

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Alterações no regime de vazões em função das mudanças nos  
padrões de precipitação e de uso e ocupação do solo em uma  
bacia no Oeste da Bahia

Lorena Souza da Silva

Itapetinga - Bahia  
Junho 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM  
CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Alterações no regime de vazões em função das mudanças nos  
padrões de precipitação e de uso e ocupação do solo em uma  
bacia no Oeste da Bahia

Autor: Lorena Souza da Silva  
Orientador: Felizardo Adenilson Rocha  
Co-orientador: Carlos Amilton Silva Santos

"Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Área de concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento"

Itapetinga - Bahia  
Junho 2021

551.48 Silva, Lorena Souza da.

S581a Alterações no regime de vazões em função de mudanças nos padrões de precipitação e de uso e ocupação do solo em uma Bacia no Oeste da Bahia / Lorena Souza da Silva. – Itapetinga-BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2021.  
72 fl.

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus de Itapetinga, BA. Área de Concentração em Meio Ambiente e Desenvolvimento. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Felizardo Adenilson Rocha e coorientador Prof. D.Sc. Carlos Amilton Silva Santos.

1. Vazão de água – Oferta e demanda – Oeste da Bahia. 2. Agência Nacional de Águas (ANA) – Estudos – Afluente Rio Grande. 3. Modelagem hidrológica – Estacionaridade – Balanço hídrico. 4. Bacias hidrográficas – Usos e ocupação – Modelo SWAT. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. II. Rocha, Felizardo Adenilson. III. Santos, Carlos Amilton Silva. IV. Título.

CDD(21): 551.48

LORENA SOUZA DA SILVA

"ALTERAÇÕES NO REGIME DE VAZÕES EM FUNÇÃO DE MUDANÇAS NOS  
PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM UMA  
BACIA NO OESTE DA BAHIA".

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Ambientais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de  
Itapetinga, BA. Área de Concentração: Meio Ambiente e Desenvolvimento.

Aprovada em: 11/06/2021

**BANCA EXAMINADORA**



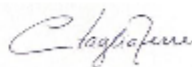
---

Prof. Dr. Felizardo Adenilson Rocha (Orientador/UESB)



---

Prof. Dr. Danilo Paulúcio da Silva (UESB)



---

Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre (UESB)

“Porque d’Ele e por Ele,  
e para Ele, são todas as  
coisas; glória, pois, a Ele  
eternamente. Amém”

Romanos 11:36

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, porque sem ELE nada disso seria possível, eu não estaria aqui. Obrigada Senhor, pela bondade e misericórdia! Força e refrigérios em todas as noites que não consegui dormir e pensei incansavelmente em desistir.

As minhas mães, Mônica e Cíntia, pelo colo materno, palavras de fé e esperança. Por todas as vezes que pedi socorro e as orações e cuidado de vocês foram o que me sustentaram. Obrigada pela formação de caráter, princípios e valores que nenhuma instituição pode ensinar e são mais valiosos do que ouro e prata.

Aos meus irmãos, que com certeza são o combustível para não fazer desistir. Toda minha dedicação e empenho é por vocês!

Ao meu namorado e companheiro de vida, Ubirathan! Para você seria necessário escrever uma outra dissertação para tentar agradecer todo apoio e cuidado. Obrigada por todas as noites que você perdeu comigo, enxugou minhas lágrimas e foi meu ombro amigo. Obrigada por acreditar em mim quando nem eu mesmo acredito.

A Prof. Dr.º Felizardo Adenilson pela orientação e paciência .

Ao Prof.º Dr.º Carlos Amilton pela co-orientação, paciência, por acreditar em mim e nossa pesquisa, pelos puxões de orelha, pelos conselhos. Por não ter abandonado esta mentoria e ter ido até o final comigo. Sou muito grata.

Aos amigos que conquistei nessa jornada, em especial a Lorena Ferraz, minha xará, porém com o dobro de talento e determinação, sem você eu não conseguiria chegar aqui. Obrigada por me ajudar incontáveis vezes, pela parceria e empenho. Sua determinação é radiante e inspiração para quem te conhece.

A Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia por ter me acolhido e permitir entender o universo da ciência pública no Brasil, sem dúvidas uma das minhas maiores experiências. Da qual sou muito grata pelo aprendizado transmitido pelos professores que tenho muita admiração e respeito, vocês são meus modelos de profissional: Flávia Mariani, Danilo Paulucio e José Wildes (entre outros).

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior– CAPES pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento deste projeto.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT .....	6
INTRODUÇÃO.....	7
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO .....	9
2.1 Bacias hidrográficas .....	9
2.2 Modelos Hidrológicos .....	10
2.3 O Modelo SWAT.....	11
2.3.1 Estrutura do Modelo SWAT.....	13
2.4 Influências do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas .....	15
2.5 Expansão Agrícola no Oeste da Bahia e Conflitos de Oferta e Demanda na região Oeste da Bahia .....	18
CÁPITULO 1 .....	22
RESUMO.....	23
1.INTRODUÇÃO.....	30
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Área de Estudo.....	25
2.2. Aquisição e Processamento de dados .....	26
2.2.1Dados Fluviométricos.....	26
2.2.2Dados Pluviométricos .....	26
2.2.3 Mapeamento do uso e ocupação do solo .....	27
2.3 Testes Estatísticos.....	27
2.3.1 Teste de Mann-Kendall .....	27
2.3.2 Teste de Pettitt .....	28
2.3.3 Rho Spearman.....	29
2.3.4 Sen Slope .....	29
3.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.1 Tendência na vazão média anual .....	30
3.1.2 Ponto de mudança da vazão média anual .....	31
3.2 Mudanças no uso e ocupação do solo.....	31
3.3 Tendências nas séries de precipitação .....	33
3.4 Análise de correlação entre as variáveis vazão, uso e ocupação do solo e precipitação .....	35

CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS .....	37
CÁPITULO 2 .....	42
RESUMO.....	43
1.INTRODUÇÃO.....	43
2.MATERIAL E MÉTODOS.....	44
2.1 Área de Estudo.....	44
2.2. Descrição do Modelo SWAT .....	45
2.3 Dados de entrada, calibração e Validação do Modelo.....	46
2.4 Cenários de Uso e Ocupação do Solo .....	48
2.5 Avaliação dos Impactos do Uso e Ocupação fixando as variáveis climáticas .....	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.1 Calibração e Validação do Modelo .....	50
3.2 Efeitos Hidrológicos em componentes do balanço hídrico em função dos cenários .....	53
3.3 Curvas de Permanência e Avaliação dos Impactos no regime de vazões .....	54
4.CONCLUSÃO.....	56
REFERÊNCIAS .....	57
REFERÊNCIAS .....	61
APÊNDICE .....	68



## RESUMO

Conflitos de oferta e demanda de água tem sido registrada em toda região Oeste da Bahia. Embora este cenário de conflitos e indisponibilidade hídrica sejam atribuídas as ações antrópicas, fatores como mudanças climáticas e regime de chuvas podem estar associados à diminuição da disponibilidade de água. Diante desse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar as tendências de mudanças nos padrões de vazão, precipitação e de uso e ocupação do solo e sua correlação ao longo do tempo na sub-bacia do Rio Grande, localizada no Oeste da Bahia. Inicialmente foram investigados padrões de tendências nos dados precipitação e vazão disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) e mapas de uso e ocupação do solo disponibilizados pelo Mapbiomas para o período de 1985 a 2018, para isto foram aplicados os testes estatísticos de Mann-Kendall, Sen Slope, Pettit e Rho Speaman. Os resultados permitem inferir que principal fator para as mudanças negativas na vazão do afluente Rio Grande foram as mudanças antropogênicas sobre o uso e ocupação do solo região. Posteriormente, foi ajustado um modelo hidrológico para avaliar as respostas hidrológicas em função das mudanças na região e os impactos associados a componentes do balanço hídrico. O modelo foi calibrado e validado para os períodos de (1986-1990,1991-1995 ,1996-2000,2001-2005,2006-2010,2011-2015) respectivamente, através de simulações “fixing-changing method” alterando os períodos de simulação. Este método permite avaliar se caso o cenário de maior conservação da vegetação fosse mantido no período correspondente a 36 anos, qual o efeito causaria no fluxo superficial? Se o período simulado (1980-2015) permanecesse constante e apenas o uso e ocupação do solo fosse alterado (mudanças que ocorreram nos mapas base) qual o efeito causaria no volume hídrico disponível ?.Os principais dados de entrada utilizados neste estudo foram obtidos em plataformas governamentais: variáveis climáticas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Precipitação e vazão dos rios (ANA), cenários de uso e ocupação dos solos (MAPBIOMAS), tipos de solos e modelo digital de elevação pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), todos os dados foram processados no módulo SWAT instalado no software ArcGIS 10.5. Para a análise de sensibilidade do modelo utilizou-se o software SWAT-CUP e para análise dos gráficos o software Mohid Statistics Analyser. Quanto a validação do método foram utilizados três coeficientes estatísticos: NSE, Pbias e R2. De acordo com os resultados obtidos foi possível concluir que ferramenta SWAT foi satisfatória para analisar o desempenho do modelo em escala mensal. Todas as composições de vegetação bioma cerrado nesta sub bacia tiveram suas áreas reduzidas em 27,47% entre o período de 1990 e 2015, enquanto as áreas agrícolas cresceram 192,48%. A alteração do uso e ocupação foi a principal responsável pela redução das vazões máxima, média, mínima e de referência. Essas mudanças são as principais causas para a não estacionariedade da série fluviométrica e além de afetar o regime de vazões, alteraram alguns componentes do balanço hídrico como: teor de água no solo, a evapotranspiração e o fluxo de base.

Palavras-chave: Estacionariedade,modelagem,hidrológica, SWAT, testes não paramétricos,vazão

## ABSTRACT

Conflicts of water supply and demand have been registered throughout the western region of Bahia. Although this scenario of conflicts and unavailability of water are attributed to anthropic actions, factors such as climate change and rainfall patterns may be associated with a decrease in water availability. Given that, the main objective of this work was to evaluate the trends of changes in the patterns of flow, precipitation and land use and occupation and their correlation over time in Rio Grande sub-basin, located in the western of Bahia. Initially, trend patterns were investigated in precipitation and flow data provided by the National Water Agency (ANA) and land use and occupation maps provided by Mapbiomas for the period from 1985 to 2018, for which Mann-Kendall statistical tests were applied, Sen Slope, Pettit and Rho Speaman. The results allow us to infer that the main factor for the negative changes in the flow of Rio Grande were the anthropogenic changes in land use and occupation in the region. Subsequently, a hydrological model was adjusted to assess the hydrological responses as a function of changes in the region and the impacts associated with components of the water balance. The model was calibrated and validated for the periods of (1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015), respectively, through “fixing-changing method” simulations changing the periods of simulation. This method allows us to assess whether if this scenario of greater conservation of vegetation were maintained for a period corresponding to 36 years, what effect would it have on the surface flow? If the simulated period (1980-2015) remained constant and only land use and occupation were changed (changes that occurred in the base maps) what effect would it have on the available water volume?. The main input data used in this study were obtained from government platforms: climate variables by the National Institute of Meteorology (INMET), River precipitation and flow (ANA), land use and occupation scenarios (MAPBIOMAS), types and digital elevation model by Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA), all data were processed in the SWAT module installed in the ArcGIS 10.5 software. For the sensitivity analysis of the model, SWAT-CUP software was used, and for the analysis of the graphics, the Mohid Statistics Analyser software was used. As for the validation of the method, three statistical coefficients were used: NSE, Pbias and  $R^2$ . According to the results obtained, it was possible to conclude that SWAT tool was satisfactory for analyzing the performance of the model on a monthly scale. All the compositions of cerrado biome vegetation in this sub-basin had their areas reduced by 27.47% between the period of 1990 and 2015, while agricultural areas grew 192.48%. The change in use and occupation was the main responsible for the reduction of maximum and reference flows. These changes are the main causes for a non-stationarity of the fluvio-metric series and, in addition to affecting the flow regime, they altered some components of the water balance, such as: soil water content, evapotranspiration and base flow.

Key-words: Stationarity, modeling, hydrological, SWAT, non-parametric tests, flow

## 1. Introdução

Bacias hidrográficas são sistemas socioecológicos complexos devido ao conjunto de interações antrópicas e naturais que acontecem na sua área (VIANA; MORAES, 2016). Atualmente, sua complexidade tem sido intensificada com o uso e ocupação do solo de maneira desordenada.

Avaliar os impactos que alterações do uso e ocupação do solo exercem sobre a hidrologia é essencial para o manejo e conservação de bacias hidrográficas, visto que mudanças de uso modificam componentes do balanço hídrico como escoamento superficial, alterando componentes hidrológicos críticos, tais como, recarga de aquíferos, infiltração, interceptação e evapotranspiração (MAO e CHERKAUER, 2009; SAJIKUMAR e REMYA, 2015).

Essas modificações que exercem influência direta na relação entre a chuva e escoamento superficial causando impactos potencialmente grandes, ratificam o desafio em quantificar esses impactos para grandes bacias, que possuem diferentes usos do solo, características climáticas e processos hidrológicos complexos e dinâmicos.

É amplamente aceito que, as mudanças no uso e ocupação do solo tem um efeito importante tanto no funcionamento da terra como um todo, como entre os ecossistemas. Além de emergir como uma questão ambiental chave, é um dos principais esforços da pesquisa em escala global (MISHRA, RAI e MOHAN, 2014). Além de que essas mudanças podem afetar significativamente o clima regional, e posteriormente o clima em escala global.

Monitorar e mitigar os impactos negativos que estas modificações possam causar enquanto a produção dos recursos essenciais é sustentada, tornou-se, portanto, uma importante prioridade de gestores e pesquisadores em todo mundo.

Para além das mudanças no uso e ocupação do solo, as mudanças climáticas são também um fator decisivo para a gestão dos recursos hídricos. Visto que qualquer alteração na variável precipitação, por exemplo pode afetar todo ciclo hidrológico, partindo da premissa que está é a principal forma de entrada de água em uma bacia hidrográfica. A análise da tendência de séries históricas de precipitação é uma das formas para determinar a ocorrência da mudança climática local, permitindo avaliar as consequências a nível de bacias hidrográficas.

Os impactos associados a mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo podem ser melhor compreendidos através da modelagem hidrológica, onde destaca-se o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), um dos modelos mais atuais e mais utilizado para avaliar a produção de água em bacias hidrográficas. Muitos estudos ao redor do mundo têm sido realizados utilizando o modelo SWAT (WOLDESENBET et al., 2016; CHEN et al., 2018; RICCI et al., 2018; BRIAK et al., 2016; NERANTZAKI et al., 2015; JAIN et al., 2010; LI. et al., 2019).

A ferramenta SWAT é promissora para obtenção de conhecimentos mais profundos sobre o balanço hídrico, qualidade da água e produção de sedimentos, especialmente na região Nordeste, onde estudos e pesquisas em modelagem de cenários de uso e ocupação e simulações hidrológicas ainda são incipientes, uma vez que são dispendiosos e os dados necessários são escassos.

A sub-bacia do Rio Grande situa-se em uma região de Cerrado do Nordeste e carece desses dados modelados pelo SWAT, visto que a vegetação natural decresceu 30% desde 1990 até 2017 (NASCIMENTO e SANTOS, 2019) e ainda, estudos realizados na região do oeste baiano sobre a formação aquífera do Urucuia (complexo ao qual a sub-bacia pertence) demonstram decréscimos no fluxo de base (0,75% a 3,04% ao ano), sendo mais acentuada do que a queda da pluviometria (0,07% a 0,88% ao ano), evidenciando assim que outros fatores, como superexploração das águas do Complexo Urucuia (GONÇALVES, et al., 2016)

Assim, diante da abundância da região em recursos hídricos e elevada produção agrícola, ratificam a necessidade de estudos sobre a disponibilidade hídrica da área, além de fatores como elevadas taxas de degradação na vegetação natural e escassez de estudos sobre quantificação do volume de água disponível para satisfazer a agricultura local, são questões que fazem deste estudo, importante subsídio na emissão de alertas aos órgãos gestores dos recursos hídricos, bem como auxiliar no planejamento territorial. Desta forma, a presente pesquisa visa alcançar os objetivos: (a) calibrar e validar o modelo hidrológico SWAT para a sub-bacia do Rio Grande em diferentes períodos (b) avaliar a tendência da vazão precipitação através de testes estatísticos (c) analisar o comportamento da vazão e componentes do balanço hídrico em função da simulação de cenários em diferentes períodos.

## 2.REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Bacias Hidrográficas

Amplos conceitos são utilizados para definir as bacias hidrográficas. Segundo Rocha, Pires e Santos (2000) e Pires, Santos e Del Prete (2001) são sistemas socioecológicos com alto nível de complexidade devido às diversas interações antrópicas e naturais que ocorrem em sua extensão.

Um dos conceitos mais consolidados quando se trata de bacias hidrográficas é o exposto por Tucci (2002), como sendo uma região de captação natural de águas pluviais, os quais faz convergir os escoamentos para único ponto de saída, denominado exultório, composta por superfícies vertentes e rios que confluem até formarem um único local de saída. Sistema físico que, tem por entrada o volume de água precipitado e a saída o volume de água escoado pelo exultório, com perdas ao logo deste processo de volume evaporados, transpirados e infiltrados profundamente.

Do ponto de vista da legislação brasileira, a Lei Federal 9.433/1997 a define como unidade de planejamento territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Aderir ao conceito de bacias hidrográficas como unidade de planejamento territorial é uma ideia concebida por diversos autores (BEHERA e PANDA, 2006; QUEIROZ et al.2014; AHER et al., 2014; ARAÚJO et al., 2015).

Segundo Santos (2004) este conceito é aceito universalmente, sendo utilizado porque entende-se por área bem delimitada topograficamente, drenada por um curso de d'água e seus afluentes, em que as interações são integradas e, portanto, seus inputs e outputs podem ser interpretados. O autor ainda defende que todos os espaços de terra se integram a bacia hidrográfica, sendo assim todo o problema relacionado a água está estreitamente ligado ao seu manejo e manutenção.

Em função das suas características, as bacias hidrográficas têm se tornado importantes áreas de estudo e é crescente o número de pesquisadores interessados em aplicar estudos voltados para sua gestão e manutenção, principalmente para administrar as atividades de uso e ocupação, face a crescente pressão antrópica no meio ambiente em decorrência do aumento populacional e do desenvolvimento urbano-industrial (SANTOS et al., 2018).

Os impactos relacionados aos recursos hídricos estão intimamente ligados ao ciclo hidrológico, e não obstante do que já foi mencionado, pode ser observado nas bacias hidrográficas. A depender das suas características podem alterar o balanço hídrico da região, sobretudo aspectos físicos e a cobertura da vegetação. Sendo assim, o ciclo hidrológico pode ser estudado sob a ótica de bacias hidrográficas, o que permite conclusões mais próximas da realidade, levando em consideração o impacto do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos (TEODORO et al., 2007).

A obtenção de dados atuais e de qualidade são essenciais para boa gestão dos recursos hídricos, o que requer estudos e trabalhos técnicos executados de forma cuidadosa e bem fundamentada. A confiabilidade nos estudos está na abordagem das diversas interações que ocorrem no balanço hídrico, aspectos como tipo e cobertura do solo, clima, topografia e rede de drenagem são elementos fundamentais para subsidiar órgãos públicos e entidades civis na tomada de decisão acerca do planejamento territorial e conservação dos recursos hídricos (ALVES, 2018).

## 2.2 Modelos Hidrológicos

Os modelos de balanço hídrico ou modelos hidrológicos, são usados para simular o comportamento dos fluxos de água em determinado tempo na bacia hidrográfica, a ocorrência de água ao longo do perfil do solo e na rede fluvial. Este tipo de modelo tem sido amplamente utilizado para descrever o funcionamento das bacias hidrográficas em função de diversas aplicações, como previsão de vazão, projetos de dimensionamento de canais e reservatórios, disponibilidade de água associado a fatores externos como precipitação e mudanças no uso e ocupação do solo (SANTOS et al., 2018).

Wheater et al. (2008), descrevem os modelos hidrológicos como uma representação simplificada do sistema real, onde o melhor modelo é aquele que descreve os processos hidrológicos o mais próximo da realidade com a menor quantidade de parâmetros e complexidade.

Os fluxos de água e de seus constituintes na superfície e/ou subsuperfície terrestre podem ser representados por equações matemáticas que assumem uma relação íntima com os processos biológicos e ecológicos e podem afetar diretamente no regime natural dos corpos hídricos, além de estarem estreitamente ligados aos fenômenos climáticos, os quais constituem os principais inputs em modelos hidrológicos como dados de precipitação, radiação solar e força dos ventos (ALMEIDA, 2017).

Desde o primeiro modelo criado em 1940/1950 até os dias atuais, um vasto número de algoritmos tem sido proposto para explicar os fenômenos hidrológicos e variam desde os modelos mais simples como modelos empíricos aos mais complexos, como modelos de distribuição espacial que comportam até 15 parâmetros (SANTOS et.al,2018).

Diversos autores (MORIASI et al., 2015; ALMEIDA, 2017; VAN GRIENSVEN et al. 2006, DEVIA et al., 2015, WHEATER,2008) descrevem uma visão geral dos modelos mais representativos, em função das suas potencialidades, limites e revisam algumas aplicações.

Dentro deste acervo literário, os modelos hidrológicos podem ser classificados sob diferentes aspectos devido a sua diversidade em topologia (MORIASI,2012). Portanto, diferem-se quanto á sua gênese e o tipo de relação que estabelece entre as variáveis na modelagem. No tocante a sua origem, podem ser conceituais ou empíricos. Em relação a sua discretização espacial, variam de concentrados a distribuídos. Quanto à existência de dependência temporal, podem ser expressos como modelos orientados a simulação de eventos isolados ou eventos contínuos (estacionários ou dinâmicos) e de acordo com as variáveis que são utilizadas pelo modelador: estocásticas ou determinísticas (ALMEIDA E SERRA,2017).

### 2.3 O modelo SWAT

O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é modelo hidrológico semidistribuído e contínuo, que através de cálculos matemáticos permite a simulação de processos físicos em escala de bacia hidrográfica (BENAMAN, 2001), tendo em vista as variáveis de entrada e saída, que possam explicar o mais próximo da realidade possível, o comportamento hídrico do balanço vertical (chuva, interceptação, evapotranspiração, infiltração, percolação e umidade do solo) e horizontal (escoamento superficial e subsuperficial)

O SWAT é um modelo hidrossedimentológico de domínio público criado pelo grupo de pesquisa Agricultural Research Service (ARS) no Grassland com suporte técnico do US Departamento of Agriculture (USDA), com o objetivo de analisar as consequências nas modificações do uso e ocupação do solo sobre o escoamento superficial e subsuperficial, produção de sedimentos e qualidade das águas, além de transporte de pesticidas e poluentes em bacias hidrográficas (GASSMAN et al. 2007).

NEITSCH et al., 2005 relatam que o modelo SWAT é resultado da incorporação de vários modelos desenvolvidos Agricultural Research Service (ARS) e tem sido continuamente aprimorado, resultando em novas versões do simulador.

A utilização desta linhagem de modelos distribuídos tem crescido em função da facilidade em obter dados e acoplá-los em softwares de geoprocessamento, e principalmente por representarem uma realidade mais coerente, visto que os primeiros modelos consideravam as bacias hidrográficas como concentradas, ou seja, os processos de precipitação, interceptação vegetal, evapotranspiração, infiltração e percolação, balanço de água nas camadas superior e inferior do solo e o escoamento superficial, sub-superficial, subterrâneo e em rios, canais e lagos são considerados como variáveis médias sobre a bacia (PAIVA,2009).

Posteriormente, as bacias foram sub-divididas considerando sub-bacias de tamanhos menores, onde em cada sub-bacia as características eram consideradas uniforme, o que também não é realista, pois os processos verticais dependem de características peculiares como tipo do solo, uso do solo, geologia e os processos horizontais dependem da drenagem da área, que é baseado nas condições de relevo. Em escala de bacia hidrográfica estes sistemas não uniformes e não contém os mesmos padrões.

Assim, no final da década de 90, o modelo SWAT é apresentado como um modelo mais moderno, onde esses dois processos (horizontais e verticais) são separados, em que o escoamento é representado por “sub-bacias”, definidos de acordo com o relevo superficial em toda a bacia, classificada de acordo com a combinação do tipo de solo, seu uso e geologia, denominado de Unidades de Resposta Hidrológica (URH). Em cada sub-bacia poderão existir todos as URHs no qual toda a bacia é discretizada. Para cada URH são feitos os balanços que são drenados nas sub-bacias até o ponto de escoamento final (fz).

Esta alternativa de subdividir a bacia em áreas contendo combinações singulares, permite ao modelo refletir mudanças nas taxas de evapotranspiração e no escoamento superficial em diferentes usos e solos, visto que a calibração é realizada em cada sub-bacia, o que possibilita o ajuste dos parâmetros de maior influência em cada unidade de resposta hidrológica. Esta característica do modelo aumenta a confiabilidade, pois torna as predições mais precisas e fornece melhor descrição física do balanço hídrico na bacia (ARNOLD et al., 1998).



Outras características relatadas por (NEITSCH et al., 2002) corroboram as melhorias em modelos distribuídos e contínuos, onde destaca-se as principais características do SWAT: a) baseia-se em características físicas da bacia com equações que descrevem os processos entre as variáveis do sistema; b) requer inputs dados climáticos, radiação solar, precipitação, vazão, tipos de solos, uso e ocupação do solo, normalmente disponíveis em sites governamentais; c) computacionalmente eficiente para operar sobre médias e grandes bacias ( $> 1000 \text{ km}^2$ ), e d) é contínuo, sendo capaz de simular longos períodos ( $>100$  anos).

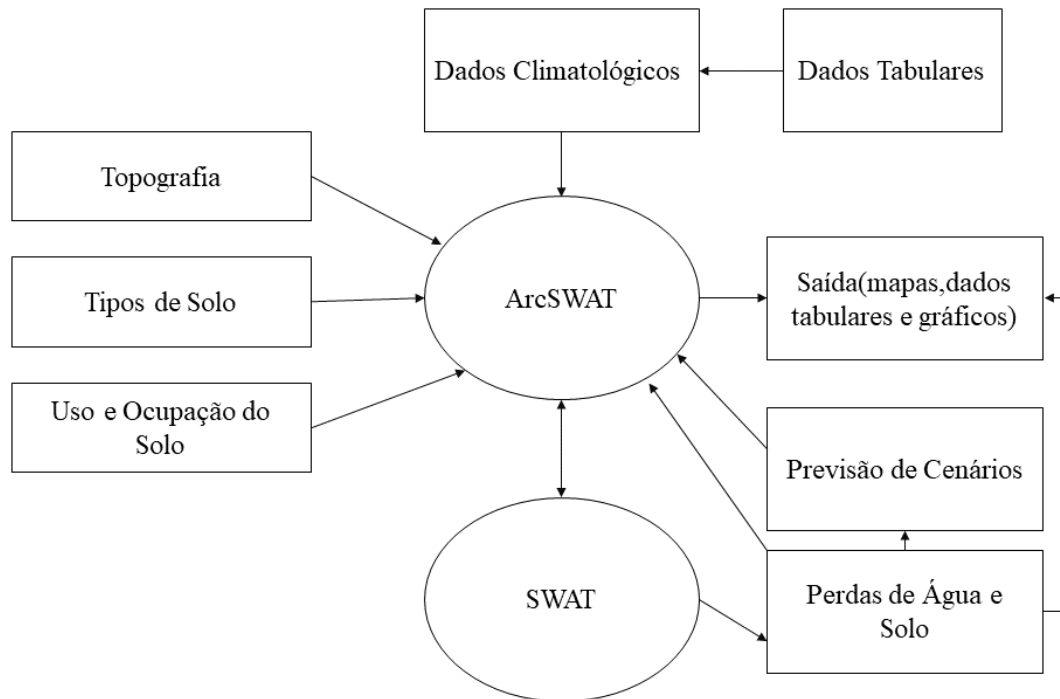
Outro aspecto importante do SWAT é flexibilidade do usuário definir o ciclo de plantação e colheita, adicionar cronogramas e quantidades de fertilizantes, pesticidas e técnicas de irrigação.

Neitsch et al. (2009) afirmam que a reprodução das práticas de manejo com exatidão configura a etapa mais difícil no processo inicial de modelagem, já que as respostas hidrológicas são sensíveis a qualquer alteração. Diante disto, o modelo deve ser capaz de contemplar os mais variados usos do solo e diversas opções em técnicas de controle hídrico. O default do modelo já inclui, entre outros: irrigação, reservatórios, usos de água para consumo e transferência hídrica.

### 2.3.1 Estrutura do modelo SWAT

Os dados de entrada no SWAT (dados alfanuméricos e planos de informação cartográfica) são inseridos através uma interface direta associada ao SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), de forma que o modelo funciona como uma barra de ferramentas do ArcGIS, onde seus algoritmos são executados. O Swat também possui compatibilidade em softwares livres como o Quantum Gis e R. Na Figura 1 é representado o fluxograma do funcionamento do SWAT.

São requeridos pela interface três mapas iniciais: Modelo digital de elevação (MDE), mapa pedológico e de uso e ocupação do solo. A interface automaticamente subdivide a bacia em sub-bacias a partir do MDE e, então, extrai os dados de entrada a partir dos mapas e do banco de dados relacionados para cada sub-bacia. O MDE também é usado pelo modelo para calcular parâmetros de cada sub-bacia, como declividade, perímetro da bacia e sub-bacias e delimitar a rede de drenagem da bacia.

**Figura 1:** Fluxograma do Funcionamento do Modelo SWAT:

Fonte: Adaptado Medeiros e Silva (2014)

A interface permite que as saídas do modelo sejam exibidas em formatos compatíveis com o ArcGIS (Di LUZIO et al., 2001).

O balanço hídrico considerado pelo modelo em cada HRU é descrito pela equação:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $SW_{t+1}$  é o teor de água no solo no tempo  $t + 1$ , em mm;  $SW_t$  é o teor de água no solo disponível para as plantas no tempo anterior  $t$ , definido como o teor de água inicial menos o teor de água no ponto de murcha permanente, em mm;  $R_i$  é a precipitação diária, em mm, obtida por meio de pluviômetro;  $Q_{sup}$  é o escoamento superficial, em mm;  $E_{Ti}$  é a evapotranspiração, em mm;  $P_i$  é a percolação, em mm;  $Q_{Ri}$  é o escoamento de retorno (ascensão capilar), em mm;  $t$  é o tempo, em dias e  $i$  é o passo de tempo, em dias.

Para simulação do volume do escoamento superficial o modelo SWAT utiliza os dados diários de precipitação (mm/dia) para cada sub-bacia e calcula de acordo com o método proposto pelo Soil Conservation Service - SCS (USDA-SCS, 1972), apud Machado (2002) – Método do Número da Curva, conforme descreve a equação 2:

$$Q_{sup} = \left( \frac{R_i - 0,2S^2}{R_i + 0,8S} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $R_i$  é a precipitação diária, em mm;  $S$  é o parâmetro de retenção, em mm.

Em função da variabilidade do tipo e uso do solo, declividade, alterações ocorridas com a umidade do solo, o valor de “ $S$ ” parâmetro de retenção, modifica de acordo com cada sub-bacia. Este parâmetro está relacionado com o número da curva (CN), de acordo com a equação 3:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Quanto a estimativa do processo de evapotranspiração, o SWAT possui três modelos associados para a sua simulação, sendo eles Penman-Monteith (método adotado pela FAO) Hargreaves-Samani (HARGREAVES et al., 1985), e Priestley-Taylor (PRIESTLEY E TAYLOR, 1972). A definição do método a ser empregado depende da disponibilidade de dados e as características físicas da bacia.

#### 2.4 Influências do Uso e Ocupação do solo em Bacias Hidrográficas

O homem atua como agente modelador do espaço, sendo que ao longo dos anos várias atividades são implantadas e/ou intensificadas de acordo com sua necessidade. Ao interferir na cobertura do solo, o homem altera o regime hidrológico de uma região, principalmente nos componentes do ciclo hidrológico essenciais para manutenção do balanço hídrico como recarga de aquíferos, infiltração, interceptação e evapotranspiração (de MEDEIROS et al. 2019; POORHEYDAR et al. 2020). Segundo Tucci (2005) as principais classificações da mudança do uso e ocupação do solo impactam sobre o escoamento e são:

- Quando a camada superficial do solo da bacia é retirada, este fica desprotegido. Quando na ocorrência de eventos de precipitação, o solo está mais suscetível a erosão e, portanto, aumento na produção de sedimentos, carregados pelo escoamento superficial.
- Aumento da vazão média em decorrência da diminuição dos processos de evapotranspiração, aumento ou diminuição da vazão mínima.
- Aumento dos processos erosivos e diminuição do escoamento médio, em decorrência do aumento de perdas através do processo de evapotranspiração das plantas.

- Redução da infiltração no solo, aumentando o escoamento superficial, redução do fluxo de base, redução da evapotranspiração. Aumento das vazões máximas e na produção de sedimentos, e a deterioração da qualidade da água
- Redução do escoamento médio, impacto da construção de estradas e a capacidade erosiva gerada pela superfície desprotegida após a extração.

Diversas pesquisas têm sido devolvidas em escala global (LI et al., 2009; SOUSA et.al,2020; HEO et al., 2015;) e nacional (MARTINS et al., 2020; de ANDRADE et al., 2017; RODRIGUES et al., 2015), para averiguar o comprometimento das alterações do uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas, tanto na disponibilidade quanto na qualidade da água, além de outros processos como erosão e presença de sedimentos em bacias.

O autor Hibbert (1965) constatou que a redução de florestas aumenta a vazão nos corpos hídricos, a substituição de áreas de florestas por vegetação menos densas e ralas provocam a diminuição na produção de água e as respostas hidrológicas são imprevisíveis em decorrência da peculiaridade do clima, tipos de vegetação e manejo do uso da terra.

Estudos mais recentes associam as particularidades de cada região e as diferentes respostas hidrológicas. Woldesenbet et al. (2016) ao analisarem as respostas hidrológicas frente as mudanças do uso e ocupação do solo na bacia do Alto Nilo Azul, Etiópia, compararam três mapas (1986, 2001 e 2010) em quatro períodos de tempo e concluíram que as mudanças tiveram impactos negativos sobre os recursos hídricos, como escoamento superficial, diminuição do fluxo de base e evapotranspiração real e especialmente, sobre o aumento dos processos erosivos e sedimentação na bacia hidrográfica.

No entanto, Sousa et al. (2020) ao simularem diferentes cenários de uso e ocupação e do solo na bacia hidrográfica do Rio Cachoeira no Nordeste do Brasil, chegaram à conclusão que os cenários de redução de floresta e aumento de pastagem demonstram maior armazenamento de água no solo e aumento nas vazões mínimas, máximas e média, porém mais propenso a eventos de cheias e inundações. Com relação ao cenário onde as áreas de preservação permanentes previstas em lei são respeitadas, houve redução nos processos de escoamento superficial, vazões médias e máximas.

Um vasto número de trabalhos na literatura busca compreender os efeitos da vegetação sobre a hidrologia. Eles permitem ter um razoável conhecimento sobre a

complexidade dos impactos hidrológicos no regime de vazões e das variáveis envolvidas. Fatores como alterações no índice da área foliar, profundidade das raízes, extrato do dossel e propriedades relacionadas a estrutura da vegetação, interferem principalmente nos processos de evapotranspiração, que por consequência impactam na redução/aumento das vazões médias. Em áreas florestadas a evapotranspiração é maior e por este motivo, o desmatamento provoca aumento na vazão média e o reflorestamento a diminuição.

Além de alterações nas vazões médias, outro objeto de estudo de extrema importância para hidrólogos são as vazões máximas que podem causar prejuízos econômicos e sociais. O dimensionamento de obras hidráulicas e a prevenção ao risco de inundações está intimamente ligada a estes estudos. São considerados muito mais complexos, devido à grande variabilidade de respostas hidrológicas quando as vazões são mínimas (GAMA, 2011).

O impacto nas vazões máximas pode estar associado ao papel das florestas, que apresentam maior grau de interceptação e permeabilidade do solo, o que significa maior armazenamento de água no solo, garantindo assim que a água chegue as camadas mais profundas do solo.

De um modo geral, os estudos realizados por Robinson et al., (2003), Andreassian et al., (2004), Beschta et al., 2000, Eisenbies et al. (2007), Tucci e Clark (1996) mostram que o reflorestamento reduz as vazões de pico. Em contrapartida o desmatamento ocasiona o aumento das vazões de pico.

Muitos pesquisadores também relataram os impactos nas alterações da paisagem em relação as vazões mínimas, cuja sua ocorrência é importante destacar, visto que a baixa disponibilidade do recurso hídrico (vazões mínimas) e alta demanda por águas para usos múltiplos podem causar prejuízos no abastecimento. Alguns autores relatam acréscimo na vazão mínima em condições em que a bacia foi totalmente ou parcialmente desmatada (Sousa et al., 2020; Zhao et al., 2012); outros autores corroboram os resultados quando expõem uma redução nas vazões mínimas em função do reflorestamento das bacias (Scott e Lesch, 1977; Zhang et al., 2007) ou até mesmo dias sem vazão (Lane et al., 2005 e Zhang et al., 2007).

Outro aspecto importante trata do efeito do desmatamento nas vazões mínimas em função do clima da região. O desmatamento quando ocorre em regiões de clima seco ocasiona pequenos aumentos percentuais nas vazões baixas, enquanto que em climas úmidos resulta em perdas percentuais pequenas, porém constantes em todos os percentis de vazão (ZHAO et al., 2012). Estes resultados ratificam a necessidade de entender não

somente as alterações no uso e ocupação do solo como também o clima e a variabilidade climática da região, porque quando associados podem potencializar os prejuízos na alteração do regime de vazões em bacias hidrográficas.

## 2.7 Expansão Agrícola e Conflitos de Oferta e Demanda na região Oeste da Bahia

Até meados dos anos 1980 a região Oeste da Bahia tinha uma ocupação tímida e rarefeita, tanto no aspecto econômico quanto a densidade demográfica. Os habitantes da região desenvolviam atividades voltadas para subsistência (plantio e agropecuária). Com pequenas aglomerações urbanas, voltadas apenas para a necessidade da população. Neste sentido, as características físicas da região contribuíram bastante para o crescimento deste território. Cortada pelos Rios Corrente, Rio Grande, Preto (afluentes do São Francisco) além de estar inserido na formação Urucuia, uma vasta formação geológica que estabelece conexão com os rios da região, principal responsável pela manutenção do escoamento de base dos afluentes a margem esquerda do Rio São Francisco: Corrente, Rio Grande, Caririnha entre outros, que mantém a sua perenidade em função da preservação da vazão permanente (ENGELBRECHT e CHANG, 2015)

Suas condições edafoclimáticas talvez tenham sido um dos primeiros motivos para sua ocupação, a presença de vastos corpos hídricos facilita o transporte e abastecimento da população.

A partir dos anos 80 e início da década de 90 que as políticas públicas voltaram esforços para esta região, marcando o início para transformações marcantes no setor agrícola e urbano. A implantação do programa PROCEDER – Programa de Desenvolvimento dos Cerrados, financiado pelo governo japonês, para desenvolvimento agrícola da região, vinculado a outros programas envolvendo crescimento urbano (infra-estrutura), geração energética e transporte. Fato que impulsionou a imigração de agricultores sulistas do país, que foram beneficiados pela concessão de terras agricultáveis de baixo custo, topografia favorável com áreas bem planas, disponibilidade hídrica e solos férteis (PASSOS et al., 2010).

Outros projetos de cunho nacional também foram implementados na área como CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do Vale São Francisco que visavam a colonização e desenvolvimento dos cerrados. Os projetos estaduais Programa de Ocupação Econômica do Oeste e Programa de Desenvolvimento Social do Oeste Baiano,

em sinergia com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Este período corresponde também a implantação da EMBRAPA – Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária, que somados, justificam objetivo de viabilizar a agricultura de forma extensiva e competitiva nessa região, antes considerada infértil, tornando-a uma região promissora do ponto de vista econômico (OLIVEIRA e VIERA, 2018).

Essa imigração ocorreu não somente na região oeste da Bahia, mas concomitantemente nas região centro-oeste do país, a qual foi lócus para expansão da agricultura e criação de uma fronteira agrícola no país, conhecida como MATOPIBA – acrônimo para as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Considerado por muitos como novo nordeste mecanizado.

Atualmente, esta região tem grande expressão na produção de grãos, em especial o cultivo de milho e soja, com destaque também para cultura do algodão. De acordo com a Associação dos agricultores e irrigantes da Bahia (AIBA, 2019), 4% da produção agrícola de 2012 foi realizado na Bahia e 100% da soja, 31% do milho e 97% do algodão da Bahia foi cultivada no Oeste. Em 2012 esses números correspondem a produtividade de 3.320.970 ton, 1.184.669 ton, 2.356.200,0 ton para soja, milho e algodão respectivamente. Em 2019 foram registradas 5.308.800 toneladas para cultivo de soja, 1.489.500 toneladas para algodão e 1.260.000 toneladas para algodão. O cultivo de soja teve o dobro de aumento nos últimos 7 anos.

Estudos realizados pela Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT esboçam a projeção de cenários de produção agrícola que triplicadas no período de 14 anos (2010-2024) o que mostra a tendência no aumento de áreas agrícolas (Tabela 2).

Tabela 2 – Estimativa da produção no Oeste da Bahia por cultura de 2010 e 2024.

Ano	toneladas				
	Soja	Milho	Algodão	Arroz	Feijão
2010	3.410.041.520	737.495.776	447.088.430	43.876.191	61.630.416
2015	4.510.384.179	962.977.778	690.949.613	56.216.322	77.298.624
2020	5.677.506.872	1.196.999.907	987.597.290	68.932.606	93.134.476
2024	6.607.423.937	1.379.687.612	1.254.070.856	78.785.439	105.165.100

Fonte: ANTT adaptado Mendonça (2006)

Outro aspecto importante sobre a expansão agrícola no Cerrado, diz respeito a modernização das técnicas agrícolas, que utiliza alta tecnologia. Marcada principalmente no Oeste da Bahia, pela instalação de pivôs central. Segundo o Boletim de Desenvolvimento de Pesquisa 107 de dezembro de 2014, A maior concentração de pivôs

centrais ocorreu nos municípios de Mucugê (471 pivôs, 32.106,78 ha), Barreiras (338 pivôs, 34.714,68 ha), São Desidério (321 pivôs, 33.488,18 ha), Ibicoara (206 pivôs, 11.635,03 ha), João Dourado (169 pivôs, 969,32 ha) e Luís Eduardo Magalhães (167 pivôs, 14.955,29 ha). Mais de 90% das áreas irrigadas por pivôs centrais localizaram-se nas bacias hidrográficas dos Irrigação por Pivôs Centrais no Estado da Bahia - Brasil 5 Rios Grande (49,48%), Corrente (17,84%) e Paraguaçu (23,73%). O tamanho dos pivôs variou entre 2,00 ha e 349,96 ha (GUIMARÃES et al., 2014)

Segundo o Atlas da Irrigação em 2015, o painel de áreas irrigadas faz da região extremo Oeste classificadas entre 5.000 < 30.000 hectares de área irrigada, as maiores classes do país. Ainda segundo o Atlas, a irrigação é atividade de maior uso da água do país, detentora de 46% da água retirada dos corpos hídricos e por 67% do consumo (água que não retorna para os rios). Este cenário embora promissor do ponto de vista econômico tem desencadeado uma série de conflitos no que diz respeito a disponibilidade do recurso que serão abordadas no tópico a seguir.

Embora a documentação das dissenções entre oferta e demanda de água na região oeste da Bahia, sejam tardias e escassas, este é um tema bastante relevante e que fazem desta problemática, a razão para o desenvolvimento de estudos na área, principalmente para garantir que o desenvolvimento ocorra de forma sustentável, garantindo a permanência dos recursos naturais para as gerações presentes e futuras.

Pousa et al. (2019) relatam que talvez o primeiro conflito documentado seja datado em 2010, sobre a instalação da usina hidrelétrica Sítio Grande, no Rio das Fêmeas (afluente do Rio Grande), que retém a maior concessão de uso da região, cerca de  $12 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  a maior licença da região. Esta retenção interrompeu o fluxo dos rios por vários dias, causando problemas as populações ribeirinhas que dependem do funcionamento do rio para exercer atividades que garantem sua sobrevivência, além dos impactos ambientais gerados. Vários relatos veem acontecendo em redes sociais, veículos de transmissão de mídia, como blogs, jornal e rádio, principalmente da cidade de Correntina. Em 2016, segundo a Comissão Pastoral de Terra (CPT) cinco óbitos foram registrados em decorrência de conflitos pela água na região, em 2017 foram registrados 172 conflitos (CPT,2017).

Ainda segundo os relatos da CTP os conflitos em Correntina continuaram sendo contabilizados, a população ribeirinha relatou a diminuição ao acesso da água através da apropriação particular por Fazendas (CTP,2018). Simultaneamente aos registros por indisponibilidade da água o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA)



concedeu à Fazenda Igarashi, por meio da Portaria nº 9.159, de 27 de janeiro de 2015, a outorga do rio Arrojado uma vazão de 182.203 m<sup>3</sup>/dia, durante 14 horas/dia, para a irrigação de 2.539,21 hectares, Esta concessão mobilizou toda a população que chegou a invadir a Fazendas e destruiu significativamente suas instalações como forma de protestos, que continuaram em uma marcha pacífica da população em defesa do Rio Corrente e seus afluentes (CORREIO, 24 horas).

Os trabalhos a seguir foram elaborados segundo as normas da Revista Brazilian Journal of Environmental Sciences para o Capítulo I e Journal of Water and Climate Change para o Capítulo II.

## CAPÍTULO 1

### **Tendência em séries hidrológicas e de mudanças no uso e cobertura do solo em uma bacia tropical do Nordeste do Brasil**

Lorena Souza da Silva

Felizardo Adenilson Rocha

Carlos Amilton Silva Santos

Lorena Lima Ferraz

Lucas Farias Sousa

## **Tendência em séries hidrológicas e de mudanças no uso e cobertura da terra em uma bacia tropical do Nordeste do Brasil**

**Resumo** A vazão é umas das variáveis hidrológicas de maior interesse devido sua importância econômica e ligação direta com a disponibilidade para os usos múltiplos da água. Nos últimos anos, no entanto, este recurso tem sido ameaçado devido às grandes alterações no uso e ocupação do solo e a mudanças climáticas, alterando os padrões antes tido como estacionários. O objetivo deste estudo foi avaliar as tendências de mudanças nos padrões de vazão, precipitação e de uso e ocupação do solo e sua correlação ao longo do tempo na bacia do Rio Grande. Foram utilizados 34 anos de dados pluviométricos, fluviométricos e mapas de uso e ocupação do solo para período de 1985-2018 em escala anual. Para indicar a presença ou não de tendências nas séries históricas foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall e para avaliar a magnitude dessas tendências foi utilizado o coeficiente de Sen Slope, além dos testes de Spearman Rho e Pettitt para correlacionar as variáveis e detectar o ponto de mudança nas séries, respectivamente. Todos os testes foram processados a partir do software R e a manipulação dos mapas ocorreu no software ArcGIS 10.5. Os resultados inferem tendências de redução na vazão no posto fluviométrico analisado, ao mesmo tempo em que houve uma considerável redução das áreas naturais e ascensão de +750% das áreas agrícolas. Os resultados mostram ainda que embora tenha sido detectada uma tendência de redução na precipitação, sua magnitude não foi relevante quando relacionada a vazão, sendo as mudanças do uso e ocupação do solo o principal fator para as mudanças negativas na vazão do afluente Rio Grande.

**Palavras-Chave:** estacionariedade, vazão, testes não paramétricos

**Abstract** Flow is one of the hydrological variables of greatest interest due to its straight connection with the availability of water for its multiple uses. In recent years, however, this resource has been threatened due to intense changes in land use and occupation and climate change, affecting patterns previously considered to be stationary. The objective of this study was to evaluate trends in change of patterns of flow, precipitation and land use in a basin located in the Brazilian Cerrado. 34 years of rainfall, fluviometric and land use occupation data were used, covering the period 1985-2018, on an annual scale. To evaluate the trends in historical series Mann-Kendall and Sen Slope's non parametric test was applied, in addition to the Spearman Rho and Pettit tests to analyze the correlations between variables and detect the point of change in the series, respectively. All tests were processed using the R software and the maps manipulation occurred in the ArcGIS 10.5 software. The results show statistically significant trends in flow reduction over time. At the same time, there was a considerable reduction in natural areas and an increase of +750% in agricultural areas. The results also shows that although a tendency to reduce precipitation was detected, its magnitude was not significant, with changes in land use and occupation being the main factor for the negative changes in the flow of the tributary Rio Grande.

**Keywords:** Stationarity, Flow, Nonparametric tests.

## 1.Introdução

Os impactos nas mudanças do uso e ocupação do solo e variabilidade climática são umas das principais preocupações da comunidade científica (Pousa et al., 2019; Rosin et al., 2015, Salehi et al., 2019, Alifujiang et al., 2021). As discussões atreladas a estas mudanças, devem-se principalmente a magnitude das consequências que estas podem causar.

Todas as alterações no regime de chuvas de uma região comprometem a gestão dos recursos hídricos, bem como a disponibilidade de água potável e na produção de alimentos, o que pode causar conflitos nos usos múltiplos da água (HU et al.,2017). Embora este cenário de conflitos e indisponibilidade hídrica sejam atribuídos as mudanças climáticas e regime de chuvas, fatores como alteração no uso e ocupação do solo podem estar associados à diminuição da disponibilidade de água.

A mudança no uso e ocupação do solo estão entre os fatores mais relevantes para alteração no comportamento hidrológico de uma bacia, visto que alterações nas superfícies antes naturais, respondem diretamente em componentes do balanço hídrico, como aumento/diminuição na evapotranspiração, escoamento superficial e consequentemente na recarga de águas subterrâneas, infiltração e interceptação (de MEDEIROS et al. 2019; POORHEYDAR et al. 2020).

Estas mudanças, alteram o ciclo da água e consequentemente a vazão dos rios, fazendo com que esta deixe de ser estacionária (Jehanzaib et al. 2020). Quando uma série hidrológica não reproduz os mesmos parâmetros estatísticos (média e variância constantes) ao longo do tempo ela é tida como não estacionária (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Entretanto, identificar os padrões de mudanças em séries hidrometeorológicas, a nível local é complexo em decorrência dos diversos fatores ativos que podem contribuir em conjunto ou separadamente para que ocorra a não estacionariedade (MILLY ,2008), além das características específicas regionais, como o tamanho das bacias (CHAGAS e CHAFFE, 2018)

Diante do exposto, é necessário compreender o impacto das mudanças climáticas na hidrologia, bem como estimar a tendência e magnitude das variáveis hidrológicas. A análise de tendência é uma forma de detectar as taxas de mudanças de uma variável ao longo do tempo. Muitos pesquisadores utilizaram os modelos clássicos de detecção de tendências como o teste de Mann-kendall, Rho Spearman para correlação da magnitude de tendências, Pettitt para mudanças abruptas em séries hidroclimáticas (SALEHI et al.,2019, MIRDASHTVAN et al.,2019, TAMAGONE et al., 2019, FERREIRA et al.,2020). Esses estudos relatam a urbanização, crescimento populacional e ascensão de terras agrícolas como principal fator das mudanças nos padrões estatísticos das séries hidroclimatológicas.

A região Oeste da Bahia é uma das fronteiras agrícolas mais ativa do país em que pode estar ocorrendo o fenômeno de não estacionariedade nas séries hidrológicas, visto que nas últimas décadas, a região desenvolveu uma extrema extensão de atividades agrícolas e pastagens, processo que ocorreu de forma acelerada sob bases modernas com irrigação permanente e mecanizada, para o cultivo principalmente de feijão, soja, algodão e milho (SANTOS et al. 2018).

Este tipo de prática agrícola, embora eficiente para produção, causa grandes desperdícios de água, superexploração por captação dos fluxos superficiais e águas confinadas, além de diversos problemas relacionados a redução de áreas úmidas em planícies de inundação. Alguns trechos secos nessa região já foram registrados (AMORIM JÚNIOR e LIMA,2007).

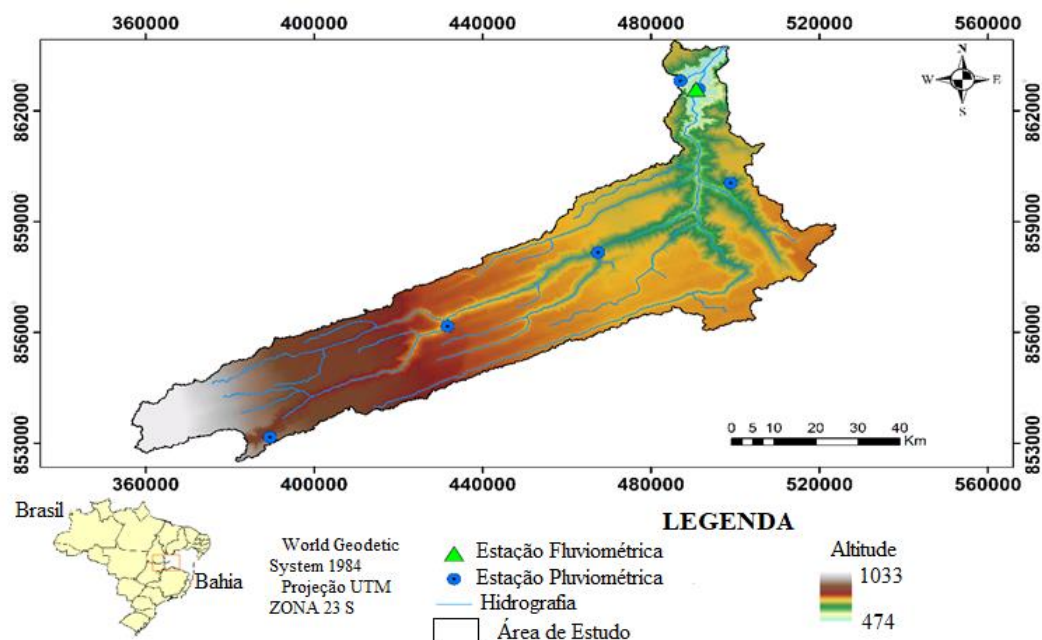
Os autores Nascimento e Santos (2019) também relatam o crescimento acelerado das áreas agrícolas na bacia do Rio Grande em +100% para agricultura irrigada e +100% para agricultura de sequeiro, estimulados principalmente por ações governamentais, além de características físicas da região como relevo plano e índices pluviométricos que podem chegar 1.265mm/ano. Essa rápida mudança nas paisagens naturais associadas aos conflitos já existente por indisponibilidade hídrica, indicam o uso predatório e suscitam a importância de estudar os possíveis impactos nos padrões estatísticos das séries hidrológicas da região.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva avaliar as tendências de mudanças nos padrões de vazão, precipitação e de uso e ocupação do solo e sua correlação ao longo do tempo na bacia do Rio Grande.

## 2. Material e Métodos

### 2. Área de Estudo

A área de estudo (Figura 1) compreende uma sub-subacia do Rio Grande, totalizando 5.193 km<sup>2</sup>. O rio principal é um dos afluentes do Rio Grande, um curso de água do estado da Bahia, localizado na porção nordeste do estado. Nasce na Serra Geral em Goiás e percorre o município de São Desiderio até desaguar na foz no Rio São Francisco.



**Figura 1.** Localização da Área de Estudo.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região classifica-se como Aw (tropical com chuvas de verão) com temperatura média anual de 22,3°C e umidade relativa do ar variando entre 45 e 79%.

Outro aspecto importante sobre a região, diz respeito a sua inserção em uns sistemas aquíferos mais extensos e importante na regulação dos rios da bacia do Rio São Francisco, o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) responsável pela perenidade dos corpos hídricos na região, especialmente nos períodos secos, que na região corresponde aos meses de Junho a Agosto (Gonçalves et.al,2018)

## 2.2 Aquisição e Processamento de Dados

### 2.2.1 Dados Fluviométricos

Os dados fluviométricos (vazão em m<sup>3</sup>/s) utilizados foram adquiridos da plataforma on line Hidroweb, disponibilizado pela Agência Nacional das Águas (ANA,2020). O posto de monitoramento é nomeado Sítio Grande e corresponde ao código (46415000) e se localiza nas menores altitudes da região, conforme Figura 1. O período de monitoramento da estação é de 1977-2020, do qual foram utilizados 34 anos de dados medidos entre os anos 1985 e 2018.

### 2.2.2 Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos foram adquiridos da rede hidrometeorológica da ANA e correspondem 7 estações dentro do perímetro da área de estudo. As estações estão apresentadas na Tabela 1 e serviram de base para o cálculo da média anual dos volumes pluviométricos na região.

**Tabela 1.** Estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

Nome	Código	Latitude	Longitude	Elevação
Sítio Grande	1245007	-12.43	-45.08	507
Catarinense	1346010	-13.28	-46.02	867
Casa Real	1345002	-13.01	-45.63	751
Cabeceira Grande	1245016	-12.66	-45.01	657
Sítio Grande	1245001	-12.43	-45.08	527
Derocal	1245005	-12.41	-45.12	511
Vereda Nova	1245030	-12.83	-45.30	690

O período analisado corresponde ao mesmo utilizado para os dados de vazão (1985-2018). Para o preenchimento de falhas, foi empregado o método de ponderação regional com base na precipitação média das estações vizinhas, o método é descrito na (Equação 1):

$$P_Y = \frac{P_{Ym}}{3} \left( \frac{P_{X_1}}{P_{Xm_1}} + \frac{P_{X_2}}{P_{Xm_2}} + \frac{P_{X_3}}{P_{Xm_3}} \right) \quad (1)$$

Em que:

$P_Y$  – Precipitação do posto a corrigir;  $P_{Ym}$  – Precipitação média do posto Y;  $P_{X_1}$  a  $P_{X_3}$  – precipitação dos postos x1 a x3;  $P_{Xm_1}$  a  $P_{Xm_3}$  – precipitação média dos postos x1 a x3

Este método é bem difundido na literatura, utilizado por diversos autores (Ferreira et al., 2020, Diaz et.al., 2018, França et al., 2019, Fistarol e Santos, 2020) diante da necessidade de séries históricas completas, principalmente para análises estatísticas de tendências, uma vez que séries de curto período podem sinalizar não estacionariedade, quando na verdade são flutuações naturais da série hidrológica. Para preenchimento das falhas foi necessário utilizar os dados históricos da série de vazão (1985-2018) de três estações próximas às estações de estudo, mas que não compreendem a área da bacia: Estação Aurora do Norte (1246001), Roda Velha (1245015) e Fazenda Coqueiro (1244019).

### 2.2.3 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo

Para avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo foram utilizados 34 mapas que compreendem o período de (1985-2018), disponibilizados pela plataforma online do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do solo no Brasil (Mapbiomas,2018), coleção 4.

Os 34 mapas do mapbiomas foram inseridos individualmente no ArcMap 10.5, foram recortados um por vez conforme as características morfométricas da bacia como área e perímetro. As classes de uso e ocupação foram reclassificadas em 5 categorias: (a) floresta- espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo; (b) savana - áreas com predominâncias de espécies arbóreas e arbustivas, espalhadas sobre um substrato gramíneo, sem a formação de um dossel contínuo. (c) campo - predominância de espécies herbáceas e algumas arbustivas, sem a ocorrência de árvores na paisagem;(d) agricultura - área destinada ao cultivo, principalmente culturas anuais, como soja, milho e algodão;(e) pastagem – áreas de pastagens, destinadas a criação de gado, campo sujo e (f) áreas urbanas- áreas antropizadas, de infraestrutura urbana, construções, vias de acesso e edifícios.

### 2.3 Testes Estatísticos

Os testes estatísticos utilizados neste estudo estão descritos nas seções abaixo, o nível de significância  $\alpha = 0.05$ , ou seja, 5% de probabilidade foi adotado para todos os três métodos aplicados. Se a probabilidade ( $p$ ) do teste  $p > \alpha$ , o teste é estatisticamente não significativo. Todos os testes foram processados no *software R*.

#### 2.3.1 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK) (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um teste não paramétrico, utilizado neste estudo para detectar a presença ou ausência de tendências nas séries de precipitação, vazão e de uso e ocupação do solo. A hipótese nula ( $H_0$ ) infere a ausência de tendência ao longo do tempo, contra a Hipótese Alternativa ( $H_A$ ) de que existe tendências crescentes ou decrescentes.

É um teste bastante difundido na literatura, bem utilizado para análise de séries hidrometeorológicas (AHMAD et al., 2015; MUDBHATKAL et al., 2017; KARMESHU, 2012; ALIFUJIANG et al., 2021) sendo recomendado pela *World Meteorological Organization* para detecção de tendências de longo prazo em séries naturais (LIANG et al., 2011).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (2)$$

Em que a série temporal  $x_i$  é proveniente de  $i = 1, 2, \dots, n - 1$  e  $x_k$  vindo de  $k = i + 1, \dots, n$ .

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} +1, & \theta > 0 \\ 0, & \theta = 0 \\ -1, & \theta < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$Z_c = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

$Z_c$  é o teste estatístico e quando  $|Z_c| > Z_{1-\alpha/2}$ , os quais  $Z_{1-\alpha/2}$  são as variáveis normais padronizadas e  $\alpha$  é o nível de significância para o teste,  $H_0$  será rejeitado. A magnitude da tendência é descrita a seguir:

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_i - x_j}{i - j} \right), \forall j < i \quad (5)$$

Em que  $1 < j < i < n$ . O valor positivo de  $\beta$  indica tendência crescente, enquanto que valor de  $\beta$  negativo indica tendência decrescente.

### 2.3.2 Teste de Pettit

O teste de mudança Pettit (Pettit, 1979) utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney e serve para complementar os testes Mann-Kendall e Sen's slope. A inferência de Pettit é não paramétrica e verifica se duas amostras pertencem a uma mesma população. O teste estatístico contabiliza o número de vezes que a primeira amostra excede a segunda, portanto, o resultado do teste é o que define que duas amostras são estatisticamente diferentes. Assim, este teste foi utilizado com o objetivo de identificar pontos de mudanças nas séries históricas de vazão, precipitação e de uso e ocupação do solo. A hipótese nula do teste de Pettit ( $H_0$ ) admite ausência de um ponto de mudança nas séries históricas enquanto que a hipótese alternativa admite a presença.

Este ponto arbitrário é dado pelas equações:

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (6)$$

Em que:

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (7)$$

Em que:

$$\text{sgn}(X) = \begin{cases} 1 & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ -1 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (8)$$



Sendo assim, o teste estatístico é calculado para valores de  $1 \leq t \leq T$ , e a estatística  $KT$  do teste é o máximo valor absoluto de  $Ut$ ,  $T$ . O teste reporta assim, a presença ou ausência de duas amostras em uma mesma população. O que a indica a localização na série temporal do ponto de mudança (PENEIRO e FERREIRA, 2014). Ao reportar ausência de mudança a hipótese é nula.

O valor crítico a ser adotado é dado pela equação abaixo:

$$P \cong 2 \exp\left(\frac{-6K_T^2}{T^3+T^2}\right) \quad (9)$$

Em que: Onde  $P$  é o nível de significância;  $KT$  é o valor crítico;  $T$  é o número de anos da série histórica.

### 2.3.3 Teste de Rho Spearman

O teste Rho Spearman também conhecido como coeficiente de Spearman ( $\rho$  ou Rho) também é um teste não paramétrico, muito empregado para avaliar a correlação entre duas variáveis quantitativas (ZHANG et al., 2015). Neste teste, a proposição baseia-se em que os dados das séries temporais são independentes e igualmente distribuídos, ou seja, reporta nenhuma existência de tendência ao longo do tempo - hipótese nula ( $H_0$ ) em contrapartida, a hipótese alternativa ( $H_A$ ) aponta tendências crescentes ou decrescentes na série (Semih e Sönmez 2018).

Os resultados estarão sempre entre 1 e -1. Valor positivo de rho sugere uma tendência crescente da série enquanto que o valor negativo sugere uma tendência negativa. Neste estudo, a variável utilizada como parâmetro para a correlação foi a vazão, em que se admitiu o valor 1 para este dado, que foi usado na relação uso do solo x vazão e precipitação x vazão. As variáveis de uso e ocupação do solo e precipitação podem variar de forma negativa ou positiva, valores negativos de qualquer uma dessas variáveis indicam impacto negativo na vazão, enquanto que valores positivos indicam que impactaram de forma crescente na vazão.

### 2.3.4 Estimador Sen Slope

O teste de Mann-Kendall embora seja eficaz na detecção de tendências em séries hidrometeorológicas, não representa a magnitude da tendência (Saleih et al., 2019, Moreira e Naghettini, 2016). Sendo assim, o modelo proposto por Sen (1968) foi utilizado neste estudo como auxílio ao teste Mann-Kendall para estimar a inclinação ou taxa de mudança e é descrita pela equação 12:

$$Q_{ij} = \left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right), \text{ com } i < j \quad (12)$$

Em que:  $X_i$  e  $X_j$  são os valores das variáveis nos anos  $i$  e  $j$  em questão

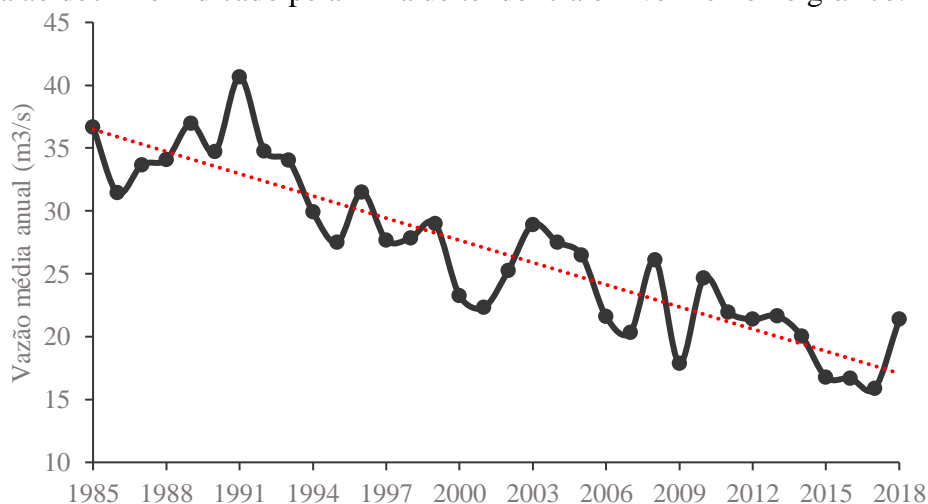
Os valores de  $Q$  variam positivamente ou negativamente, valores positivos indicam a magnitude da tendência crescente, ou seja, as mudanças variaram de forma crescente e o indicador Sen Slope é o valor desta taxa de variação, enquanto valores negativos, representam a magnitude da tendência decrescente. O estimador de declive Sen, é a mediana dos valores  $N$  de  $Q_{ij}$  (Tao et al., 2014). O teste não paramétrico de Sen Slope aplicado neste estudo, infere que a hipótese nula ( $H_0$ ) afirma a ausência da taxa de

variação de tendência crescente ou decrescente nas séries hidroclimáticas, enquanto a hipótese alternativa infere a taxa de variação na presença de tendências nas séries.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Tendência na série de vazão média anual

A série histórica de vazões médias anuais ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) do afluyente Rio Grande do período deste estudo está apresentada na Figura 2. Em análise ao gráfico é possível perceber uma possível tendência decrescente nos dados de vazão, sendo os menores valores de vazão detectados nos últimos anos. Este comportamento sinaliza possível não estacionariedade na série histórica de vazão devido as alterações bruscas indicando forte tendência ao declínio indicado pela linha de tendência em vermelho no gráfico.



**Figura 2.** Tendência de decaimento da vazão média anual para a estação de monitoramento Sítio Grande.

Os resultados dos testes estatísticos para análise da estacionariedade estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Resultados das análises dos testes de Pettit change, Mann – Kendall e Rho Spheraman para dados anuais de uso e ocupação do solo, precipitação e vazão.

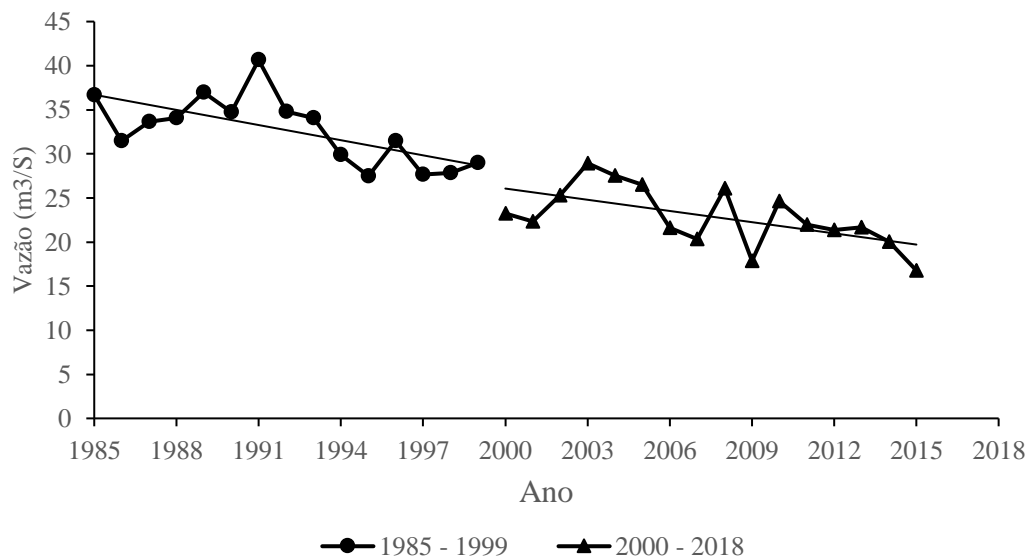
Parâmetro	Ano de Mudança Pettit	$p$ para ponto de mudança	Mann–Kendall			Spearman	
			$\tau$	$p$	$Sen\ Slope$	$\rho$	$p$
Vazão	1999	2.288e-05	-0.74	7.612e-10	-0.59	1	1
Precipitação	2011	0.1049	-0.27	0.02074	-11.74	-0.44	0.07
Agricultura	2001	8.356e-06	0.96	9.369e-16	51.69	-0.91	8.109e-14
Pastagem	1998	1.786e-05	0.84	2.113e-12	5.132	-0.90	3.697e-13
Áreas Urbanas	1999	1.175e-05	0.82	8.075e-10	0.0008	-0.88	2.259e-12
Floresta	2002	9.102e-06	-0.76	2.698e-10	-1.48	0.81	3.018e-09
Savana	2002	0.0001203	-0.89	1.242e-13	-24.87	0.78	4.311e-08
Campo	2001	8.356e-06	-0.96	1.517e-15	-31.52	0.92	1.367e-14

Os resultados do teste de Mann-Kendall aplicados a vazão apresentaram significância a 5% de probabilidade. A hipótese nula foi rejeitada e a série não pode ser

considerada estacionária. O valor de tau (-0.74) infere uma tendência decrescente na série fluviométrica que é confirmada pela magnitude do declínio no teste *Sen Slope* (-0.59).

### 3.1.2 Teste de Pettit

Após a identificação de tendência decrescente na série de vazão, foi aplicado o teste de Pettit para detectar o ponto mudança da série histórica dos dados fluviométricos. O teste apresentou significância a 5% de probabilidade e indica o ponto de mudança dentro da série o ano de 1999. De acordo com os resultados é possível verificar dois comportamentos hidrológicos distintos (Figura 3).



**Figura 3.** Ponto de mudança na vazão média anual da seção de monitoramento Sítio Grande.

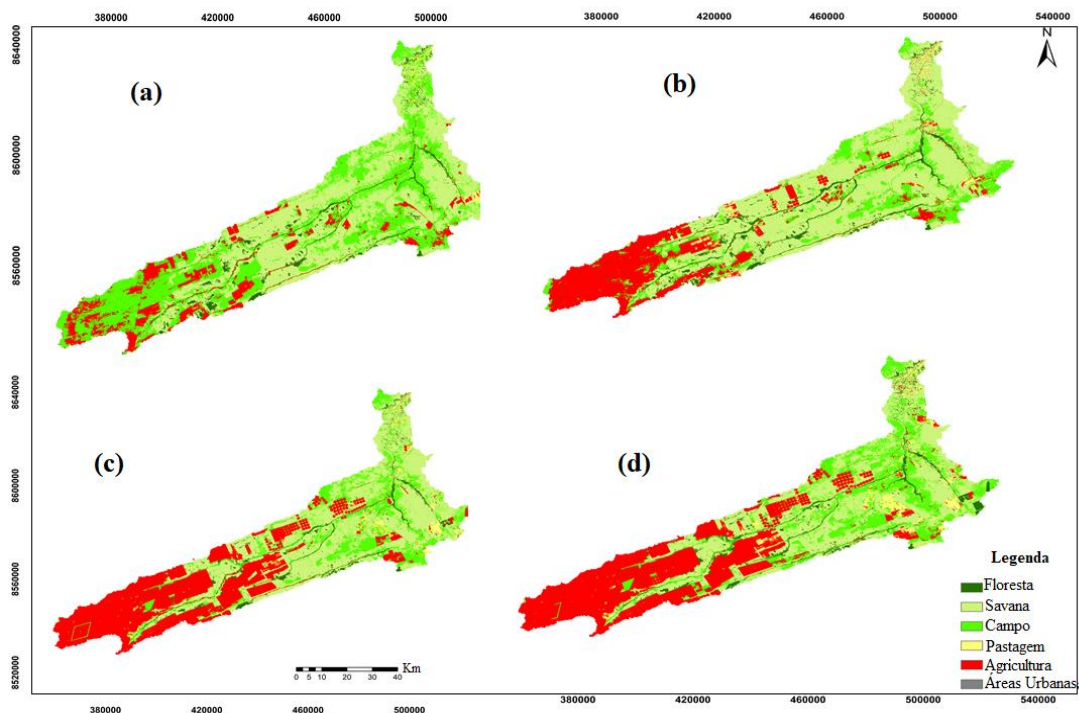
Após a separação pelo teste de Pettit, observa-se que a vazão média anual era de  $32.69 \text{ m}^3/\text{s}$  para o período 1985-1999 e no período 2000-2018 passa a ser  $22.11 \text{ m}^3/\text{s}$  uma redução de 67.63% na vazão média anual.

A tendência negativa na redução da vazão estatisticamente comprovada no teste MK e os conflitos que emergem na área reforçam a necessidade de investigar as possíveis causas nesta redução.

### 3.2 Mudanças no uso do solo

Estudos indicam que um dos principais fatores que podem levar a não estacionariedade em séries hidrológicas são as mudanças no uso e ocupação do solo (DEB et al. 2019; BAYAZIT, 2015).

Os resultados das análises da variação espacial-temporal do uso e ocupação do solo no afluente do Rio Grande (Figura 4), culminaram em uma considerável alteração da paisagem nos últimos 34 anos de estudo.



**Figura 4.** Mapa de evolução temporal do uso e ocupação do solo da sub bacia do Rio Grande. (a) Período de 1990 (b) Período de 2000 (c) Período de 2015 (d) período de 2018

Entre o período inicial 1985 das análises e o final 2018, houve um acréscimo de 635.86% das áreas antropizadas (pastagem, agricultura e áreas urbanas). As mudanças e os percentuais são descritos na Tabela 3. O crescimento acelerado na região, principalmente das áreas agrícolas, foi impulsionado por políticas públicas, entre o final da década de 80 e início dos anos 90, o governo federal e estadual viabilizaram a agricultura de forma extensiva na região, através da concessão de terras propensas a agricultura de baixo custo, tornando-a promissora do ponto de vista econômico e atrativo para agricultores de todo o país (OLIVEIRA e VIERA, 2018)

Essa imigração ocorreu não somente na região oeste da Bahia, mas concomitantemente nas região centro-oeste do país, a qual foi lócus para expansão da agricultura e criação de uma fronteira agrícola no país, conhecida como MATOPIBA – acrônimo para as iniciais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Considerado por muitos como novo nordeste mecanizado (REIS et al., 2020).

As áreas destinadas a agricultura aumentaram de 3.95% (62.99 km<sup>2</sup>) em 1985 para 33.56% (232.24 km<sup>2</sup>) em 2018 e somam uma mudança de 750.34% do total da evolução das áreas agrícolas. A segunda classe detentora das maiores mudanças foi a classe de pastagem (de 62.99 km<sup>2</sup> - 1.23% em 1985, para 232.24 km<sup>2</sup> - 4.54% em 2018). A menor magnitude das mudanças de áreas pastagens em relação as áreas agrícolas podem ser justificadas pela mudança econômica no oeste baiano, inicialmente fundada em agropecuária extensiva e que foi gradativamente alterada para agricultura mecanizada (SANTOS et al. 2018)

As áreas urbanas cresceram 0.004% o que representa pequena evolução, definindo a região como estritamente agrícola. Quanto as áreas naturais, todas as mudanças sinalizaram redução. As formações campestres são a classe que detém menor redução da área, englobam três tipos fitofisionômicos principais: o Campo Sujo, o Campo Limpo e

o Campo Rupestre, estas formações não apresentam dossel formado, e poucos substratos herbáceos-arbustivo, o que facilita a transformação dessas áreas em campos agrícolas, sem muitas restrições legais por não se tratar de uma área de floresta densa.

Ainda assim, as áreas com formações naturais mais densas florestas e formações savânicas sofreram reduções só que em menores magnitudes, (-22.29% e 23.17% respectivamente).

**Tabela 3.** Área de cada classe de uso do solo (km<sup>2</sup>) e porcentagem da área total da bacia.

Ano	Floresta	Savana	Campo	Pastagem	Agricultura	Áreas Urbanas
	Km <sup>2</sup>					
1985	205.29	3314.85	1328.98	62.99	201.84	0
1990	218.14	3212.3	1097.19	87.80	538.78	0
2000	181.23	3127.9	931.97	129.99	742.82	0.01
2015	157.68	2623.89	478.14	193.30	1660.84	0.09
2018	159.53	2546.88	458.75	232.24	1716.32	0.22
Porcentagem das Áreas (%)						
1985	4.01	64.82	25.99	1.23	3.95	0.000
1990	4.27	62.81	21.45	1.72	10.54	0.000
2000	3.54	61.16	18.22	2.54	14.53	0.000
2015	3.08	51.31	9.35	3.78	32.48	0.002
2018	3.12	49.80	8.97	4.54	33.56	0.004
Mudanças	-22.29	-23.17	-65.48	268.69	750.34	0.004

Os testes estatísticos foram aplicados para cada classe de uso e ocupação. A redução nas áreas florestadas corrobora com os resultados dos testes (Tabela 3). O teste MK sinaliza a tendência decrescente estatisticamente significativa, a magnitude dada pelo teste Sen slope indica padrões de desmatamento nas séries de floresta, campo e savana (-1.48,-24.87,-31.52, respectivamente) fato reforçado pela estatística de Rho Spearman

Segundo o Sen Slope, a maior magnitude de mudança é estatisticamente comprovada nas áreas agrícolas (51.69) a segunda maior magnitude é dada na classe de campo com tendência negativa (-31.52) que comprova a substituição principalmente de áreas de savana para outros tipos de uso do solo.

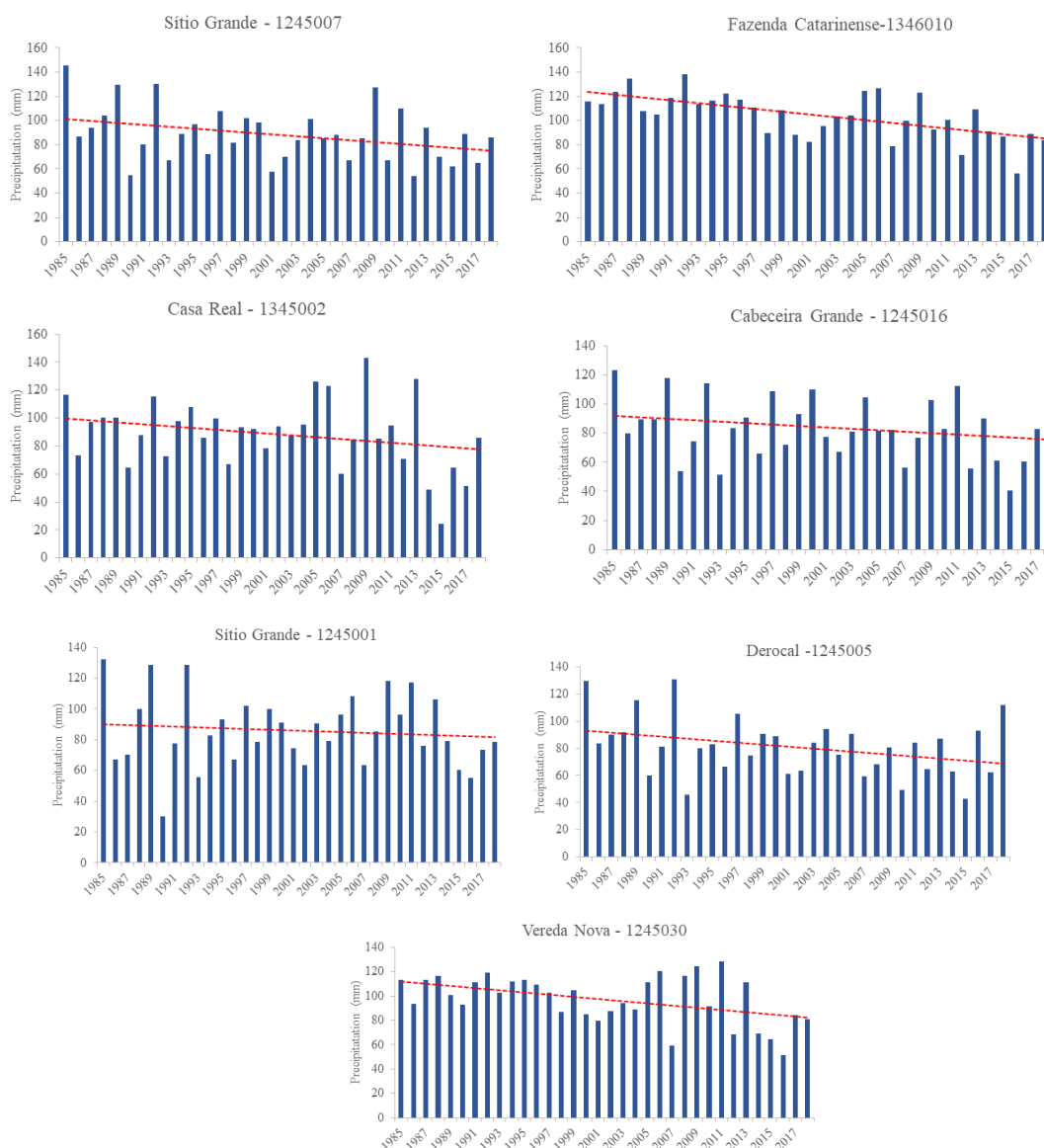
O teste de Pettit indica o ponto de mudança da vazão coincide com o ponto de mudança nas áreas urbanas (1999), assim como o ponto de mudança para as classes de floresta e savana (2002), agricultura e campo (2001), o que ratifica a magnitude das mudanças no uso e ocupação do solo, bem como na vazão.

Os impactos associados a bruscas mudanças na paisagem são relatados por estudos recentes (Doggart et al., 2020 e Acheampong et al., 2019) os quais destacam que o desmatamento e ascensão de áreas agrícolas afetam diretamente no regime hidrológico, com a utilização de águas subterrâneas para irrigação.

### 3.3 Tendências nas séries de precipitação

Os resultados do teste MK para os dados pluviométricos apresentaram tendência decrescente, significativa estatisticamente. Embora a hipótese nula seja rejeitada, com a inferência de que foi detectada tendência decrescente, possui pouca variação (tau = -0.27). A baixa magnitude é corroborada no teste Sen slope (-11.75).

A análise visual dos gráficos dispostos na Figura 5, evidencia o comportamento de declínio na média anual da série histórica de chuvas, em quatro estações: Vereda Nova (1245030), Casa Real (1345002), Sítio Grande (1245007) e Fazenda Catarinense (1346010), a reta de tendência em vermelho em declínio da direita para esquerda, indica comportamento de decréscimo embora sem muita inclinação.



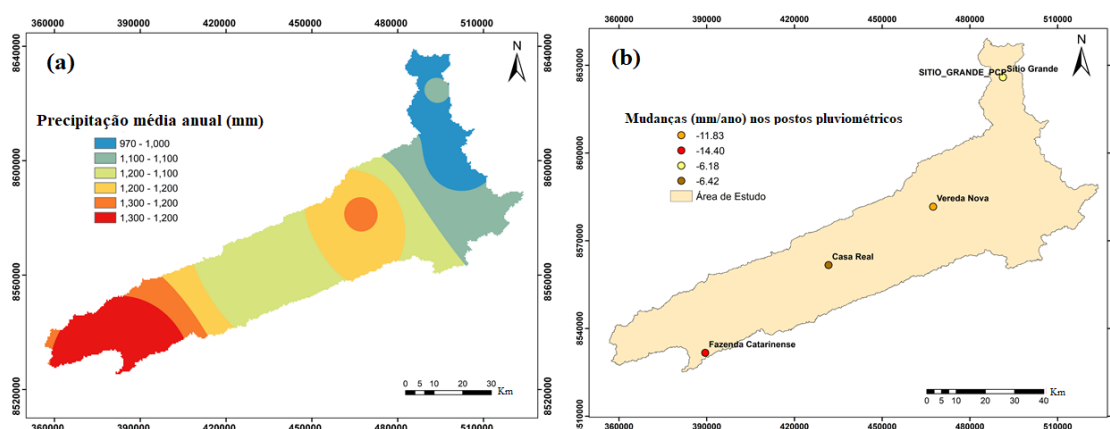
**Figura 5.** Precipitação média anual estudo para cada sub-bacia no período de 1985-2018.

A magnitude das mudanças por estação foi analisada separadamente. Os testes de MK e Sen slope foram aplicados para as 4 estações e estão descritos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Resultado da análise dos testes de Kendall tau e Sen's slope para precipitação

Estação	p-value	Sen slope
Casa Real	0.03	-6.42
Fazenda Catarinense	0.0001	-14.40
Sítio Grande 5007	0.04	-6.18
Vereda Nova	0.01	-11.83

Os testes foram aplicados para compreender o nível das mudanças nessas 4 estações, embora estatisticamente comprovada tendência a sua magnitude não chega a mudanças de 20 mm/ano. A distribuição espacial do regime pluviométrico foi evidenciada na Figura 6(a) e a magnitude das mudanças em (mm/ano) na Figura 6(b).



**Figura 6.a** Distribuição espacial da precipitação média anual (mm/ano) **b** tendências na precipitação média anual (mm/ano) para os períodos de 1985–2018 segundo o teste MK e Sen Slope.

A média da pluviometria na sub bacia do Rio Grande varia de 970 mm/ano a 1200 mm/ano e as tendências de mudanças foram detectadas ao longo de toda bacia, desde a cabeceira ao exutório, sendo a maior mudança na região de cabeceira (-14.40 mm/ano).

### 3.4 Análise de Correlação entre as variáveis vazão, uso e ocupação do solo e vazão

Os resultados do teste de Rho Spearman apresentaram alta correlação entre as variáveis uso e ocupação do solo e vazão: acima de 73%, com exceção da variável precipitação que apresentou baixa correlação (-0.44).

As áreas antropizadas por agricultura, pastagem e infraestrutura urbana apresentaram correlação negativa -0.91,-0.90,-0.88, respectivamente para Spearman Rho e 0.96,0.84,0.82, para MK, o que significa alta correspondência com o declínio na vazão, enquanto que as áreas naturais apresentaram 0.81,0.78,0.92, SR e -0.76,-0.89,-0.96 MK para floresta, savana e campos, respectivamente.

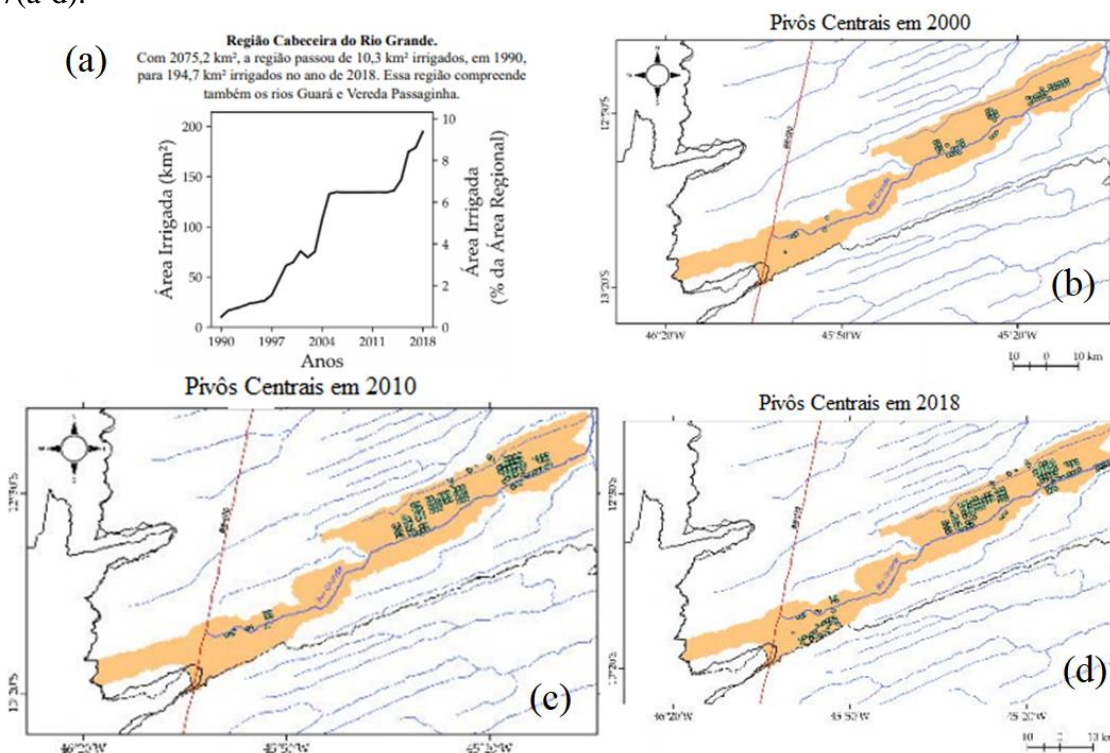
A baixa correlação pelo teste de Spearman Rho entre os dados de vazão e pluviométricos, mesmo que exista tendência negativa, indica que o declínio das vazões não pode ser explicado exclusivamente pelo declínio na lâmina precipitada.

A correspondência entre ascensão de áreas agrícolas e a diminuição na vazão, sem a detecção de mudanças no comportamento no regime de chuvas também foi relatado por Ferreira et al. (2020) para a bacia hidrográfica do rio Guanhões, situada em Minas Gerais, inserida no bioma Cerrado, para o período de 1985-2014. Os autores relatam que essas

variáveis foram independentes e apontam que a precipitação não exerceu impacto na vazão.

O impacto dessas mudanças no regime hídrico também é relatado por Silva (2019). A substituição de áreas florestadas por pastagens e áreas agrícolas, alteraram a composição físico química dos solos, tornando-o mais compacto, o que significa que água passa percorrer com mais dificuldade nas camadas do solo e conseqüentemente o lençol freático sofre rebaixamento, isto reduz de forma significativa a recarga dos rios por fluxo lateral e escoamento de base e ameaça principalmente as vazões mínimas em períodos secos.

Conforme o relatório técnico disponibilizado pela Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia -AIBA, no período de 1994 a 1998 a área irrigada na Bahia cresceu de 150.000 hectares para 209.000 hectares o que representa uma taxa média de crescimento de 10% ao ano. Em 1999 foram acrescentados 43.452 hectares de área irrigável. Na região da sub-bacia do Rio Grande, os acréscimos são dispostos na Figura 7(a-d).



**Figura 7.a** Gráfico de ascensão das áreas irrigáveis na Região Cabeceira do Rio Grande **b** Pivôs centrais em 2000 **c** Pivôs centrais em 2010 **d** Pivôs centrais em 2018. Fonte: AIBA adaptado pelo autor.

Em 1990 a região possuía 10,3 km<sup>2</sup> de áreas irrigadas para 194,7 km<sup>2</sup> em 2018. Um aumento de 1790,29%.

Sendo assim, a redução na vazão está relacionada ao aumento da captação para atendimento da agricultura irrigada, que por sua vez, teve grande desenvolvimento na região ao longo do período considerado neste estudo.

#### 4. Conclusão

Os testes estatísticos inferiram que a vazão média anual da estação fluviométrica Sítio Grande situada no afluente do Rio Grande, não é estacionária, e esta possui tendência negativa.



O ponto de mudança no comportamento da série de vazão foi o ano de 1999, ponto de ruptura também para as áreas urbanas.

Na série pluviométrica foi detectada tendências de declínio. Apenas quatro estações pluviométricas apresentaram queda e estão situadas ao longo da bacia, as alterações não chegam a 20mm/ano.

O teste de Rho Spearman corrobora a baixa correlação entre a vazão média anual e os dados de precipitação e a forte correlação com as alterações na paisagem. As áreas agrícolas apresentaram maior correspondência com o declínio da vazão, o que permite inferir que as alterações no regime de vazões é consequência do aumento da demanda hídrica para atendimento das áreas irrigáveis da região ao longo dos 34 anos analisados na sub-bacia do Rio Grande.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de 001.

## REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, E. O.; MACGREGOR, C. J.; SLOAN, S.; SAYER, J. Deforestation is driven by agricultural expansion in Ghana's forest reserves. **Scientific African**, v. 5, p. e00146, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00146>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Séries Históricas. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 15 de jul. de 2020

Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA). Atlas do Oeste da Bahia. Disponível em: <<https://aiba.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Atlas-Completo.pdf>>. Acesso em : 15 de jul de 2021

AHMAD, I., TANG, D., WANG, T., WANG, M., WAGAN, B. Precipitation trends over time using Mann-Kendall and spearman's rho tests in swat river basin, Pakistan. **Advances in Meteorology**, v. 2015, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/431860>

ALIFUJIANG, Y.; ABUDUWAILI, J.; GE, Y. Trend Analysis of Annual and Seasonal River Runoff by Using Innovative Trend Analysis with Significant Test. **Water**, v. 13, n. 1, p. 95, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13010095>

AMORIM JUNIOR, V.; de LIMA, O. A.L. Avaliação hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas-BA usando resistividade e polarização elétrica induzida. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 2, p. 117-129, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000200002>

BAYAZIT, M. Nonstationarity of hydrological records and recent trends in trend analysis: a state-of-the-art review. **Environmental Processes**, v. 2, n. 3, p. 527-542, 2015. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0081-7>

CHAGAS, V. B. P.; CHAFFE, P. L. B. The Role of Land Cover in the Propagation of Rainfall Into Streamflow Trends. **Water Resources Research**, v. 54, p. 5986–6004, 2018. <https://doi.org/10.1029/2018WR022947>

DEB, P.; KIEM, A. S.; WILLGOOSE, G. Mechanisms influencing non-stationarity in rainfall-runoff relationships in southeast Australia. **Journal of Hydrology**, v. 571, p. 749-764, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.025>

DIAZ, C. C. F.; DOS SANTOS PEREIRA, J. A.; NOBREGA, R.S. Comparação de dados estimados pelo método da ponderação regional (PR) e dados estimados pelo trmm para o preenchimento de falhas de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.46911>

de MEDEIROS, I. C.; da Costa Silva, J. F. C. B., Silva, R. M.,; Santos, C. A. G. Run-off-erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 7, p. 3035-3048, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3>

DOGGART, N.; MORGAN-BROWN, T.; LYIMO, E.; MBILINYI, B.; MESHACK, C. K.; SALLU, S. M.; SPRACKLEN, D. V. Agriculture is the main driver of deforestation in Tanzania. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 3, p. 034028, 2020. <https://doi.org/10.25412/iop.11395185.v1>

FRANÇA, L.M; DIAZ, C. C. F., dos REIS, J. V. Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2377-2391, 2019. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.6.p2377-2391>

FERREIRA, F. L. V.; RODRIGUES L.N.; ALMEIDA L.T.; TEIXEIRA D.B. Tendência em séries hidrológicas e de mudanças no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guanhões, Minas Gerais. **Brazilian Journal Animal and Environmental Research**, Curitiba, v. 3, n. 2, p.447-459, 2020. DOI: 10.34188/bjaerv3n2-004

FISTAROL, P. H. B.; SANTOS, J.Y. G. Implicações das alterações no uso e ocupação do solo nas perdas de solo da bacia do Rio de Ondas, Estado da Bahia. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v. 14, n. 1, p. 81-103, 2020 [10.22478/ufpb.1982-3878.0vn0.51691](https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.0vn0.51691)

GONÇALVES, R. D.; ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. Evolução da contribuição do Sistema Aquífero Urucuia para o Rio São Francisco, Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 1, p. 1-10, 2018. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i1.28916>

HU, Z., ZHOU, Q., CHEN, X., QIAN, C., WANG, S., LI, J. Variations and changes of annual precipitation in Central Asia over the last century. **International Journal of Climatology**, v.37, p. 157-170, 2017. <https://doi.org/10.1002/joc.4988>.

JEHANZAIB, M., SHAH, S. A., YOO, J., KIM, T. W. Investigating the impacts of climate change and human activities on hydrological drought using non-stationary approaches. **Journal of Hydrology**, v. 588, p. 125-152, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125052>

KARMESHU, N. Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall test—a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States. Dissertação (Master of Environmental Studies) - Department of Earth & Environmental Science, University of Pennsylvania. 33 p., 2012.

KENDALL, M. Multivariate analysis. Charles Griffin, 1975

LIANG, L.; LI, L.; LIU, Q. Precipitation variability in Northeast China from 1961 to 2008. *Journal of Hydrology*, v.404, n.1-2, p.6776, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.04.020>

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, p. 245-259, 1945.

MAPBIOMAS, Projeto. Coleção v4. Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. 2018. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>> Acesso em: 20 jan. 2020

MUDBHATKAL, A., RAIKAR, R. V., VENKATESH, B., MAHESHA, A. Impacts of climate change on varied river-flow regimes of southern India. *Journal of hydrologic engineering*, v. 22, n. 9, p. 05017017, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001556)

MILLY, P. C. D.; BETANCOURT, J., FALKENMARK, M., HIRSCH, R. M., KUNDZEWICZ, Z. W., LETTENMAIER, D. P., STOUFFER, R. J. Stationarity is dead: Whither water management?. *Earth*, v. 4, p. 20, 2008. DOI: 10.1126/science.1151915

MIRDASHTVAN, M., NAJAFINEJAD, A., MALEKIAN, A., SA'DODDIN, A. Regional analysis of trend and non-stationarity of hydro-climatic time series in the Southern Alborz Region, Iran. *International Journal of Climatology*, v. 40, n. 4, p. 1979-1991, 2019. DOI: 10.1002 / joc.6313

MOREIRA, J. G. do V.; NAGHETTINI, M. Detecção de tendências monotônicas temporais e relação com erros dos tipos I e II: estudo de caso em séries de precipitações diárias máximas anuais do estado do Acre. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, p. 394-402, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420140155>

NAGHETTINI, M.; A. PINTO, E. J. de. “**Hidrologia estatística**”. CPRM, 2007. Belo Horizonte.

NASCIMENTO, R. Q.s; dos SANTOS, J. Y. G. Análise das alterações ocorridas no uso e ocupação do solo da bacia do Rio das Fêmeas, estado da Bahia. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. *Anais... Araras: Galoá proceedings*, 2019. v. 17. p. 1-4.

OLIVEIRA, M. N.; VIEIRA, O. H. P. Agronegócio no Oeste Baiano e os principais municípios na dinâmica da produção de grãos: uma análise shift-share com base na produção de soja, milho e algodão para os anos de 2001 e 2010. In: SEMANA DA ECONOMIA: Políticas públicas para o desenvolvimento, VIII, 2018, Ilhéus. *Anais... Ilhéus: Editus*, 2018.

PENEREIRO, J.C.; FERREIRA, D. L. Testes Estatísticos e questões ambientais no ensino de engenharia: Uma aplicação à climatologia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 31, n. 2, 2014. <http://dx.doi.org/10.15552/2236-0158/abenge.v31n2p25-44>

PETTIT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.

POORHEYDARI, S.; AHMADI, H.; MOEINI, A.; FEIZNIA, S.; JAFARI, M. Efficiency of SWAT model for determining hydrological responses of marl formation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02688-y>

POUSA, R.; COSTA, M. H.; PIMENTA, F. M.; FONTES, V. C.; BRITO, V. F. A. D.; CASTRO, M. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2019. <https://doi.org/10.3390/w1105093>

REIS, L.C; SILVA, C.M.; BEZERRA, B.G.; SPYRIDES, M.H.C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1425-1441, 2020. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1425-1441>

ROSIN, C.; AMORIM, R.S. S.; MORAIS, T. S. T. Análise de tendências hidrológicas na bacia do rio das Mortes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 99-998, 2015. DOI: 10.21168/rbrh.v20n4.p991-998

SALEHI, S., DEGHANI, M., MORTAZAVI, S. M., SINGH, V. P. Trend analysis and change point detection of seasonal and annual precipitation in Iran. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 1, p. 308-323, 2019. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0564-3>

SANTOS, C.A. P.; SANO, E.E.; SANTOS, P. S. Fronteira Agrícola e a Dinâmica de uso e Ocupação dos solos no Oeste da Bahia. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 28, p. 17-32, 2018. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v12i28.4385>

SEMIH, K. A. L. E.; SÖNMEZ, A. Y. Trend analysis of mean monthly, seasonally and annual streamflow of Daday Stream in Kastamonu, Turkey. **Marine Science and Technology Bulletin**, v. 7, n. 2, p. 60-67, 2018. DOI: 10.33714/masteb.418234

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American statistical association**, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. DOI: 10.1080/01621459.1968.10480934

SILVA, F.B. **Modelagem hidrológica na bacia do Rio Paracatu: avaliação do modelo WEAP como ferramenta de planejamento e gestão dos recursos hídricos**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 108 p., 2019

TAMAGNONE, P., MASSAZZA, G., PEZZOLI, A., ROSSO, M. Hydrology of the Sirba river: Updating and analysis of discharge time series. **Water**, v. 11, n. 1, p. 156, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11010156>

TAO, H.; FRAEDERICH, K.; MENZ, C.; ZHAI, J. Trends in extreme temperature indices in the Poyang Lake Basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, p. 1543-1553, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0863-x>  
ZHANG, Y.; CAI, W.; CHEN, Q.; YAO, Y.; LIU, K. Analysis of Changes in Precipitation and Drought in Aksu River Basin, Northwest China. **Advances in Meteorology**, v. 2015, p. 15, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/215840>

## CAPÍTULO 2

### **Avaliação das mudanças de uso e ocupação do solo no regime hidrológico de uma bacia no Oeste da Bahia**

Lorena Souza da Silva

Felizardo Adenilson Rocha

Carlos Amilton Silva Santos

Lorena Lima Ferraz

Lucas Farias Sousa

## **Avaliação das mudanças de uso e ocupação do solo no regime hidrológico de uma bacia no Oeste da Bahia**

**Resumo** A região Oeste da Bahia é umas das fronteiras agrícolas mais ativa do país, onde áreas de cobertura vegetal foram substituídas por áreas agrícolas, tanto de sequeiro quanto irrigadas. Em decorrência dessas alterações, conflitos pelo uso da água têm sido registrados em toda região, particularmente nesta região de estudo que corresponde ao ponto de medição de vazão Sítio Grande, que representa uma sub bacia do Rio Grande. Embora este cenário de conflitos e indisponibilidade hídrica sejam atribuídas as ações antrópicas, fatores como mudanças climáticas podem estar associados à diminuição da disponibilidade de água e constitui o principal objetivo deste trabalho que foi avaliar as respostas hidrológicas face as mudanças climáticas e de uso e ocupação do solo utilizando o modelo hidrológico SWAT. O modelo foi calibrado e validado para 3 períodos distintos (1986-1990; 1991-1995), (1996-2000; 2001-2005), (2006-2010; 2011-2015), respectivamente. Estes períodos foram divididos com o objetivo de retratar o mais próximo possível a vazão observada da bacia hidrográfica, visto que ao longo dos anos o uso e ocupação do solo foi alterado. As simulações foram baseadas no “fixing-changing method”, onde os três períodos foram simulados para três mapas distintos de uso e ocupação do solo (1990, 2005 e 2015), fixando o mapa de uso e ocupação do solo e alterando o período de simulação. Os resultados mostram que o SWAT apresentou desempenho satisfatório para analisar os três períodos estudados em escala mensal. Todas as composições florestais do bioma cerrado nesta sub-bacia tiveram suas áreas reduzidas em 27,47%, entre o período de 1990 e 2015, enquanto que as áreas agrícolas cresceram 192,48%. Os cenários de alteração do uso do solo indicam uma redução na vazão. Se o uso e ocupação do solo do período inicial do estudo (1990) permanecesse sem alterações e a vegetação natural fosse mantida as vazões Q90, máxima, média e mínima seriam maiores do que cenário atual.

**Palavras Chave:** modelagem hidrológica, SWAT, cerrado, impactos de paisagem

### **1. Introdução**

O gerenciamento dos recursos hídricos é uma área de constante interesse e discussão dos governantes, sempre presente na literatura e nos debates populares. Discussão esta que deve ocorrer no âmbito de bacias hidrográficas, preconizada pela Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei Federal nº 9.433/97) como unidade de planejamento e gestão hídrica do Brasil, o que requer a compreensão do comportamento hidrológico da bacia, identificando e quantificando os impactos das ações antrópicas, mudanças climáticas e efeitos sociais sobre o seu uso.

A mudança no uso e ocupação do solo está entre os fatores mais relevantes para alteração no comportamento hidrológico da bacia (Medeiros et al., 2019; Poorheydar et al., 2020), visto que estas mudanças modificam o escoamento superficial, alterando componentes hidrológicos, tais como, recarga de aquíferos, infiltração, interceptação e evapotranspiração (Mao & Cherkauer, 2009; Sajikumar & Remya, 2015).

Em países em desenvolvimento como o Brasil, cuja população se encontra em acelerado crescimento populacional e depende principalmente da economia agrícola, as mudanças no uso do solo são generalizadas (Tufa et al. 2014) e registram a maiores perdas

líquidas de florestas para terras agrícolas, desde 1990 (FAO, 1990). Este fato ocorre na região Oeste do estado Bahia, cuja área é abordada neste trabalho, em decorrência da substituição de expansíveis áreas do bioma Cerrado em terras agrícolas com uso intenso de irrigação, o que vêm causando conflitos de oferta e demanda de água, além de ser uma região afetada pelas mudanças climáticas (Pousa et al., 2019).

A região Oeste da Bahia é uma das fronteiras agrícolas mais ativas do país. Segundo o IBGE (2018), a Bahia é o estado com maior área cultivada de grãos do Nordeste. Em 2006 a área de cultivo atingiu 1 milhão de hectares, principalmente de soja, milho e algodão. Outro aspecto de destaque para discussões nessa região é o elevado crescimento de áreas irrigáveis, que passou de 9 pivôs centrais em 1985 a 1550 pivôs centrais em 2016 (ANA, 2020).

Embora este cenário de conflito e indisponibilidade hídrica sejam atribuídas as ações antrópicas, fatores como mudanças climáticas e regime de chuvas podem estar associados à diminuição da disponibilidade de água, que podem ser entendidas através da modelagem hidrológica. Para avaliar essas questões, o modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT), é uma ferramenta promissora, que permite a obtenção de conhecimentos mais profundos e adequados acerca da qualidade da água, balanço hídrico e produção de sedimentos. Estudos aplicados na região Nordeste com uso do modelo SWAT ainda são incipientes e geralmente exploram as funcionalidades do modelo para o cálculo do balanço hídrico e produção de sedimentos em cenários futuros. A sua utilização para avaliar as respostas hidrológicas em séries temporais passadas ainda não foram registradas, bem como a aplicabilidade do método de fixação de variáveis climáticas e alteração do uso do solo.

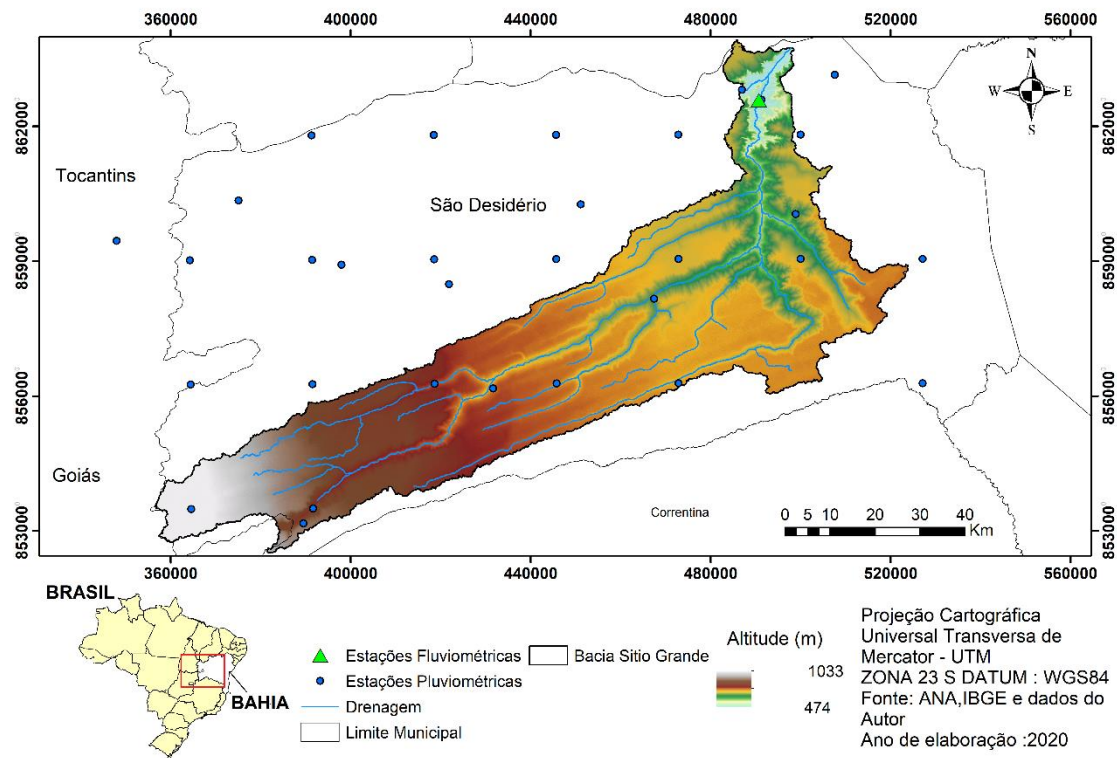
Neste sentido esta pesquisa visa analisar a calibração e a validação do modelo em diferentes séries temporais do uso e ocupação do solo (1990, 2000 e 2015) para avaliar os impactos destas alterações no regime de vazões do exutório Sítio Grande, abordando as seguintes questões: (a) se caso o cenário de maior conservação da vegetação fosse mantido no período correspondente a 36 anos, qual o efeito causaria no fluxo superficial? (b) Se o período simulado (1980-2015) permanecesse constante e apenas o uso e ocupação do solo fosse alterado (mudanças que ocorreram nos mapas base) qual o efeito causaria no volume hídrico disponível? Estes cenários hipotéticos foram elaborados para entender qual agente propulsor causou e/ou causariam maiores impactos na vazão do afluente do Rio Grande e constitui o principal objetivo deste trabalho.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Área de Estudo**

O estudo foi desenvolvido no afluente do Rio Grande (Figura 1) na área de drenagem a montante da estação Sítio Grande (46415000). O Rio Grande é o último grande tributário da margem esquerda do Rio São Francisco e um dos principais contribuintes para sua manutenção nos períodos de estiagem, abrange 33,73% do município de São Desidério, o qual, segundo o IBGE (2019) possui área de 15.156 km<sup>2</sup> e 33.742 habitantes.





**Figura 1.** Localização sub-bacia do Rio Grande, estações e hidrografia, oeste da Bahia.

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região classifica-se como Aw (tropical com chuvas de verão) com temperatura média anual de 22,3°C e umidade relativa do ar variando entre 45 e 79%.

O afluente do Rio Grande está inserido na formação geológica conhecida como Chapadão Urucuia. Suas rochas compõem um dos mais expressivos aquíferos livres do território brasileiro, com reservas permanentes estimadas em  $1,3 \times 10^3 \text{ km}^3$  e reguladoras em mais de  $20 \text{ km}^3$  anuais (Kiang & Silva, 2015). Toda região conhecida como “Chapadão da Urucuia” tem apresentado acentuada expansão agrícola sob os cultivos predominantes de soja, algodão, milho e café, o que representa um fator de grande importância em termos econômicos e sociais para o desenvolvimento da região e para sua população, que soma 30.583 habitantes, sendo 11.355 residentes na área urbana e 19.228 na zona rural.

## 2.2 Descrição do Modelo Swat

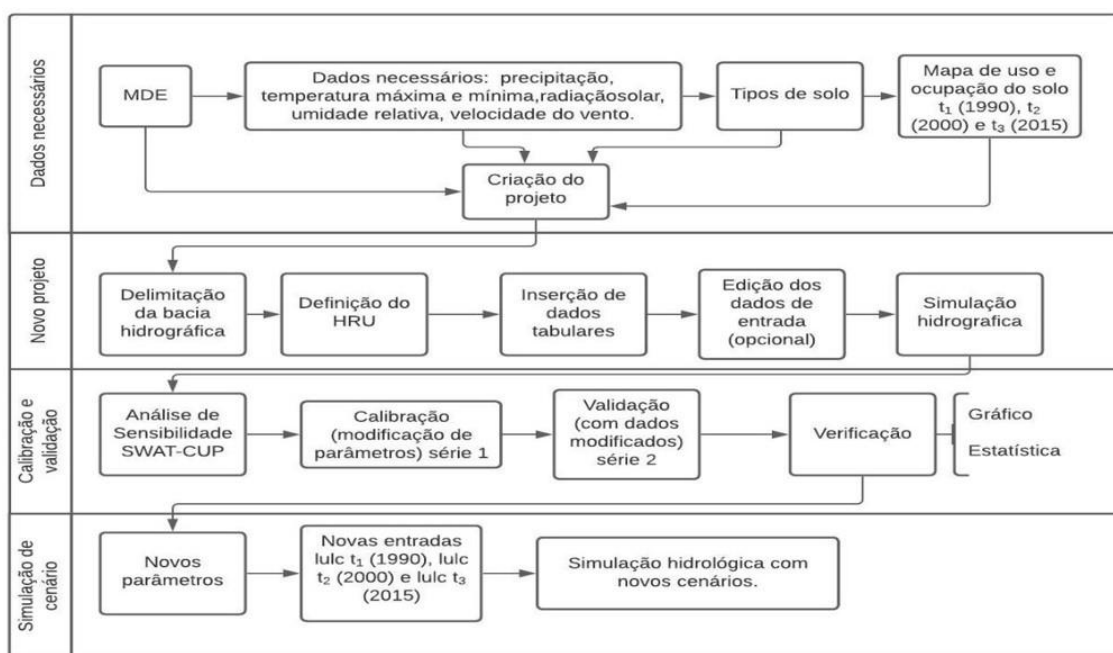
O SWAT (Soil and Water Assessment Tool) é modelo hidrológico semidistribuído e contínuo, que permite a simulação de processos físicos em escala de bacia hidrográfica, considerando os processos verticais (chuva, interceptação, evapotranspiração, infiltração, percolação e umidade do solo) e horizontal (escoamento superficial e subsuperficial). O ciclo hidrológico no SWAT é baseado no balanço hídrico da água (Nietsch *et al.* 2005), de acordo com a equação 1:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

Em que:  $SW_t$  é a lâmina final de água no solo, mm;  $SW_0(i)$  é a lâmina inicial de água no solo no dia  $i$ , mm;  $t$  é o tempo, dias;  $R_{day}(i)$  é a lâmina de chuva no dia  $i$ , mm;  $Q_{surf}(i)$  é a lâmina de escoamento superficial para o dia  $i$ , mm;  $Ea(i)$  é a lâmina de água evapotranspirada para o dia  $i$ , mm;  $W_{seep}(i)$  é a lâmina de água entrando nas zonas insaturada do solo no dia  $i$ , mm e  $Q_{gw}(i)$  é a parcela da vazão no canal oriunda do escoamento de base para o dia  $i$ , mm

### 2.3 Dados de entrada, calibração e Validação do Modelo

A estrutura conceitual e configuração do modelo SWAT estão descritas na Figura 2. Inicialmente, o modelo requer quatro tipos de dados de entrada: o modelo digital de elevação, variáveis climáticas (dados tabulares), tipos de solos e mapa de uso e ocupação do solo.



**Figura 2.** Fluxograma do modelo SWAT.

O modelo digital de elevação utilizado neste estudo foi obtido gratuitamente a partir da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020) com resolução espacial de 30m.

A base climatológica consiste em dados secundários, obtidos de séries históricas. Para as variáveis climáticas: temperatura máxima e mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiação solar ( $\text{Mj}/\text{m}^2$ ), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento ( $\text{m}/\text{s}$ ), foram utilizadas duas estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020).

Os dados de precipitação (mm) foram obtidos na plataforma Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA, 2020) a partir de 14 estações convencionais, e dados de chuva de 20 pontos estimados por sensores orbitais TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) disponibilizadas pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) vinculado à Empresa Brasileira de Agropecuária.

As séries históricas de precipitação e variáveis climáticas estendem-se ao período de 1980 a 2018, exceto para os dados estimados do Agritempo que perfazem uma série temporal de 2000 a 2018. Para o preenchimento de falhas das séries históricas, foi

utilizado o gerador climático *SWAT Weather Database* que tem por objetivo a elaboração de séries sintéticas com as mesmas características estatísticas da série histórica (Essenfelder, 2016). A avaliação do gerador climático pode ser consultada em da Silva (2020).

O mapa de tipos de solo também foi obtido através da plataforma online da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). A região tem preponderância para as classes de solos: Latossolo Vermelho Amarelo (80.77%), Cambissolo Háplico (0.50%), Gleissolo Háplico (16.80%) e Neossolo Quartzarênico (2.36%). Os parâmetros de solos necessários para alimentar o modelo foram obtidos a partir da revisão de literatura (Almeida, 2019; CUNHA *et al.* 2008)

Após a inserção dos dados de entrada, um novo projeto foi criado sendo a bacia hidrográfica e sub-bacias delimitadas, podendo estas serem alteradas conforme a necessidade do operador. Posteriormente, são criadas as Unidades de Respostas Hidrológicas (URH's) que correspondem as áreas homogêneas quanto aos tipos de solo, declividade e uso e ocupação do solo. Dentro das URH's são calculadas as variáveis separadamente e depois são somadas ao fluxo final em cada sub-bacia e então, no exutório (Martins *et al.* 2020). Foram delimitados neste estudo, 38 sub-bacias e 851, 930 e 946 unidades de respostas hidrológicas para os anos de 1990, 2000 e 2015, respectivamente.

Nesta etapa, os dados podem ser alterados e/ou refinados para obtenção de melhores resultados. Neste estudo, a base de solo foi alterada conforme revisão de literatura.

Devido ao grande número de parâmetros disponíveis, o passo que antecedeu a calibração e validação do modelo, consistiu na análise de sensibilidade. Para este passo, foi utilizado o programa SWATCUP, um *software* independente, elaborado para analisar as incertezas e parâmetros que exercem maior influência (Abbaspour *et al.* 2007). O método utilizado no foi o SUFI-2, de forma automática, através da ferramenta *Sensitivity Analysis* do SWATCUP, considerando uma análise de sensibilidade global com 8 parâmetros relacionados a escoamento superficial, recarga do aquífero, percolação e evapotranspiração.

Após a identificação dos parâmetros mais sensíveis, o modelo foi calibrado manualmente alterando cada fator individualmente com objetivo de obter uma escala de valores que mais se aproximam da realidade local. Este método baseou-se na proposição de Santos *et al.* (2019), que obteve bons resultados para calibração e validação do modelo SWAT. A cada alteração, os hidrogramas foram analisados e modificados até que o comportamento da curva de fluxo se ajustasse aos dados observados em campo, a fim de minimizar os desvios dos dados de entrada e saída do modelo. Para isto, foi utilizado o modelo MOHID *Statistics analyser*.

Os dados observados foram obtidos da plataforma digital Hidroweb da Agência Nacional das Águas (ANA) e correspondem aos dados diários de vazão da série temporal (1980-2015) da estação nomeada Sitio Grande, Código 46415000. Para o período de calibração e validação do modelo as séries temporais foram divididas conforme a descrição da Tabela 1.

O período de aquecimento dos dados refere-se aos testes iniciais para a estabilidade dos parâmetros e não são contabilizados nos procedimentos de calibração e validação. Neste estudo foram utilizados 6 anos de aquecimento.

**Tabela 1.** Divisão das séries para calibração e validação do modelo SWAT para sub bacia do Rio Grande.

Período de simulação	Aquecimento	Calibração	Validação
<b>1980-1995</b>	1980-1985	1986-1990	1991-1995
<b>1990-2005</b>	1990-1995	1996-2000	2001-2005
<b>1998-2015</b>	1998-2005	2006-2010	2011-2015

Para avaliação do desempenho do modelo foram utilizados os critérios de Nash e Sutcliffe (Equação 1), o percentual de viés (Equação 2) e o coeficiente de determinação- $R^2$  (Equação 3) e a classificação de desempenho proposta por Moriasi et al. (2015), conforme Tabela 2.

$$NSE = \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{o,m})^2} \right] \quad (2)$$

$$Pbias = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \right] \cdot 100 \quad (3)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{o,m})(Q_{s,i} - Q_{s,m})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{o,m})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{s,m})^2}} \right]^2 \quad (4)$$

**Tabela 2.** Critérios de avaliação de desempenho do modelo SWAT.

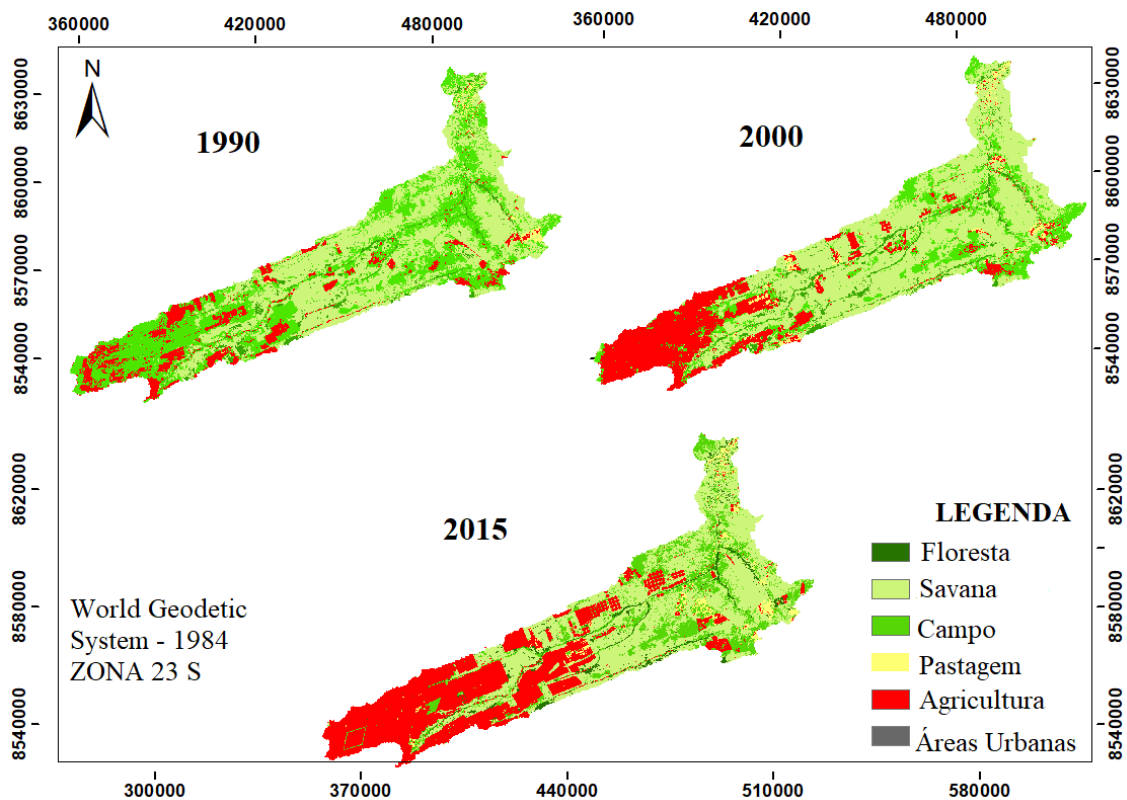
Coeficiente	Critério de Avaliação do Desempenho				
	Muito Bom	Bom	Satisfatório	Insatisfatório	Faixa de Variação
$R^2$	$R^2 > 0,85$	$0,75 < R^2 \leq 0,85$	$0,60 < R^2 \leq 0,75$	$R^2 \leq 0,60$	-1 a 1
NSE	$NSE > 0,80$	$0,70 < NSE \leq 0,80$	$0,50 < NSE \leq 0,70$	$NSE \leq 0,50$	$-\infty$ a 1.0
PBIAS (%)	$PBIAS < \pm 5$	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$PBIAS \geq \pm 15$	$-\infty$ a $\infty$

Fonte: Adaptado Moriasi *et al.* (2015)

Uma vez calibrado e validado, o modelo pode ser utilizado para simular diferentes cenários de uso da terra e projeções climáticas. Neste estudo, o principal objetivo é a simulação hidrológica da bacia hidrográfica utilizando diferentes mapas ao longo de 36 anos. Com a análise dos parâmetros mais sensíveis e calibração do modelo, o processo foi repetido em três cenários de uso e ocupação, incluindo em cada novo projeto um tipo de uso e ocupação e, portanto, nova faixa de valores para calibração dos dados.

#### 2.4 Cenários de Uso e Ocupação do Solo

Foram utilizados três mapas (Figura 3) para anos: 1990, 2000 e 2015 disponibilizados na plataforma online do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do solo no Brasil (Mapbiomas), coleção 4. A acurácia geral dos mapas utilizados é de 82,9%, a discordância de alocação 12,5% e a discordância de área 4,7% (Mapbiomas, 2020).



**Figura 3.** Mapas de uso e ocupação do solo da sub bacia do Rio Grande para os anos 1990,2000 e 2015.Fonte:Mapbiomas adaptado pelo autor (2020)

Os mapas do mapbiomas foram inseridos no ArcMap 10.5, recortados conforme as características morfométricas da bacia como área e perímetro. As classes de uso e ocupação foram reclassificadas em 5 categorias, definidas:(a) Formação Florestal FRSD, (b) Formação Savânica RNGB, (c) Formação Campestre RNGE, (d) Pastagem (PAST), (e) Agricultura (AGRR) e (f) Área urbana (URBN). As áreas de cada classe para os três períodos analisados estão expostas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de uso e ocupação do Solo e porcentagem de área.

Classe de Uso e Ocupação do solo	1990		2000		2015	
	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)	Área (km <sup>2</sup> )	(%)
FRSD	218.14	0.04	181.24	0.04	157.69	0.03
RNGB	2279.16	0.45	3127.90	0.61	2623.89	0.51
RNGE	1997.05	0.39	931.98	0.18	478.14	0.09
PAST	51.76	0.01	130.00	0.03	193.30	0.04
AGRR	567.84	0.11	742.83	0.15	1660.84	0.32
URBN	0.00	0.00	0.01	0.00 101%	0.09	0.0099%

## 2.5 Avaliação dos Cenários

Os mapas de 1990, 2000 e 2015 foram selecionados baseados na modificação do uso e ocupação do solo. Esses três períodos representam bem a ascensão da agricultura e diminuição das áreas de vegetação natural e, portanto, foram aplicados como cenário de conservação, modificação intermediárias e modificações extremas, principalmente no que se refere ao aumento das áreas agrícolas. Uma vez calibrado e validado, o modelo hidrológico foi aplicado para os três os mapas separadamente, de acordo com método proposto por Niraula et al. (2015) e Woldesbert (2016) conhecido como “fixing changing method”. Os autores sugerem que o modelo hidrológico seja calibrado espacialmente em três períodos de tempo (1980-1995; 1996-2005; 2006-2015) e três mapas de uso e ocupação do solo (1990,2000,2015). Cada mapa foi fixado e simulado em três períodos distintos, conforme a Tabela 4. Ao todo nove simulações foram realizadas e três períodos foram analisados para compreender os impactos no fluxo superficial e componentes do balanço hidrológico.

**Tabela 4.** Cenários para modelagem no SWAT

Base	Cenários Avaliados		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Período 1	C1_LU1	C1_LU2	C1_LU3
Período 2	C2_LU1	C2_LU2	C2_LU3
Período 3	C3_LU1	C3_LU2	C3_LU3

C1 - período climático 1 (1986-1995); C2 - período climático 2 (1996-2005); C3 – período climático 3 (2006-2015); LU1 – uso do solo de 1990; LU2 – uso do solo de 2000; e LU3 – uso do solo

O cenário 1 permite avaliar se, caso o uso e ocupação do solo de 1990, que representa um período de maior conservação das áreas florestadas, permanecesse o mesmo durante os 36 anos estudados, quais efeitos seriam observados no funcionamento da bacia hidrográfica, o cenário 2 caso o uso e ocupação de solo do ano 2000 fosse constante para todo período de estudo; e por fim, o cenário 3 que considera a maior área de terras agrícolas. Este último cenário permite avaliar os impactos da ascensão da agricultura no regime de vazões do afluente do Rio Grande, enquanto permanece constante o que? ao longo dos 36 anos de estudo.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Calibração e Validação do Modelo

Os parâmetros apontados como mais sensíveis estão dispostos na Tabela 4. Foram necessários oito parâmetros para simular os processos hidrológicos do afluente do Rio do Grande. Percebe-se que os parâmetros que exercem maior influência estão relacionados a recarga de águas subterrâneas, evapotranspiração, escoamento lateral, escoamento superficial e profundidade dos solos.

O CN2 (método do número da curva para a condição de umidade AMC II) foi o parâmetro de maior sensibilidade. A forte influência desse parâmetro também foi relatada por diversos autores (Santos et al., 2018; Nyatuame et al., 2020; Sousa et al., 2020). Este parâmetro corresponde ao escoamento superficial e está diretamente ligado aos picos na vazão, sendo que maiores valores do parâmetro CN proporcionam picos de vazão na hidrógrafa. Em seguida, GW\_DELAY (intervalo de tempo para recarga do aquífero em dias) e ALPHA\_BF (constante de recessão do escoamento de base em dias) que expressam forte relação aos processos hidrogeológicos. Este fato pode ser explicado pela

ocorrência dominante dos solos tipo latossolo Vermelho-Amarelo (80,77%) que são profundos (Martins, 2020).

**Tabela 4:** Parâmetros utilizados para calibração e validação do modelo SWAT.

Parâmetros	Processo	Valores Calibrados 1986-1995	Valores Calibrados 1996-2005	Valores Calibrados 2006-2015
GW_DELAY		400	400	450
ALPHA_BF	Águas	0.0006	0.0006	0.0006
GWQMN	Subterrâneas	500	500	1000
ESCO	Evapotranspiração	0.85	0.85	0.7
LATTIME	Escoamento			
	Lateral	25	25	20
CN2	Escoamento	32-62	32-62	32-62
	Superficial			
SOL_K		12,5-200	12,5-200	12,5-200
SOL_AWC	Umidade do Solo	0,05-0,15	0,05-0,15	0,05-0,15

Gw\_delay: Intervalo de tempo para recarga do aquífero (dias); alpha\_bf :Constante de recessão de escoamento de base (dias); GWQMN: Esco:Fator de compensação de evaporação da água do solo;Lattime: Escoamento Lateral (dias);CN2: Curva Número inicial para condição de umidade do solo; SOL\_K: Condutividade hidráulica do solo (mm.h<sup>-1</sup>); SOL\_AWC: Capacidade de armazenamento de água no solo (mm.h<sup>-1</sup>).

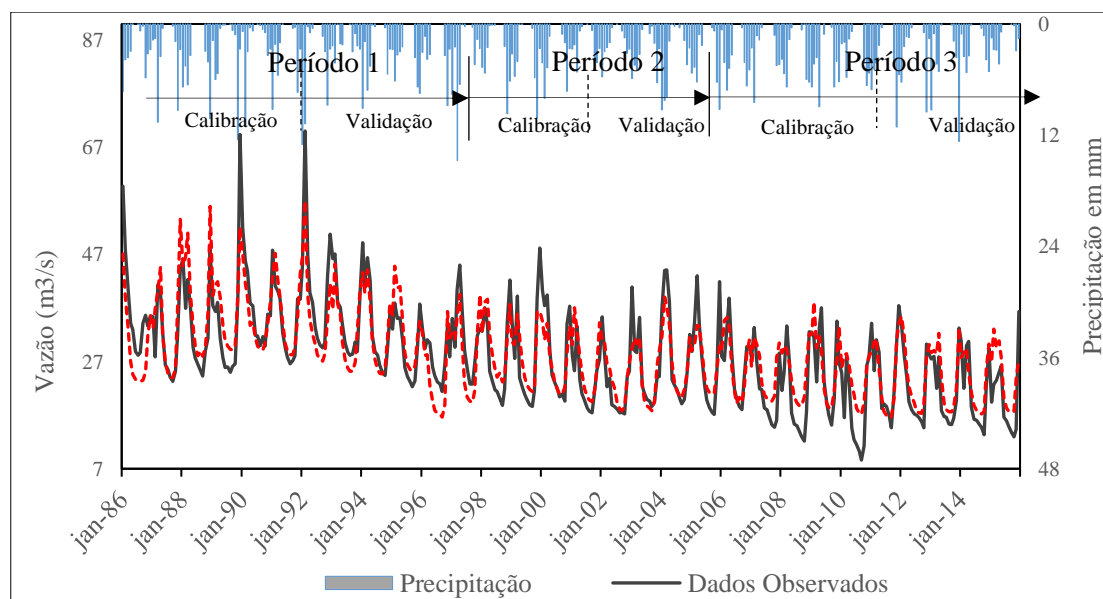
Paz et al. (2018) justificam a alta sensibilidade dos parâmetros relacionados às águas subterrâneas, solo e cultura devido a sua influência nos componentes do ciclo hidrológico. Essa influência por sua vez, é dada de acordo com as características edafoclimática, fisiográficas e ações antrópicas nas bacias hidrográficas.

O parâmetro ESCO corresponde ao processo de evapotranspiração. Altos valores deste parâmetro significam maiores quantidades de água transferida para a atmosfera pelos processos físicos das plantas. Observa-se que este parâmetro apresenta altos valores tanto na etapa de calibração e validação do modelo. Analisando a variação dos parâmetros nos três períodos, houve uma diminuição nos valores dos parâmetros GW\_DELAY, ESCO e LATTIME no período de 2006-2015.

A diminuição nos valores associados ao ESCO a redução em seus valores aumenta a demanda evapotranspirativa, retirando água do sistema. Segundo Tucci & Clarke (1997) e Bruijnzeel (1996), as áreas florestadas apresentam maior capacidade de interceptação via dossel, sendo assim, a evaporação direta da água interceptada tende a ser maior. A variação nos valores do LATTIME corrobora a necessidade de adequação dos valores calibrados em decorrência da variação temporal.

Outro aspecto importante é o aumento do índice limite para que ocorra o fluxo base (GWQMN), que em 2015 passou a ser necessário o dobro do valor de água (mm) para que ocorra o fluxo de base. Isso significa uma redução na alimentação dos corpos hídricos por águas subterrâneas.

As comparações do fluxo simulado e observado estão expostas na Figura 3. Os resultados das descargas simuladas mostram que o modelo subestimou a vazão observada no período úmido. No terceiro período, tanto a calibração quanto a validação o modelo subestimou as vazões mínimas.



**Figura 3.** Valores de fluxo simulado e observado para estação fluviométrica Sítio Grande.

Essas inconsistências entre a vazão observada e simulada podem estar associadas à limitação do método número da curva (CN) do SWAT que considera a profundidade média diária da chuva, ao invés de intensidade e duração (Nie et al. 2011). Outro fator que pode estar relacionado à subestimação dos picos de vazões são os métodos adotados pela Agência Nacional das Águas (ANA) para estimar a vazão dentro da área de estudo, que é realizada de forma indireta por meio da curva chave, o que pode apresentar erros associados às estimativas das vazões reais (Sousa et al., 2020).

Outro aspecto importante ressaltado por Brighenti et al. (2016) é que a má distribuição e a falta de dados dos postos pluviométricos para representar a realidade da bacia pode resultar em dados insuficientes para modelar o balaço hídrico em bacias hidrográficas. Esta foi uma limitação neste estudo, onde os dados foram estimados pelo gerador climático do SWAT. Este fato pode justificar, juntamente com os demais fatores, as diferenças nos picos de cheia e seca na vazão modelada.

Os valores de NSE calculados para calibração e validação em escala mensal nos períodos de 1986-1995, 1996-2005 e 2006-2015 foram 0.60-0.77, 0.62-0.75, 0.58-0.79, respectivamente (Tabela 5). De acordo com Moriasi et al. (2015) os resultados obtidos com modelo em base mensal são satisfatórios para todos os três períodos.

O Pbias que é o índice que sinaliza os desvios entre as vazões simuladas e observadas. Os valores negativos e positivos do PBIAS indicam, respectivamente, a superestimação ou subestimação da modelagem. Neste estudo, o índice Pbias classifica o modelo como muito bom devido a sua variação de -0,16 a 2.03 para os três períodos simulados.

Já os valores do coeficiente de determinação variaram entre 0,62 e 0,83, sendo classificados como satisfatórios para os três períodos de calibração e bom para os períodos de validação.

Embora muitos trabalhos na literatura em todo mundo registrem melhores desempenhos na calibração, os resultados obtidos na presente pesquisa corroboram com



os obtidos por Heng et al. (2020) que obtiveram melhores resultados na validação. Isto pode ser explicado em decorrência de falhas nos dados pluviométricos no início da série histórica que foram preenchidas com o gerador climático. Assim, para as condições edafoclimáticas e antrópicas da bacia o modelo SWAT mostrou-se satisfatório e bom para a modelagem do balanço hídrico de acordo com a proposição Moriasi et al. (2015).

**Tabela 5.** Resultados da calibração e validação do modelo SWAT para os diferentes períodos considerados.

Processo	Período	Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)			Estatística Mensal		
		Observado	Simulado	Percentual de Variação (%)	NSE	PBIAS	R <sup>2</sup>
Calibração	1986-1990	34.54	33.9	-2.76	0.60	-0.16	0.62
Validação	1991-1995	34.76	33.9	-3.36	0.77	-0.86	0.78
Calibração	1996-2000	28.55	27.47	-3,78	0.62	-1.08	0.65
Validação	2001-2005	25.18	25.75	2,26	0.75	0.57	0.77
Calibração	2006-2010	23.63	25.67	8,63	0.58	2.03	0.67
Validação	2011-2015	22.41	23.75	5,97	0.79	1.34	0.83

NSE – Coeficiente de Nash Sutcliffe; PBIAS- Correção de Viés; R<sup>2</sup>- coeficiente de determinação

### 3.2 Efeitos Hidrológicos em componentes do balanço hídrico em função dos cenários

Os resultados dos impactos simulados nos componentes do balanço hidrológicos (teor de água de solo, evapotranspiração, escoamento superficial e fluxo de base) se encontram na Tabela 6. As mudanças foram calculadas a partir do período completo (1980-2015) para cada um dos mapas de uso e ocupação do solo (1990, 2000 e 2015).

**Tabela 6.** Componentes do balanço hídrico médio entre diferentes períodos de calibração e validação.

Componentes Hidrológicos	1990 <sup>a</sup> Total (mm)	2000 <sup>a</sup>		2015 <sup>a</sup>	
		Total (mm)	Relação ao uso e ocupação do solo 1990 (%)	Total (mm)	Relação ao uso e ocupação do solo 1990 (%)
Precipitação	1003.2	1127.7	12.41%	975.4	-2.77%
Evapotranspiração	809.2	846	4.55%	785.3	-2.95%
Fluxo de Base	155.8	150.4	-3.47%	133.48	-14.33%
Teor de Água no Solo	29.6	28.15	-4.90%	28.57	-3.48%

<sup>a</sup> Período simulado (1986-2015)

A precipitação, que é a principal forma de entrada de água na bacia hidrográfica, apresentou acréscimos a partir do período de 2000, cerca de +12,41% a mais do que período de 1980-1995; e em 2005-2016 sofreu decréscimo -2,77%.

Quanto às respostas hidrológicas referentes a evapotranspiração, houve um aumento no cenário de 2000 em relação ao mapa de 1990, e diminuição em relação ao cenário de 2015. A evapotranspiração está diretamente ligada a precipitação, velocidade dos ventos, radiação solar e a presença de vegetação (HEO *et al.* 2015). Neste estudo, o acréscimo no volume evapotranspirado pelas plantas está associado a ascensão de áreas agrícolas e à demanda de irrigação, que requer retirada de águas subterrâneas por pivôs e dos rios. (Pereira, 2019), o que significa mais água disponível para as culturas. Nyatuame

et al. (2020) também concluíram que a perda de água superficial e umidade do solo ocorre por meio da evaporação direta e transpiração da safra.

Com substituição da vegetação por áreas agrícolas, as propriedades do solo podem ser alteradas e os processos de infiltração e percolação são minimizados, deixando assim, mais água disponível nas camadas superficiais dos solos o que resulta em mais água disponível para aproveitamento das plantas, podendo ser um fator para aumentar as taxas de evapotranspiração.

O cenário de 1990 detentor de maiores áreas de vegetação também apresentou altas taxas de evapotranspiração e pode ser justificada pela presença mais densa de extratos arbóreos e arbustivos e consequentemente maior atividade de evapotranspiração pela vegetação.

De acordo com Shi et al. (2013) os componentes mais afetados com a mudança do uso e ocupação do solo no ciclo da água são a evapotranspiração e a capacidade do solo de reter água. Os parâmetros que refletem aos processos hidrogeológicos são o fluxo de base e teor de água no solo, que apresentaram redução nos cenários de menor presença de vegetação (2000 e 2015).

Em comparação com o ano de 1990, o projeto com mapa de 2015 registrou uma redução -14.33% e -3.48% para o fluxo de base e teor de água no solo, respectivamente. Este fato que pode ser justificado pelo aumento de 33,12% da área agrícola de 1990 para 2015. A ascensão de terras agrícolas altera as propriedades físico-químicas do solo, como o deslocamento da água nas camadas superficiais do solo, e consequentemente modifica a recarga dos rios por fluxo lateral e a recarga de aquíferos por percolação. A presença de florestas aumenta o armazenamento de água no solo, e consequentemente, maior recarga do fluxo de base (DIBABA et al., 2020).

Em geral, as mudanças no uso e ocupação do solo, afetam muito mais os processos hidrogeológicos que as alterações climáticas, visto que estas respondem lentamente às variações climatológicas (FARIAS et al. 2020).

### 3.3 Curvas de Permanência e Avaliação dos Impactos no regime de vazões

Os resultados para as simulações sob diferentes cenários estão descritos na Tabela 7. O cenário 1 avalia se o uso de ocupação do solo (1990) permanecesse constante, com predominância da vegetação e pouca atividade agrícola e pastoril haveria pouca mudança, no que se refere vazões ( $Q_{90}$ , máxima, média e mínima) em relação ao cenário observado.

**Tabela 7.** Comparação da vazão máxima, mínima, média e com a probabilidade de excedência a 90% entre os cenários simulados.

Vazão	Cenário	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Observado (m <sup>3</sup> /s)	Simulado (m <sup>3</sup> /s)	(%) <sup>a</sup>	Simulado (m <sup>3</sup> /s)	(%) <sup>a</sup>	Simulado (m <sup>3</sup> /s)	(%) <sup>a</sup>
$Q_{90}$	61.44	65.8	-7.1	59.68	-2.86	57.22	-6.87
$Q_{m\acute{e}ida}$	56.95	56.78	0.30	53.29	-6.43	49.21	-13.59
$Q_{m\acute{a}x}$	143.29	139.56	-2.6	128.78	-10.13	134.98	-5.80
$Q_{min}$	85.78	88.7	3.4	81.86	-4.57	80.51	-6.14

a – Taxa de diferença entre os cenários observado e simulados

A análise das vazões máximas, médias, mínimas e de referência são ferramentas importantes para a gestão dos recursos hídricos, visto que podem servir de subsídio para gestores públicos na construção de obras hidráulicas, racionamento de água para abastecimento público e concessão de outorgas (Viola et al. 2009).

Os resultados encontrados para o cenário 1 mostram que a diferença entre os simulados e o observado foi inexpressiva, exceto para Q90. Quando comparado ao cenário 2 é observada uma queda em todos os segmentos hidrológicos analisados. Se caso o uso e ocupação do solo de 2000 fosse contínuo em todo o período analisado (1980-2015) a vazão de referência, máximas, médias e mínimas seriam menores do que o cenário atual. Essa redução aponta que os impactos nas mudanças no uso e ocupação do solo afetam significativamente o volume de água disponível no manancial.

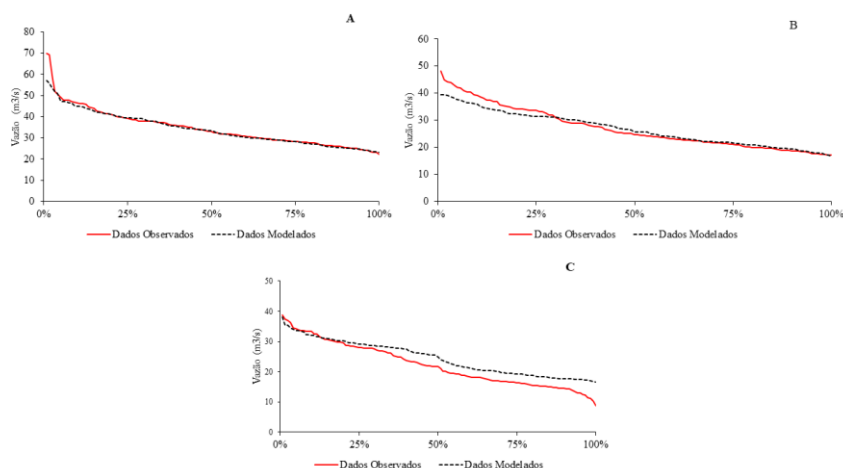
Isto é ratificado no cenário 3, considerado mais extremista e detentor da maior área em km<sup>2</sup> das atividades agrícolas e menor área em florestas, quando analisado em relação ao cenário observado houve queda em todas as vazões analisadas. As vazões Q90, média, máxima e mínima reduziram -6.87%, -13.59%, -5.80% e -6.14%, respectivamente. Os impactos foram mais expressivos na vazão média que passou a ser 49.21 m<sup>3</sup>/s quando no cenário observado é de 56.95m<sup>3</sup>/s.

O cenário hipotético 2 que retrata uma mudança moderada em relação cenário 3, também resultou na diminuição gradativa dos níveis de descarga do manancial, com exceção da vazão máxima que foi maior neste cenário. Suekame et al. (2021) ao simular cenários hipotéticos de ascensão de áreas agrícolas e pastoris associado a diminuição de áreas florestais encontraram uma redução da vazão média mensal da bacia hidrográfica do Alto Taquari situado nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

No geral, é observada que as descargas têm diminuído em toda região, de forma que a série histórica pode não apresentar estacionariedade. Este cenário é consistente com corpos hídricos que são regulados por aquíferos, após reduções de precipitação e/ou menor abastecimento dos lençóis freáticos. Os resultados da modelagem hidrológica associado à simulação destes cenários levam a inferir que a provável causa esteja relacionada com a redução da recarga do aquífero e conseqüentemente a diminuição da recarga do corpo hídrico por fluxo de base.

Segundo Bayazit (2015), a não estacionariedade da série pode ser explicada por diversos fatores, como mudanças no uso e ocupação do solo por ações antrópicas, variabilidade no regime de chuvas de baixa frequência e mudanças climáticas. Neste estudo, as simulações indicam que o fator de maior influência é o uso e ocupação do solo.

A Figura 6 encontra-se o fluxo simulado e observado nos três períodos utilizados para calibração e validação do modelo. As curvas de permanências foram aplicadas nesta pesquisa para compreender o comportamento das vazões simuladas e observadas em escala mensal. A representação geométrica dos dados permite entender a progressão ou redução da vazão diante das simulações realizadas.



**Figura 6.** Curvas de permanência observadas e simuladas. A- Valores simulados 1980-1995; B- valores simulados 1996-2005; C Valores simulados 2006-2015

Os resultados da modelagem hidrológica podem servir de subsídio para compreender e quantificar os recursos hídricos (Silva 2019). Observando as figuras pode-se inferir que o modelo simulou bem a vazão Q90, principalmente no primeiro período. Nas Figuras 6b e 6c, houve uma superestimativa nas vazões ocorrendo subestimativa para valores mais altos de vazões (Figura 6 B) e uma superestimativa para quase todos os valores de vazões na Figura 6C. Erros associados a vazão simulada são aceitáveis até uma margem percentual de 30% de diferença (Pereira et al. 2014).

O erro máximo encontrado refere-se ao período de maior área agrícola, e, portanto, maior área irrigável, cujos valores de manejo e irrigação dos lotes por parte dos agricultores ainda são desconhecidos, assim, gera mais incertezas nas estimativas de excedência 90%. Este fato também foi comprovado por Santos et al. (2018) ao avaliar a bacia hidrográfica do Rio Paraguaçu. Outro aspecto sobre as diferenças nas curvas de permanência nos cenários B e C pode estar associado a utilização de dados de precipitação mensurados via satélite, que superestima os valores em períodos secos.

#### **4. Conclusão**

O modelo SWAT foi capaz de descrever o comportamento hidrológico mensal de forma satisfatória a boa, de acordo com os critérios estatísticos da sub bacia do Rio Grande para os três períodos modelados. As curvas de duração de fluxo para cada período de análise mostram a diferença simulada e observada dos dados de vazão e auxiliam na compreensão do comportamento hídrico estimado.

Todas as composições florestais do bioma cerrado nesta sub bacia tiveram suas áreas reduzidas em 27,47% entre o período de 1990 e 2015. Enquanto as áreas agrícolas cresceram 192,48%. Os principais componentes do balanço hídrico afetados pela ascensão de áreas agrícolas na região foram os componentes hidrogeológicos fluxo de base e teor de água no solo que sofreram redução.

Os cenários de alteração do uso do solo (2000 e 2015) indicam uma redução na vazão. Se o uso e ocupação do solo (1990) permanecesse sem alterações e a vegetação natural fosse mantida as vazões Q<sub>90</sub>, máxima, média e mínima seriam maiores do que cenário atual. A variabilidade da precipitação não exerceu influência significativa na redução do regime de vazões, visto que, mesmo fixando o período climático a redução nas vazões máximas, mínimas e de referência se deu quando houve variação no uso da terra. Portanto, conclui-se que a redução do fluxo superficial nos 36 anos de dados utilizados neste estudo, é em decorrência as modificações do uso da terra, principalmente, a intensa atividade agrícola, principal classe responsável pelas mudanças nas classes de uso e ocupação do solo da região.

#### **AGRADECIMENTOS**

Este estudo foi financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

- Abbaspour, K. C.; Yang J.; Maximov I.; Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J.; Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of hydrology*, **333**(2-4), 413-430. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014>
- ANA. Agência Nacional das Águas. Atlas da Irrigação. Disponível em <http://atlasirrigacao.ana.gov.br/> (accessed 5 dezembro 2020).
- ANA. Agência Nacional das Águas. Portal HidroWeb. Séries Históricas, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas> (accessed 5 may 2019)
- Brighenti T.M.; Bonumá, N. B. & Chaffe P.L.B. 2016. Calibração hierárquica do modelo Swat em uma bacia hidrográfica Catarinense. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. **21**(1), 53–64. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p53-64>.
- Bruijnzeel, L. A. 1996. Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. In: Gash. Amazonian deforestation and climate. Chichester, England: J. Wiley, Cap.2.
- Coelho, E. F.; Silva, J. D. & Souza, L. D. 2000. Mamão produção: aspectos técnicos. Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília, 76.
- Costa F., W. D. & Demétrio, J. G. A. 2007. Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro – Meta C. CPRM/FINEP, 90.
- Cunha, T. J. F., da Silva, F. H. B. B., da Silva, M. S. L., Giongo, V., Sá, I. B., de Oliveira Neto, M. B. & Cavalcanti, A. 2008. Solos do Submédio do Vale do São Francisco: potencialidades e limitações para uso agrícola. Embrapa Semiárido-Documentos (INFOTECA-E),
- da SILVA, L. S.; FERRAZ, L. L.; SANTOS, C. A. S.; ROCHA, F. A.; DALTRO, U. S. Avaliação do desempenho do gerador climático do SWAT para bacia tropical no oeste da Bahia. In: 17º Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas, 2020, Poços de Caldas. I ANAIS 2020, 2020.
- de Medeiros, I. C; da Costa Silva, J. F. C. B., Silva, R. M., & Santos, C. A. G. 2019. Run-off–erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. *International journal of environmental science and technology*, **16**(7), 3035-3048. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3>
- Dibaba, W. T.; Demissie, T. A.; Miegel, K. 2020. Drivers and Implications of Land Use/Land Cover Dynamics in Finchaa Catchment, Northwestern Ethiopia. *Land*, **9**(4), 113. doi:10.3390/land9040113
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/?limit=100&offset=0&title\\_\\_icontains=Mapa%20de%20solos%20do%20Brasil](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/?limit=100&offset=0&title__icontains=Mapa%20de%20solos%20do%20Brasil) (accessed 6 may 2019).

FAO.Global forest resources assessment 2010. The main report: Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Farias, C. W. L.; Montenegro, S. M. G. L.; de Assunção M. A. A.; de Sousa L. J. R.; Srinivasan, R.; Jones, C. A. 2019. Modeling runoff response to land-use changes using the SWAT model in the Mundaú watershed, Brazil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.5, n.2, 194-206, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.2.2020.2828.194-206>

Heng, B; Oeurng, C.; TRY, S.& YUZIR, A. Flow regime alteration analysis under climate change in Tonle Sap Subbasin. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 479, n. 1, p. 012007. IOP Publishing. 2020.

Heo, J.; Yu; J. Giardino, J. R.; Cho, H. 2015. Water resources response to climate and land-cover changes in a semi-arid watershed, New Mexico, USA. *Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences*, v. 26, n. 4, 2015. 2. [https://dx.doi.org/10.3319/TAO.2015.03.24.01\(Hy\)](https://dx.doi.org/10.3319/TAO.2015.03.24.01(Hy))

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. BDMP-Dados Históricos. <https://bdmep.inmet.gov.br/> (accessed 5 may 2019)

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em :< <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>> Acesso em: (accessed 20 June 2020)

Kiang, C. H.& Silva, F. C. P. 2015. Contribuição ao arcabouço geológico do sistema aquífero Urucuia. *Geociências*. 34, 872-882.

Mao, D.; Cherkauer, K. A. 2009. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. *Journal of Hydrology*, **374**(1-2), 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.016>

Martins, L.L; W. A.; de Moraes, J. F. L., Júnior, M. J. P.& De Maria, I. C. 2020. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **13**(02), 576-594. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p576-594>

Moriasi, D. N; Wilson, B. N; Douglas, M. K. R; Arnold J.G.& Gowda P.H. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Transactions of the ASABE*, **58**(6), 1763-1785.

Neitsch, S.L; Arnold J.G; Kiniry J.R; Williams J.R& King K.W. 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, Texas.

Nie, W.; Yuan, Y.; Kepner, W.; Nash, M. S.; Jackson, M.& Erickson, C. 2011. Assessing impacts of Land use and Landcover changes on hydrology for the upper San Pedro watershed. *Journal of Hydrology*, **407**(1-4), 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.012>

Nyatuame, M. Amekudzi, L.K., & Agodzo, S.K. Assessing the land use/land cover and climate change impact on water balance on Tordzie watershed. 2020. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, (20), 100-381. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100381>

Paz, Y. M.; Galvínio, J. D.; Holanda, R. M.; Srinivasan, R. & Jones, C. 2018. A, Análise de sensibilidade e calibração espacial do modelo SWAT aplicado em uma bacia do litoral pernambucano através de dados climáticos observados e de reanálise. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 11(1), 371-388. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.1>.

Pereira, D. D. R., MARTinez, M. A., Almeida, A. Q. D., Pruski, F. F., Silva, D. D. D. & Zonta, J. H. 2014. Hydrological simulation using SWAT model in headwater basin in Southeast Brazil. *Engenharia Agrícola*, 34(4), 789-799. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400018>

Poorheydari, S.; Ahmadi, H.; Moeini, A.; Feiznia, S. & Jafari, M. 2020. Efficiency of SWAT model for determining hydrological responses of marl formation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02688-y>

Pousa, R.; Costa, M. H.; Pimenta, F. M.; Fontes, V. C. & Brito, V. F. A. D.; Castro, M. 2019. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. *Water*, v. 11(5), 933. <https://doi.org/10.3390/w11050933>

Sajikumar, N. & Remya, R. S. 2015. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. *Journal of Environmental Management*, 161, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.12.041>

Santos, C. A.; Almeida, C.; Ramos, T. B.; Rocha, F. A.; Oliveira, R. & Neves, R. 2018. Using a hierarchical approach to calibrate swat and predict the semi-arid hydrologic regime of northeastern Brazil. *Water*, 10(9), 1137. <https://doi.org/10.3390/w10091137>

Santos, C. A. S.; Rocha, F.; Ramos, T. B.; Alves, L. M.; Mateus, M.; Oliveira, R. P. D. & Neves, R. 2019. Using a hydrologic model to assess the performance of regional climate models in a semi-arid watershed in Brazil. *Water*, 11(1), 170. <https://doi.org/10.3390/w11010170>

Shi, P. Ma, X., Hou, Y., Li, Q., Zhang, Z. & Fang, 2013. Effects of land-use and climate change on hydrological processes in the upstream of Huai River, China. *Water resources management*, 27(5), 1263-1278. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0237-4>

Silva, Ú. R.S. 2019. Efeito das incertezas da estimativa da disponibilidade hídrica superficial por modelagem hidrológica na aplicação da outorga de direito de uso de recursos hídricos. 2019. 147 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Água e Saneamento). Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Sousa de, L. F.; Santos, C. A. S.; Gomes, R. L; Rocha, F. A.; de Jesus & R. M. 2020. Modeling land use change impacts on a tropical river basin in Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-20, <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02997-2>

Suekame, H.K.; Commar, L.F.S.; Gonçalves, F.V.; Carvalho, G.A.; & Pereira, R.B. 2021. Modelagem Hidrológica Combinado à Mudança Climática, Uso e Ocupação do Solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44: 35407. DOI 1982-3908\_2021\_44\_35407

Tucci, C. E. M. & Clarke, R. T. 1996. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2(1), 135-152. doi:10.21168/rbrh.v2n1.p135-152

Tufa, D. F.; Abbulu, Y.; SRINIVASARao, & G. V. R. 2014. Watershed hydrological response to changes in land use/land covers patterns of river basin: A review. *International Journal of Civil, Structural, Environmental and Infrastructure Engineering Research and Development*, 4, 157-170.

Woldesenbet, T. A.; Elagib, N. A.; Ribbe, L.; Heinrich, J. 2016. Hydrological responses to land use / cover changes in the source region of the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 575, 724-741. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016>



## REFERÊNCIAS

- ABDULLA, F. A.; AL-OMARI, A. S. Impact of climate change on the monthly runoff of a semi-arid catchment: Case study Zarqa River Basin (Jordan). **Journal of Applied Biological Sciences**, v. 2, n. 1, p. 43-50, 2008.
- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014.
- AIBA. Associação de agricultores e irrigantes da Bahia. Dados e Pesquisa. Levantamento de Safra. Disponível em <[http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2019/09/4C2B0-Levantamento-Safra-2018\\_19.pdf](http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2019/09/4C2B0-Levantamento-Safra-2018_19.pdf)> acesso em 8 de dezembro de 2020.
- ALMEIDA, L. SERRA, J.C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista da FAE**, v.20, n.1, p.129-137, 2017
- ALVES, L. F. **Influência de reservatórios de regularização no regime de vazões da bacia do rio Catolé Grande**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2018
- ANA (Agência Nacional de Águas). Estudos hidrogeológicos na Bacia Hidrográfica do São Francisco -Sistema Aquífero Urucuia / Areado e Sistema Aquífero Bambuí. Comitê Bacia Hidrográfica do São Francisco. 2013. Disponível online: <http://cbhsaofrancisco.org.br>
- ANDRÉASSIAN, V. Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. **Journal of hydrology**, v. 291, n. 1-2, p. 1-27, 2004.
- ARAÚJO, R. S.; ALVES, M. G.; MELO, T. C.; CHRISPIM, Z. M. P.; MENDES, P.; SILVA JÚNIOR, G. C. Water resource management: A comparative evaluation of Brazil, Rio de Janeiro, the European Union, and Portugal. **Science of the Total Environment**, v. 511, p. 815–828, 2015.
- ARNOLD, J.G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R.S.; WILLIAMS, J.R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. **Journal of the America Water Resources Association**, v.34, n.1, p.73-89, 1998.
- BEHERA, S.; PANDA, R. K. Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a subhumid subtropical region using a physical process-based model. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 113, p. 62–72, 2006.
- BENAMAN, J.; SHOEMAKER, C. A.; HAITH, D. A. Calibration and validation of the soil and water assessment tool on the Cannonsville reservoir watershed. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 10, n. 5, p. 363-374, 2001.
- BESCHTA, R. L. et al. Peakflow responses to forest practices in the western cascades of Oregon, USA. **Journal of Hydrology**, v. 233, n. 1-4, p. 102-120, 2000.

BRIAK, H. et al. Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 3, p. 177-185, 2016.

CHEN, Yi et al. Dynamic Modeling of Sediment Budget in Shihmen Reservoir Watershed in Taiwan. **Water**, v. 10, n. 12, p. 1808, 2018.

CORREIO 24 horas. Guerra pela água em Correntina se arrasta desde 2015. Disponível em <<https://www.correio24horas.com.br/noticia/nid/guerra-pela-agua-em-correntina-se-arrasta-desde-2015/>> acesso em 8 de dezembro de 2020.

CPT.Comissão Pastoral da Terra.Massacres no Campo. Conflitos pela Água. 2017.Disponível em <<https://www.cptnacional.org.br/publicacao?task=download.send&id=14143&catid=6&m=0>>acesso em 8 de dezembro de 2020.

CPT.Comissão Pastoral da Terra.Massacres no Campo. Conflitos pela Água. 2018.Disponível em <<https://www.cptnacional.org.br/publicacao?task=download.send&id=14143&catid=6&m=0>>acesso em 8 de dezembro de 2020.

de Andrade, C. W. L., MONTENEGRO, S. M. G. L., de SOUSA LIMA, J. R., de ASSUNÇÃO MONTENEGRO, A. A.; MAGALHÃES, A. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2,n.3, 239-248,2017.

de. MEDEIROS, I. C.; da COSTA SILVA, J. F. C. B.; SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G. Run-off–erosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, n. 7, p. 3035-3048, 2019.

De MEDEIROS, I.C.; SILVA, R. M. Análise da erosão hídrica na região semiárida da Paraíba usando o modelo SWAT acoplado a um SIG. **Geosciences Geociências**, v. 33, n. 3, p. 457-471, 2014.

DEVIA, G. K.; GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. A review on hydrological models. **Aquatic Procedia**, v.4, n.1,1001-1007, 2015.

di LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. ArcView interface for SWAT2000 – User’s Guide. Temple: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 2001. 337p

EISENBIES, M. H. et al. Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians—A review. **Forest Ecology and Management**, v. 242, n. 2-3, p. 77-98, 2007.

ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. Simulação numérica do fluxo de águas do sistema aquífero urucuia na bacia hidrogeológica do Rio Corrente (BA). **Águas Subterrâneas**, v. 29, n. 2, p. 244-256, 2015.

FERREIRA, F. L. V., RODRIGUES, L. N., ALMEIDA, L., TEIXEIRA, B. D. S. Tendência em séries hidrológicas e de mudanças no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Guanhães, Minas Gerais. **Brazilian Journal of Animal Environment Research**, v. 3, n. 2, p.447-459,2020.

GAMA, W. M. **Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio**. 2011. 112 f. 2011. Tese de Doutorado. Center for Technology, Universidade Federal de Alagoas., Alagoas.

GASSMAN, P. W.; REYES, M. R.; GREEN C. H.; ARNOLD, J. G. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. **Transaction of the ASABE**, v.50, p.1211-1250, 2007

GUIMARAES, D. P.; LANDAU, E. C.; DE SOUZA, D. L. Irrigação por pivôs centrais no Estado da Bahia-Brasil. Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2014.

GONÇALVES, R. D.; ENGELBRECHT, B. Z.; CHANG, H. K. Análise hidrológica de séries históricas da Bacia do Rio Grande (BA): contribuição do Sistema Aquífero Urucua. **Águas Subterrâneas**, v. 30, n. 2, p. 190-208, 2016.

HARGREAVES, G. L.; HARGREAVES, G. H.; RILEY, J. P. Agricultural benefits for Senegal River basin. **Journal of irrigation and Drainage Engineering**, v. 111, n. 2, p. 113-124, 1985.

HEO, J.; YU, J., GIARDINO, J. R.; CHO, H. Water resources response to climate and land-cover changes in a semi-arid watershed, New Mexico, USA. **Terrestrial, Atmospheric & Oceanic Sciences**, v. 26, n.4, 2015.

HIBBERT, A. R. **Forest treatment effects on water yield**. Asheville: Coweeta Hydrologic Laboratory, Southeastern Forest Experiment Station, p.813, 1965.

HORIKOSHI, A. S. Balanço hídrico atual e simulações de cenários climáticos futuros para o município de Taubaté.2007.94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade de Taubaté, Taubaté-SP, 2007.

JAIN, S. K.; TYAGI, J.; SINGH, V. Simulation of runoff and sediment yield for a Himalayan watershed using SWAT model. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 2, n. 03, p. 267, 2010.

LANE, P. N.J. BEST, A. E., HICKEL, K., ZHANG, L The response of flow duration curves to afforestation. **Journal of Hydrology**, v. 310, n. 1-4, p. 253-265, 2005.

LI, Z.; Liu, W. Z.; Zhang, X. C.; Zheng, F. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. **Journal of hydrology**, v.377, n.1-2, p.35-42,2009.

MACHADO, R.E. Simulação do escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento.

Piracicaba, 2002. 154p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo/SP.

MAO, D.; CHERKAUER, K. A. Impacts of land-use change on hydrologic responses in the Great Lakes region. **Journal of Hydrology**, v. 374, n. 1-2, p. 71-82, 2009.

MARTINS, L. L.; MARTINS, W. A.; de MORAES, J. F. L.; JÚNIOR, M. J. P.; de MARIA, I. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol.13, n.02, p. 576-594,2020.

MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 2, p. 38-46, 2006.

MISHRA, V.N.; RAI, P. K.; MOHAN, K. Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), India. **Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"**, SASA, v. 64, n. 1, p. 111-127, 2014.

MONTEITH, J. L. Evaporation and Environment. **Symp. Soc. For Exper. Biol.**, vol. 19, p. 205-234, 1965.

MORIASI, D. N.; WILSON, B. N.; DOUGLAS-MANKIN, K. R.; ARNOLD, J. G.; GOWDA, P. H. Hydrologic and water quality models: Use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1241-1247, 2012.

MORIASI, D. N.; GITAU, M. W.; PAI, N.; DAGGUPATI, P. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. **Transactions of the ASABE**, v.58, n.6, p.1763-1785,2015.

NASCIMENTO, R. Q.; dos SANTOS, J. Y. G. Análise das alterações ocorridas no uso e ocupação do solo da bacia do Rio das Fêmeas, estado da Bahia. In: XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais... Araras: Galoá proceedings**, 2019. v. 17. p. 1-4.

NERANTZAKI, S. D., GIANNAKIS, G. V., EFSTATHIOU, D., NIKOLAIDIS, N. P., SIBETHEROS, I. A., KARATZAS, G. P. ZACHARIAS, I. Modeling suspended sediment transport and assessing the impacts of climate change in a karstic Mediterranean watershed. **Science of the Total Environment**, v. 538, p. 288-297, 2015.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R. Pesticides fate and transport predicted by the soil and water assessment tool (SWAT). **Atrazine, Metolachlor and Trifluralin in the Sugar Creek Watershed: BRC Report**, v. 3, 2002.

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and Water assessment tool: theoretical documentation version 2005**. Temple: Blackland Research Center, 2005. 541 p.

NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. 1.1 Overview of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model. Tier B (All countries/territories not listed here are in Tier A), v. 8, n.3,2009.

OLIVEIRA, M. N.; VIEIRA, O. H. P. Agronegócio no Oeste Baiano e os principais municípios na dinâmica da produção de grãos: uma análise shift-share com base na produção de soja, milho e algodão para os anos de 2001 e 2010. In: SEMANA DA ECONOMIA: Políticas públicas para o desenvolvimento, VIII,2018, Ilhéus. **Anais...Ilhéus:Editus,2018.**

PAIVA, R. C.D. Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias estudo de caso: bacia do rio Solimões. Rio Grande do Sul, UFRGS,168 p, 2009.Dissertação(Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal Rio Grande do Sul

PASSOS, A.L.O; ROCHA, S. S.; HADLICH, G. M. Evolução do uso do solo e agronegócio na região oeste do Estado da Bahia. **Cadernos de Geociências**, v. 7, n. 1, 2010.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais.** In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. F. Conceito de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus (BA): Editus, 2001. p. 17-36.

POORHEYDARI, S.; AHMADI, H., MOEINI, A.; FEIZNIA, S.; JAFARI, M. Efficiency of SWAT model for determining hydrological responses of marl formation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p. 1-10, 2020.

POUSA, R.; COSTA, M. H.; PIMENTA, F. M.; FONTES, V. C.; BRITO, V. F. A. D.; CASTRO, M. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2019.

PRIESTLEY, C. H. B.; TAYLOR, R. J. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large Scale Parameters. **Monthly weather review**, vol. 100, n.2, p. 81-92, 1972.

QUEIROZ, P. H. B.; SALES, M. C. L.; SILVA, J. M. O. Indicadores morfométricos como subsidio ao planejamento ambiental em um setor do médio curso da bacia hidrográfica do Rio Pacoti - CE. **Revista Equador**, v. 3, n. 1, p. 3-24, 2014

RICCI, G.F. et al. Identifying sediment source areas in a Mediterranean watershed using the SWAT model. **Land degradation & development**, v. 29, n. 4, p. 1233-1248, 2018.

ROBINSON, M. et al. Studies of the impact of forests on peak flows and baseflows: a European perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 186, n. 1-3, p. 85-97, 2003.

ROCHA, O.; PIRES, J.S.R. E SANTOS; J. E. A bacia hidrográfica como unidade de estudo e planejamento. In: ESPÍNDOLA, E. L. G. et al. **A bacia hidrográfica do rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar.** São Carlos (SP): Rima, 2000. p. 1-16.

RODRIGUES, E. L. et al. Impact of changes in land use in the flow of the Pará River Basin, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 1, p. 70–76, 2015.

SAJIKUMAR, N.; REMYA, R. S. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 460-468, 2015.

SANTOS, C. A.S; ROCHA, F.; RAMOS, T. B.; ALVES, L. M.; MATEUS, M.; OLIVEIRA, R. P. D.; NEVES, R. Using a hydrologic model to assess the performance of regional climate models in a semi-arid watershed in Brazil. **Water**, v. 11, n. 1, p. 170, 2019.

SANTOS, R.F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184 p

SANTOS, F. M., OLIVEIRA, R. P., MAUAD, F. F. Lumped versus distributed hydrological modeling of the Jacaré-Guaçu Basin, Brazil. **Journal of Environmental Engineering**, v.144, n.8, 2018.

SCOTT, D. F.; LESCH, W. Streamflow responses to afforestation with Eucalyptus grandis and Pinus patula and to felling in the Mokobulaan experimental catchments, South Africa. **Journal of Hydrology**, p.360-377 1997.

SOUSA de, L. F.; SANTOS, C. A. S.; GOMES, R. L; ROCHA, F. A.; de JESUS, R. M. Modeling land use change impacts on a tropical river basin in Brazil. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p.1-20,2020.

TEODORO, V. L.; TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Impactos das mudanças ambientais nas vazões dos rios: Bacia incremental de Itaipu**. IPH, junho, p. 82, 1996.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2002.

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

VAN GRIESNEN, A.; MEIXNER, T.; GRUNWALD, S.; BISHOP, T.; DILUZIO, M.; Srinivasan, R. A global sensitivity analysis tool for the parameters of multi-variable catchment models. **Journal of Hydrology**, n.324, p.10–23. 2006.

VIANA W.R.C.C;MORAES M.E.B.Bacia do rio Almada (Bahia):criação de cenários ambientais a partir do diagnóstico da fragmentação florestal.In:Moraes MEB e Lorandi R (Orgs),Métodos e técnicas de pesquisa em bacia hidrográficas.Ilhéus (BA):**Editus**,p.35-56,2016.

ZHAO, F.; XU, Z.; ZHANG, L. Changes in streamflow regime following vegetation changes from paired catchments. **Hydrological processes**, v. 26, n. 10, p. 1561-1573, 2012.

ZHANG, L. et al. Afforestation in a catchment context. Understanding the impacts on water yield and salinity. 2007.

WHEATER, H. S; SOROOSHIAN, S.; SHARMA, K.D.**Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas**.New York: Cambridge University Press.223p .2008.

WOLDESENBET, T. A.; ELAGIB, N. A.; RIBBE, L.;HEINRICH, J.. Hydrological responses to land use / cover changes in the source region of the Upper Blue Nile Basin , Ethiopia. **Science of the Total Environment**, v. 575, p. 724-741, 2016.

