobertura do solo e os cenários foram: (A) cenário I (uso atual), essa área corresponde ao uso da terra atual, (B) cenário II (Caatinga), o uso atual foi substituído por vegetação - Caatinga (área de mata nativa ou de recuperação de vegetação); (C) cenário III, (Pastagens) o uso atual foi alterada para pastagens, (D) o cenário IV (Agricultura) o uso atual foi substituído pela agricultura. A escolha desses cenários diferentes para comparação com os usos atuais, pode ser útil na tomada de decisão dos diferentes atores presente na bacia, para conservação de recursos naturais e recuperar áreas degradadas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de sensibilidade foi realizada a partir de revisão bibliográfica e a documentação do modelo hidrológico SWAT (ABBASPOUR, 2012), sendo então selecionados doze

parâmetros que foram utilizados para fins de calibração, conforme pode ser visualizado na (SILVIA, 2011; MALUTTA, 2012; ARNOLD *et al.*, 2012; BRITO *et al.*, 2017; ALMEIDA, 2018). Por fim, o procedimento da análise de sensibilidade desenvolvido por meio de simulação inicial, utilizando dados observados e simulados de acordo com as características de cada parâmetro, os valores no processo de calibração e análise de sensibilidade, sofrem alteração dentro dos limites inferiores e superiores estabelecidos, sendo essa análise possível através da modificação por multiplicação ou por substituição, em relação ao valor inicial (Van GRIENSVEN *et al.*, 2006).

A calibração manual dos parâmetros que influenciam o fluxo subterrâneo e o escoamento superficial foram otimizados. Alguns desses são difíceis de medir, os parâmetros para medir o período de tempo que a água se move da camada de solo mais profunda até o aquífero superficial(GW_DELAY), coeficiente de escoamento "movimento" de água do aquífero superficial para zona insaturada(GW_REVAP),fator de escoamento de base, taxa na qual a água subterrânea retorna ao rio(ALPHA_BF), valor da curva número para a condição de umidade II(CN), capacidade de água disponível no solo(SOL_AWC),e coeficiente de compensação de evaporação de água do solo(ESCO), conduzem a resposta do escoamento superficial para a variável vazão foram mais sensíveis por apresentarem efeito sobre a simulação dos dados diários de vazão observados e simulados.

Para a Bacia hidrográfica Jacaré Curituba o fator de escoamento de base, taxa na qual a água subterrânea retorna ao rio ALPHA_BF foi (0,95 dia), situação semelhante na etapa de calibração foi destacado por Blainski *et al.* (2017), o parâmetro ALPHA_BF em que o valor foi (0,6). Já Fontes Junior e Montenegro (2019) analisaram a modelagem em uma bacia hidrográfica em região semiárida do Nordeste do Brasil e o valor encontrado na calibração diária manual ALPHA_BF (0,85).

No presente estudo, o valor calibrado da curva número (CN) médio para a bacia escola Jacaré Curituba foi 83,75%, esse parâmetro pode ser ajustado para os diferentes usos da terra que incluem pastagem de verão (SPAS), Caatinga Arbórea (SWRN), Caatinga Arbustiva (RNGB), Agrovilas (URLD), Cultivos em fileiras(AGRR) e Cultivos Genéricos (AGRL), destaca-se o maior percentual da bacia é ocupada por agricultura.

De acordo Brouziyne *et al.* (2017) em estudo desenvolvido em uma bacia hidrográfica no Marrocos, com características similares de clima, solos e acima de 50% ocupada por agricultura irrigada e de sequeiro, os autores encontraram um valor de curva número (CN) 82,6%. O valor CN 82,97% para a modelagem no rio Ganga, na Índia desenvolvido por Shivhare; Dikshit e Dwivedi, (2018) corroborando com os valores encontrados nesta pesquisa.

Andrade et al. (2019) realizando a modelagem hidrológica na bacia do Rio Mundaú no Nordeste do Brasil, bacia rural com atividades agrícolas e vegetação Caatinga e Mata Atlântica registraram o valor CN 73,7% e de acordo com os autores as características da bacia hidrográfica, grupo hidrológico, tipo do solo, uso e manejo do solo, dentre outros fatores refletem na curva número.

Observou-se na Tabela 5 os critérios de avaliação de desempenho do modelo hidrológico e suas respectivas classificações estatística para o modelo calibrado e validado, nota-se uma diferença nas vazões observadas em comparação às simuladas, em que a diferença é explicada pelo PBIAS, valores positivos mostram superestimação das simulações e negativos indicam subestimação. Quanto ao desvio padrão, os dados simulados obtiveram um valor mais baixo indicando que o modelo suaviza a variação das vazões.

Tabela 5 – Avaliações estatísticas da calibração da vazão diária no período novembro 2015 a outubro de 2017 e para a validação da vazão diária no período novembro 2017 a julho de 2018 para a modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Descrição	Estatística Básica dos dados de Vazão		Estatística de avaliação do modelo			
	Observados	Simulados	Estatística	Valor Calibração	Valor Validação	Desempenho
Total	81,85m ³ s ⁻¹ ano ⁻¹	76,79m ³ s ⁻¹ ano ⁻¹	NSE	0,66	0,57	Bom/ Satisfatório
Média	0,24 m ³ s ⁻¹	0,22 m ³ s ⁻¹	PBIAS	-20,18	-17,18	Satisfatório
Desv. Pad.	0,52 m ³ s ⁻¹	0,51 m ³ s ⁻¹	RSR	0,59	0,62	Satisfatório

Em relação a Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE), esta resultou em um bom resultado 0,66 para o período calibração e um NSE satisfatório 0,57 para o período de validação. Valores acima de 0,5 são classificados como aceitos, e a redução do índice no período de validação é comum (MORIASI *et al.*, 2007, FUKUNAGA *et al.*, 2015; FONTES JUNIOR; MONTENEGRO 2019). A tendência percentual (PBIAS) ambas foram classificadas como satisfatória, sendo -20,18 para PBIAS durante a calibração e -17,18 no período de validação, ressalta-se que valores negativos de PBIAS indicam subestimação dos valores simulados (MORIASI *et al.*, 2007, SILVA, 2013; ALMEIDA, 2018) e a Normalização da raiz do erro médio quadrático (RSR) 0,59 na calibração e 0,62 na validação. Para Moriasi et al. (2007) é comumente aceito que quanto menor o RSR, melhor o desempenho da simulação do modelo, valor > 0,7 são insatisfatórios.

Estes valores calibrados e validados correspondem aos encontrados por outros estudos da estimativa da recarga utilizando o SWAT, Resultados semelhantes foram obtidos por Mello

et al. (2017) em uma bacia hidrográfica do Sarapuí, Estado São Paulo, Brasil, que obteve melhores resultados para calibração ($NSE = 0,65$, $PBIAS = -12,7$) do que para validação ($NSE = 0,56$, $PBIAS = 19,1$). Fontes Junior e Montenegro (2019) também estudou uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil, os valores encontrados determinaram melhores resultados para a calibração diária ($0,77$) foi muito bom, do que para a validação ($0,55$) considerado como satisfatório. No hidrograma da Figura 2 verifica-se o processo de calibração e validação o modelo realizou a previsão adequadamente, visualiza-se um bom ajuste.

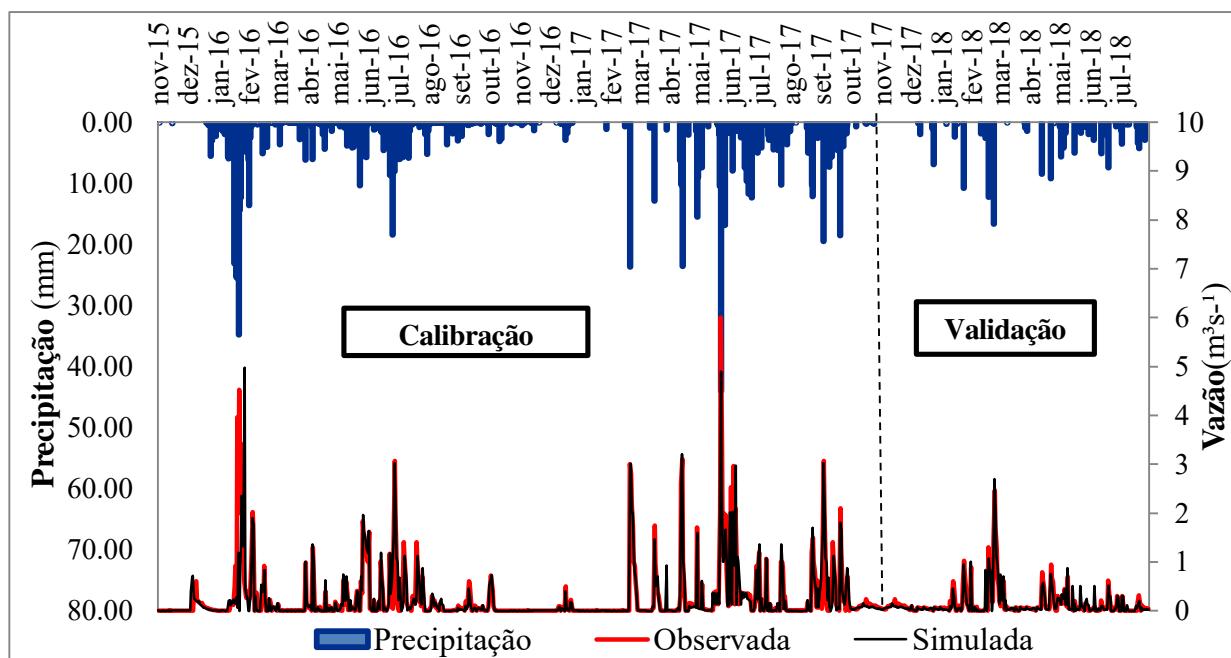


Figura 2 – Ajuste da calibração e validação com base na hipótese de afluência na modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Os dados de saídas para análise da vazão observados e simulado, nota-se na comparação os valores mínimos de escoamento de base e os valores de pico proporcionalmente às taxas de precipitação observadas do modelo foi satisfatória,

As análises do balanço hídrico resultantes da simulação do SWAT para a Bacia Escola Jacaré Curituba podem ser vistas (Apêndice C) e na síntese da Figura 3, sendo que a ilustração desses processos hidrológicos simulados revelam que a precipitação anual média da Bacia Escola Jacaré Curituba foi igual a $587,3\text{mm}$, observou-se ainda a evapotranspiração real ($452,1\text{mm ano}^{-1}$) e evapotranspiração potencial ($1309,5\text{mm ano}^{-1}$), a uma ascensão do aquífero raso ($26,19\text{mm ano}^{-1}$), a percolação para o aquífero raso ($71,13\text{mm ano}^{-1}$), sendo que o escoamento superficial ($53,18\text{mm ano}^{-1}$), fluxo lateral ($0,76\text{mm.ano}^{-1}$), e a Curva Número (CN) média foi de 83,75%.

Os resultados encontrados neste trabalho, são semelhantes aos resultados da modelagem hidrológica encontrada por Andrade et al., (2017) em uma bacia hidrográfica na região Nordeste entre os estados de Alagoas e Pernambuco, onde o valor: Curva Número (CN) 77,74%; evapotranspiração real (ET) 548,2 mm ano⁻¹; evapotranspiração potencial (PET) ou de referências 1262,8mm ano⁻¹ e para ascensão do aquífero raso 25,26 mm ano⁻¹.

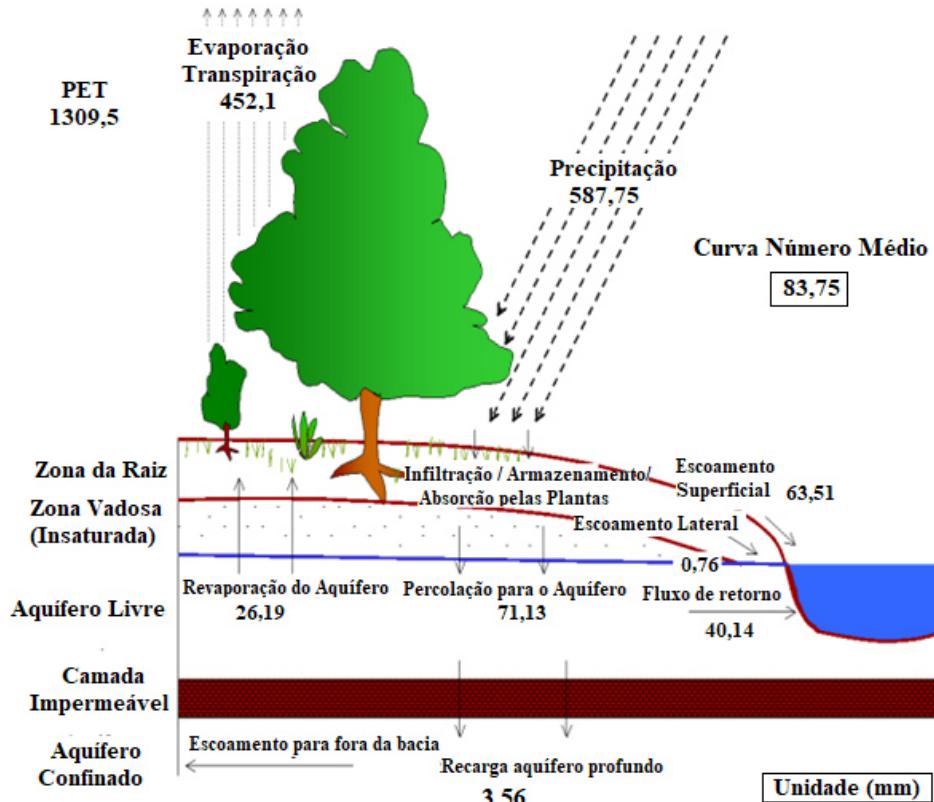


Figura 3 – Balanço hídrico médio do SWAT calibrado para a Bacia Escola Jacaré Curituba.

Os resultados de simulações nos três cenários descritos na metodologia e o uso atual da terra estão apresentados na Figura 4, sendo que o modelo hidrológico SWAT foi usado para estimar as alterações da produção de água em função das mudanças no uso da terra para o período de 2015 a 2018, após os processos de calibração e validação.

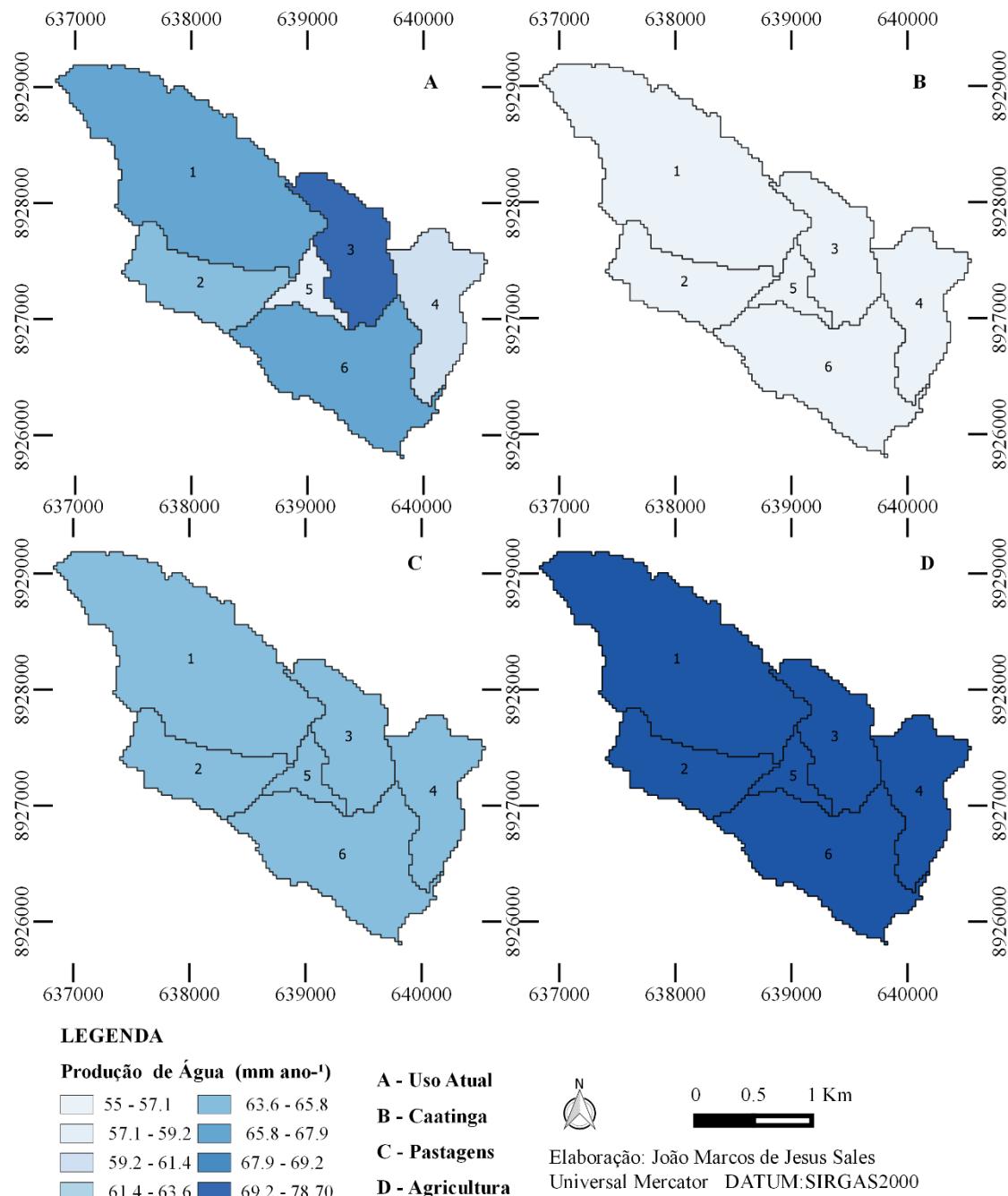


Figura 4 – Mapa da distribuição média anual da produção de água para o de 2016 na Bacia Escola Jacaré Curituba.

Na análise Figura 4 os resultados expostos para as subbacias e cenários são representados por diferença de cores. Evidenciam valores médios de produção de água (FIGURA 4A) que variam de 58,65 a 70,24 mm.ano⁻¹. A sub-bacia 3 com uma taxa de ocupação acima de 70% por agricultura apresentou o maior valor de produção de água (70,24 mm.ano⁻¹), enquanto a menor produção foi registrada na sub-bacia 5 (58,65mm.ano⁻¹) ocupada principalmente por caatinga arbórea (17,56%) e arbustiva (56,1%). A produção média do uso

atual (Figura 4A) equivale a 64,99 mm.ano⁻¹, performance superior aos valores mensurados por Aguiar Netto et al. (2016), na bacia hidrográfica do rio Jacaré.

O cenário I (Figura 4B) que simula a substituição do uso atual por Caatinga, (Reflorestamento e preservação da mata nativa e mata ciliar), apresentou a menor taxa no escoamento superficial, evidenciando valores entre 55,08 e 57,78mm.ano⁻¹. Verifica-se na literatura que diferentes pesquisas mostram que áreas de florestas nativas ou regeneradas é uma alternativa interessante para reduzir o transporte de sedimentos influenciada pela rugosidade e aumento da taxa de infiltração, reduzindo desse modo o escoamento superficial (LARSON, 1997; ARAGÃO 2013; SILVA; SILVA; SOUZA, 2016; SILVA et al., 2018).

O impacto das alterações do uso e ocupação da terra em toda a Bacia Escola Jacaré Curituba por pastagens foi investigada por meio do cenário II (Figura 4C), resultando em valores médios entre 63,8 e 66,64 mm.ano⁻¹, portanto superiores ao cenário I. O cenário III, ou seja, a ocupação de toda a bacia hidrográfica pela agricultura mostram produção média de água entre 70,06 a 78,70 mm.ano⁻¹. Silva et al. (2018), utilizando o modelo SWAT, observaram a menor produção de água em área com Caatinga e sendo o cenário com agricultura a maior produção de sedimentos e escoamento superficial.

3.4 CONCLUSÃO

Os resultados de calibração e validação do modelo hidrológico SWAT mostram desempenhos satisfatório e bom para a simulação da vazão numa bacia hidrográfica do semiárido, o que permite concluir que a maior produção de água ocorre em áreas agrícolas, o que pode ocasionar problemas de erosão.

O modelo SWAT calibrado e validado significa uma possibilidade para estudos futuros em bacias hidrográficas no semiárido e, então, contribuir para estudos sobre manejo de água e solo.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K. C. **SWAT-CUP**: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland.2012. 100p.
- AGUIAR NETTO, A. O. A. et al. Águas do São Francisco. In: AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R. F. **Contexto Socioambiental das Águas do Rio São Francisco**. Sergipe: São Cristóvão, 2015. p.13-42.
- AGUIAR NETTO, A. O.; SANTANA, L. L; ALMEIDA, C. A. P.; FACCIOLE, G. G.; SALES, J. M. J. Efeito da variabilidade de cenários de uso do solo sobre a dinâmica da vazão e de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jacaré-SE. In: FAPITEC. (Org.). **Pesquisa em políticas públicas no estado de Sergipe**. 1ed. São Cristóvão: EDUFS, 2016, v. 1, p. 267-280.
- ALLAIRE, J.J. **RStudio**. Disponível em: <<https://www.rstudio.com>>. Acesso em: 02 Ago2018.
- ALMEIDA, C. A. P. **Prospecção da Crise Hídrica por meio da Modelagem Hidrológica no rio São Francisco**. Tese (Doutorado em desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 200 p. 2018.
- ANDRADE, C.W.L., MONTENEGRO, S.M.G.L., LIMA, J.R.S., MONTENEGRO, A.A.A., MAGALHÃES, A.G. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal Environmental Analysis and Progress** v. 02, n° 3, p. 239–248, 2017
- ANDRADE, C.W.L., MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A, LIMA, J.R.S, SRINIVASAN, R., JONES, C. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. **Ecohydrology & Hydrobiology**.v. 19, p. 237–250, 2019
- ARAGÃO, R.; CRUZ, MAS; AMORIM, JRA; MENDONÇA, LC; FIGUEIREDO, EE; SRINIVASAN, S. Análise de Sensibilidade dos Parâmetros fazer Modelo SWAT e Simulação DOS PROCESSOS hidrossedimentológicos EM UMA Bacia nenhum nordestino agreste. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.37, p.1091-1102, 2013.
- ARNOLD, J.G., J.R. KINIRY, R. SRINIVASAN, J.R. WILLIAMS, E.B. HANEY, AND S.L. NEITSCH. Soil and Water Assessment Tool input/output file documentation: Version 2012. Texas Water Resources Institute TR 436. Disponível em: <http://swatmodel.tamu.edu/documentation/> (acesso em 15 abril 2018).
- AWAN, U. K. & ISMAEEL, A. A new technique to map groundwater recharge in irrigated areas using a SWAT model under changing climate. **Journal of. Hydrology**.v.519, p1368–1382, 2014.
- AYALA, L. M. ; EUPEN, M. V. ; ZHANG, G. ; PEREZ-SOBA, M. ; MARTORANO, L. G. ; LISBOA, L. S. S. ; BELTRAO, N. E. . Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. **Science Of The Total Environment** , v. 569-570, p. 1159-1173, 2016.
- BLAINSKI, E.; SILVIERA, F. A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L. H. P.; VIANNA, L. F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a

técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 24, n. 1, p. 65-70, 2011

BLAINSKI, E., ACOSTA, E., NOGUEIRA, P.C.P. Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Revista Ambiente & Água**. v. 12, p. 226-237, 2017.

BRASIL. LEI N° 175, DE 7 DE JANEIRO DE 1936. Regula o disposto no art. 177 da Constituição. Brasília, DF: Presidência da República, [1936]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1930-1939/lei-175-7-janeiro-1936-505857-publicacaooriginal-76071-pl.html>. Acesso em: 1 Fev. 2019.

BRITO, F.B.; AGUIAR NETTO, A.O.; VASCO, A.N.; SILVA, G.M. Aplicação do modelo SWAT para avaliar o potencial de contaminação por agrotóxicos num afluente do rio São Francisco, Brasil. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017.

BROUZIYNE, Y., ABOUABDILLAH, A., BOUABID, R., BENAABIDATE, L., OUESLATI, O. SWAT manual calibration and parameters sensitivity analysis in a semiarid watershed in North-western Morocco. **Arabian Journal. Geosciences**. v. 10, p. 427-440, 2017.

CELESTE, A.B.; MENEZES, T.N.; FONTES, V. (2014). Modelagem do processo chuva-vazão pelo Tank Model e por redes neurais artificiais na bacia do rio Japaratuba, Sergipe. **Scientia Plena** v.10, n.07 , 2014

CREECH, C.T.; SIQUEIRA, R.B.; SELEGLEAN, J.P.; MILLER, C. Anthropogenic impacts to the sediment budget of São Francisco River navigation channel using SWAT. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, p.140-157, 2015.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. de; NAGHETTINI, M. Applicability of the SWAT model for hydrologic simulation in Paraopeba river basin, MG. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 481-488, 2011

EMBRAPA - CNPS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em:<<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/en/>>. Acesso em: 20/06/2018.

FONTES JUNIOR, R; MONTENEGRO, A. IMPACT OF LAND USE CHANGE ON THE WATER BALANCE IN A REPRESENTATIVE WATERSHED IN THE SEMIARID OF THE STATE OF PERNAMBUCO USING THE SWAT MODEL. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 1, p. 110-117, 2019.

FUKUNAGA, D. C.; CECÍLIO, R. V.; ZANETTI, S. S.; OLIVEIRA, L. T.; CAIADO, M. A. C. 2015. Application of the SWAT hydrologic model to a tropical watershed at Brazil. **Catena**, v. 125, p. 206-213, 2015.

ISRIC - International Soil Reference and Information Center. Disponível em:<http://geonode.isric.org/layers/geonode:soter_lac_map_unit>. Acesso em: 15/07/2018).

KOBIYAMA, M.; CHAFFE, P.L.B.; ROCHA, H.L.; CORSEUIL, C.W.; MALUTTA, S. **School catchments network in the Upper Negro River basin, southern Brazil: Scientific research and environmental education.** In: V Oficina Internacional sobre Enfoques Regionais para o Desenvolvimento e Gestão de Reservatórios na Bacia do Prata. (Foz do

- Iguaçu: 2008), UNESCO/ICHARM/UNEP, Foz do Iguaçu, Anais, 2008. 14p. CD-rom.
- KOBIYAMA, M. et al. Implementation of school catchments nework for water resourece management of the upper Negro river region, southern Brazil. In: Makoto T., Wiliam C. B., Yoshinori F. et al. (org). **From headwaters to the ocean hydrological changes and watershed management**. London: Taylor & Francis group, 2009. p. 151-157.
- KRISTENSEN, P., 2012. European Waters: Assessment of Status and Pressures. European Environmental Agency, Copenhagen.
- LAM, Q. D.; SCHMALZ, B.; FOHRER, N. Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. **Agricultural Water Management**, v.97, p.317-325, 2010.
- LARSON, W.E.; LINDSTROM, M.J.; SCHUMACHER, T.E. **The role of severe storms in soil erosion**: a problem needing consideration. *Soil Water Conservation.*, v. 52, p. 90-95, 1997.
- LUCAS, A. A. T.; FARIAS, D.B.S.; SANTOS S.J.S; SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Annykelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará**. 1ed.Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.
- MELLO, K., RANDHIR, T.O., VALENTE, R.A., VETTORAZZI, C.A.. Riparian restoration for protecting water quality in tropical agricultural watersheds. **Ecological Engineering**. 108 (B), 514–524, 2017.
- MORAES, J.M.; SCHULER, A.E.; GUANDIQUE, M.E.G.; MILDE, L.C.; GROOPPO, J.D.; MARTINELLI, A.L.; VICTORIA, R.L. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.1, p.61-70, 2003
- 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 inwatershed simulations**. *Transactions of the ASABE*, St. Joseph, v. 50, n.3, p.885-900, 2007.
- NASA. Jet Propulsion Laboratory (JPL) - **National Aeronautics and Space Administration(NASA)**. Disponível em: <<https://www.jpl.nasa.gov/news.php?release=2014-321>>. Acesso em: 26-10-2018.
- NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R. & WILLIAMS, J.R. **Soil and water assessment tool: Theoretical documentation** - version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory - Agricultural Research Service;Blackland Research Center - Texas Agricultural Experiment Station, 2005. 494p.
- OEURNG, C., SAUVAGE, S., SÁNCHEZ-PÉREZ, J.-M. Dynamics of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest France. **Earth Surface Processes and Landforms** v. 35, p. 1289 –1301., 2010.
- ORDWAY, E. M., ASNER, G. P. & LAMBIN, E. F. Deforestation risk due to commodity crop expansion in sub-Saharan Africa. **Environmental Research Letters** 12, 044015 (2017).
- PEREIRA D.R, MARTINEZ M.A, PRUSKI F.F, SILVA D.D Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. **Journal of Hydrology**.v.7 n°1, p.14-37. 2016.

SALAZAR, R. D. C., **Modelagem hidrossedimentológica da bacia hidrográfica do rio Betume, Baixo São Francisco Sergipano.** Dissertação de mestrado – São Cristóvão/SE, 2016.

SALES, J.M.J; BARRETO, S.S; AGUIAR NETTO, A. O. Caracterização da bacia escola Jacaré-Curituba, em Poço Redondo-SE. In: PATRICIA ROSALBA SALVADOR MOURA COSTA; ANTENOR DE OLIVEIRA AGUIAR NETTO. (Org.). **Lugares, Potencialidades e Resistências: Terra e Povo no São Francisco.** 1ed. Aracaju: Criação, 2018, v. 1, p. 111-132.

SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; OLIVEIRA, J.B. de; COELHO, M.R.; LUMBRERAS, J.F.; CUNHA, T.J.F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p

SANTOS, L. G. C. **Diagnóstico dos Remanescentes de Mata Ciliar no Baixo São Francisco Sergipano afetado pela erosão marginal e a compreensão dos ribeirinhos sobre a degradação vegetal.** Dissertação de mestrado – São Cristóvão/SE, 2001

SANTOS, S. J. S.; LUCAS, A. A. T. Diagnóstico da salinização ocorrente no solo do perímetro irrigado Jacaré - Curituba do território do alto sertão sergipano. In: AGUIAR NETTO, A. O; SANTANA, N. R. F. **Contexto Socioambiental das Águas do Rio São Francisco.** São Cristóvão: EDUFS, 2015. p.253-274.

SERGIPE (Estado). Secretaria de Estado do Planejamento, da Ciência e da Tecnologia. **Atlas digital sobre recursos hídricos Sergipe.** SEPLANTEC/SRH. Sergipe, 2018. PenCard

SILVA, A. J.; AGUIAR NETTO, A.O.; LUCAS, A. A. T.; ARAUJO, R. R. Recuperação de solo salino-sódico no semiárido brasileiro. In: Antenor de Oliveira Aguiar Netto; Annykelly Vasconcelos de Oliveira Lima; Thadeu Ismerin Silva Santos. (Org.). **Opará.** 1ed. Aracaju: Criação Editora, 2019, v. 1, p. 135-146.

SILVA, V. De P. R. Da; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. De. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco river basin. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016.

SILVA, M. G. DA. **Modelagem ambiental na bacia hidrográfica do rio Poxim-Açu/SE e sus relações antrópicas.** Tese (Doutorado em desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 224 p. 2013.

SILVA V. De P.R., SILVA, M.T.; SINGH, V.P.; DE SOUZA, E.P.; BRAGA C.C; DE HOLANDA, R.M.; ALMEIDA, R.S.R.; DE SOUSA, F.A.S.; BRAGA, A.C.R. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, v. 162, p. 166-176, 2018a.

SILVA, R. M.; DANTAS, J. C.; BELTRAO, J. A.; SANTOS, C. A. G. **Hydrological simulation in a tropical humid basin in the Cerrado biome using the SWAT model.** Nordic Hydrology. Hydrology Research (Print)), p. 2018222-923, 2018b.

SHIVHARE, N.; DIKSHIT, P.K.S.; DWIVEDI, S.B. A Comparison of SWAT Model Calibration Techniques for Hydrological Modeling in the Ganga River Watershed. **Engineering**, v. 4, p.643–652, 2018.

SOUZA, R.M.; DOS SANTOS, I; KOBIYAMA, M. **O modelo SWAT como ferramenta para a gestão de recursos hídricos: avaliação de vazões de outorga na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro.** 2009.

TAMU, Texas A&M University (TAMU) - Global Weather Data – Global Weather. Disponível em: <<https://globalweather.tamu.edu>>. Acesso em: 09/06/2018.

TAMU, Texas A&M University (TAMU) - Soil & Water Assessment Tool (SWAT) - Softwares. Disponível em: <swat.tamu.edu/softwares/>. Acesso em: 09/07/2018.

TSAKIRIS, G., 2015. The Status of the European Waters in 2015: a Review. *Environ. Process.* 2, 543–557.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH: Editora da UFRGS, 2005.

USGS, Earth Resources Observation and Science (EROS) Center Archive - U.S. **Geological Survey (USGS)** – Earth explorer. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em:10/09/2018.

UNIYAL, B., DIETRICH, J., VASILAKOS, C. & TZORAKIC, O. Evaluation of SWAT simulated soil moisture at catchment scale by field measurements and Landsat derived indices. **Agricultural Water Manage.** V. 193, p.55–70, 2017.

VAN GRIENSVEN, A.;MEIXNER, T.; GRUNWALD, S.; BISHOP, T.; DILUZIO, M. & SRINIVASAN, R.. (2006). A Global Sensitivity Analysis Tool for the Parameters of Multi-Variable Catchment Models. **Journal of Hydrology**. V.324. p.10-23. 2006.

XAVIER, A. C.; KING, CAREY W. S.; BRIDGET R. Daily gridded meteorological variablesin Brazil (1980-2013), **International Journal of Climatology**, v. 36, n.6, p.2644-2659, 2015.

WORLD METERS INFORMATIONS. **World Meters Informations** .Disponível em:<https://www.worldometers.info/>. Acesso em 26.09.2019.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017: Wastewater, **The Untapped Resource**. Paris, UNESCO.2017, 198p.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: **Nature-based Solutions**. Paris, UNESCO. 2018. 154p.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia Escola busca a integração pesquisa, ensino e extensão abordando sobre a disponibilidade de recursos hídricos nessa área piloto, o presente estudo poderá auxiliar estudantes, gestores e produtores, no sentido de dar maior clareza para reduzir a perda de água em qualidade e quantidade. Os resultados obtidos nesta pesquisa fornecerão subsídios para criação de uma base de dados, onde as informações geradas poderão ser utilizadas em modelagem hidrológica e permite estudos futuros para o desenvolvimento econômico e social da região ligado a disponibilidades hídricas.

O monitoramento das características física, química e microbiológica da água, revelaram os altos índices de salinidade e possíveis influência do escoamento superficial de áreas agrícolas. É de fundamental importância o acompanhamento regular da qualidade da água em afluentes do rio São Francisco, que é de muita importância como principal fonte de água potável e abastecimento dos projetos de irrigação para a produção de alimentos e desenvolvimento econômico e social na região semiárida.

Este estudo com o modelo calibrado e validado resultou em um desempenho satisfatório, representa uma possibilidade para estudos futuros em bacias hidrográficas semelhantes. A modelagem hidrológica permitiu analisar a produção de água na Bacia Escola Jacaré Curituba no semiárido do Nordeste do Brasil, pode-se considerar que ocorre por influência da agricultura irrigada possíveis alterações na disponibilidade hídrica. Diante disso, evidencia-se a necessidade de preservar e restaurar a Caatinga.

APÊNDICES

Apêndice I: Locais de monitoramento e situações de qualidade das águas da Bacia Escola Jacaré Curituba, Poço Redondo-SE.

a) Dessedentação animal na Barragem



b) Situação da Barragem, presença de vegetação e sedimento



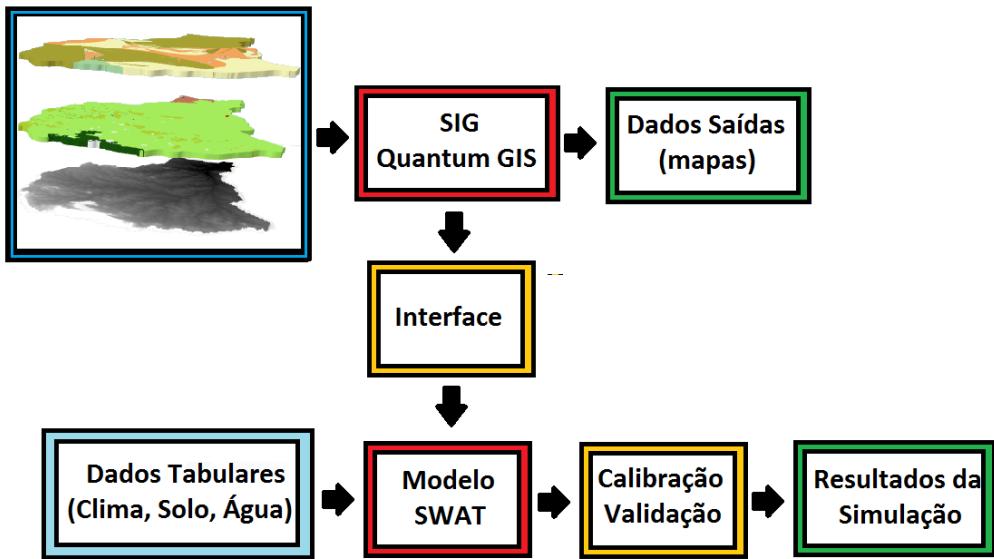
c) Procedimento de coleta de água na Barragem



d) Procedimento de coleta de água na Calha Parshall



Apêndice A: Fluxograma com as etapas realizadas pelo QGIS/QSWAT.Org. Autor



Apêndice B— Parâmetros necessários para serem informados ao modelo para o gerador climático correspondentes a cada estação meteorológica envolvida na modelagem hidrológica da Bacia Escola Jacaré Curituba.

Nome do campo	Descrição
Station Name	Nome da estação
WLONGITUDE (deg)	Longitude da estação (graus)
WLATITUDE (deg)	Latitude da estação (graus)
WELEV	Elevação da estação meteorológica (m)
Temperatura	
TMPMX	Média diária da temperatura máxima do ar por mês (°C)
TMPMN	Média diária da temperatura mínima do ar por mês (°C)
TMPSTDMX	Desvio padrão para temperatura máxima do ar por mês
TMPSTDMN	Desvio padrão para temperatura mínima do ar por mês
Precipitação	
PCPMM	Média da precipitação total mensal (mm)
PCPSTD	Desvio padrão para a precipitação diária por mês
PCPSKW	Coeficiente de assimetria para a precipitação diária por mês
PR_W1	Probabilidade de um dia chuvoso após um dia seco no mês
PR_W2	Probabilidade de um dia chuvoso após um dia chuvoso no mês
PCPD	Número médio de dias com precipitação no mês
RAINHHMX	Máxima chuva de 0,5h em todo período de registros para o mês (mm H ₂ O)
RAIN_YRS	Número de anos utilizados para determinação de RAINHHMX
Outros	
SOLARAV	Média diária da radiação solar para o mês (MJ/m ² /dia)
DEWPT	Média diária da temperatura no ponto de orvalho para o mês (°C)
WNDAV	Média diária da velocidade do vento para o mês (m/s)

Apêndice C: Simulação do Balanço hídrico médio mensal do SWAT na bacia escola Jacaré Curituba para o período de 1980 a 2016.

Mês	P	Q SURF.	Q Lat	Prod. de água mm	ET	PET	Prod de Sedimentos
							Ton.ano
1	43.86	9.44	0.04	9.69	25.17	128.83	1.23
2	37.88	4.84	0.04	5.52	30.51	122.7	0.48
3	58.34	7.7	0.04	8.88	55.18	126.08	0.41
4	55.35	3.69	0.05	4.59	52.33	105.99	0.09
5	75.1	5.67	0.06	6.58	50.68	87.57	0.12
6	82.76	8.32	0.07	11.14	42.97	70.17	0.17
7	84.74	8.98	0.1	16.75	45.18	72.18	0.2
8	47.71	3.6	0.1	15.08	46.65	86.58	0.1
9	24.62	1.5	0.07	9.97	34.98	104.62	0.06
10	17.61	2.33	0.06	5.83	23.8	126.49	0.12
11	15.91	1.03	0.04	1.5	17.05	129.98	0.07
12	26.45	2.69	0.04	2.97	20.19	132.91	0.16
TOTAL	570.33	59.79	0.71	98.5	444.69	1294.1	3.21
Percentage out of rainfall	10.48	0.12	17.27	77.97	-	-	-

Em que: - Q LAT: fluxo subsuperficial lateral, a contribuição do caudal que se origina abaixo da superfície, mas acima da zona onde as rochas são saturados com água. - Q SURF: escoamento superficial, fluxo que ocorre ao longo de uma superfície slopping. - ET: evapotranspiração real, todos os processos pelos quais a água na fase líquida ou sólida a ou perto da superfície da terra se torna o vapor de água atmosférico; isto inclui a evaporação a partir de rios, lagos, solo nua e superfícies vegetativas. - PET: evapotranspiração potencial, todos os processos pelos quais a água na fase líquida ou sólida a ou perto da superfície da terra se torna o vapor de água atmosférico; isto inclui a evaporação a partir de rios, lagos, solo nua e superfícies vegetativas.

ANEXOS

Anexo A- Atividade de pesquisa teste de infiltração na bacia escola Jacaré Curituba, Poço Redondo-SE. Projeto Opará.



Anexo B- Atividade de extensão realizada na Bacia escola Jacaré Curituba, durante o curso de eficiência de irrigação e uso da água para os agricultores do perímetro irrigado Jacaré Curituba, Poço Redondo-SE. Projeto Opará.



Anexo C- Atividade de ensino realizada na Bacia escola Jacaré Curituba, durante o curso de gestão de recursos hídricos durante o minicurso do seminário do Programa de pós-graduação em Recurso hídricos, Poço Redondo-SE. Projeto Opará.



Anexo D- Atividade de ensino realizada na Bacia escola Jacaré Curituba, durante o curso de gestão de recursos hídricos durante o minicurso da semana acadêmica da Universidade Federal de Sergipe, Poço Redondo-SE. Projeto Opará.

