

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO

CLEDEILSON PEREIRA SANTOS

**"IMPACTOS ECO-HIDROLÓGICOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM
REGIÃO SEMIÁRIDA: O CASO DA BACIA DO RIO ACARAÚ, CE"**

MACEIÓ
2013

CLEDEILSON PEREIRA SANTOS

**"IMPACTOS ECO-HIDROLÓGICOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM
REGIÃO SEMIÁRIDA: O CASO DA BACIA DO RIO ACARAÚ, CE"**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Christopher Freire Souza

MACEIÓ

2013

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

S237i

Santos, Cledeilson Pereira.

Impactos eco-hidrológicos do uso e ocupação do solo em região semiárida : o caso da bacia do Rio Acaraú, CE / Cledeilson Pereira Santos. – 2013.

64 f. : il.

Orientador: Christopher Freire Souza.

Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2013.

Bibliografia: f. 61-63.

Apêndice: f. 64.

1. Eco-hidrologia. 2. Modelo SWAT. 3. Índices de alteração hidrológica.
4. Vazões – Simulações. 5. Ecossistema e processos hidrológicos. I. Título.

CDU: 628:556.5



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS



**IMPACTOS DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM REGIÃO SEMIÁRIDA: O CASO DA
BACIA DO RIO ACARAÚ-CE**

CLEDEILSON PEREIRA SANTOS

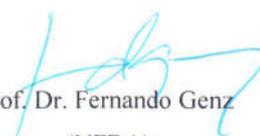
Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 07 de maio do ano de 2013.

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Christopher Freire Souza
(PPGRHS/UFAL)


Prof. Dr. Carlos Ruberto Fragozo Júnior
(PPGRHS/UFAL)


Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza
(PPGRHS/UFAL)


Prof. Dr. Fernando Genz
(UFBA)

DEDICATÓRIA

A minha amada e querida esposa, aos meus pais, irmãos e amigos.

AGRADECIMENTOS

O mestrado proporcionou experiências marcantes em minha vida, pois assim como a roda gigante, passei por altos e baixos. Contudo, as boas companhias me deram forças para vencer os obstáculos e alcançar meus objetivos. Por isso, devo os meus agradecimentos a:

-Deus, todo poderoso!!!!, pelo dom da vida e pelos sábios conselhos. Não chegaria até aqui se não fosse a tua presença;

-Minha esposa, pela paciência, companheirismo, carinho e por ter cuidado de mim até o dia de hoje. Não há palavras para expressar o quanto sou grato por ter você ao meu lado;

-Meus pais, pelo esforço para me dar educação e princípios de um verdadeiro cidadão. Teu filho os honra com este trabalho;

-Prof. Christopher, pois além da orientação de mestrado, foi pai, amigo, irmão, sabendo lidar com minhas dificuldades e sempre instigando para ir mais além. O tenho como espelho e referência;

-Benício e Carlos Alberto, por nossa grande amizade construída com gestos de sinceridade, companheirismo e também pelas fervorosas discussões. Posso dizer que ganhei 2 irmãos;

-A todos os professores do mestrado, dos quais adquiri conhecimento;

-Aos Secretários da Pós-Graduação, Rosane e Davi, sempre prestativos;

-A galera do racha, pois foram responsáveis pelos poucos momentos de descontração que o mestrado cedia, principalmente quando os “bolas murchas” entravam em cena;

- A FAPEAL pela bolsa de estudos, pois sem esse recurso não teria condições de concluir o curso;

-Enfim, muito obrigado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento por realizar parte do meu sonho e me projetar para a próxima etapa dele.

RESUMO

O conhecimento das relações entre processos hidrológicos e ecológicos em regiões semiáridas é fundamental para a conservação de ecossistemas fluviais, pois historicamente, o homem estabeleceu atividades nas proximidades de cursos d'água e conseqüentemente, o uso e ocupação do solo, bem como os usos múltiplos da água, tem alterado a dinâmica da água em seu ciclo hidrológico, afetando diretamente ecossistemas fluviais, por meio da modificação de habitats e estímulos ao comportamento de diversas espécies da fauna e da flora. Atualmente, a quantificação do uso e ocupação do solo acoplada à variação de vazões tem sido usada para indicar condições de ecossistemas fluviais no mundo. É neste contexto que o presente trabalho avalia qualitativamente os impactos eco-hidrológicos do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Acaraú, no estado do Ceará, considerando estatísticas que descrevem cinco aspectos do regime de vazões (magnitude, duração, período de ocorrência de eventos extremos, frequência e gradiente de vazões). Com base nos resultados obtidos, foram constatadas alterações eco-hidrológicas que variam de baixo a médio impacto, principalmente em aspectos como magnitude, período de ocorrência de eventos extremos e gradiente de vazões.

Palavras-chave: Eco-hidrologia. SWAT. IHA

ABSTRACT

The knowledge of the relationship between ecological and hydrological processes in semiarid regions is essential for the conservation of river ecosystems because historically, man has established activities near of stream courses and consequently, the use and occupation, well as the multiple uses water. The multiple water uses have changed the dynamics of water in the hydrological cycle, affecting directly river ecosystems, by modifying habitats and encourage behaviors in several species of fauna and flora. Currently, quantification of the land use coupled flow variation has been used to indicate conditions of fluvial ecosystems in the world. It is in this context that the present study evaluates qualitatively the ecohydrological impacts of the land use in the Acaraú river in the state of Ceará, considering statistics that describing five aspects of the flow regime (magnitude, duration, timing of annual, rate and frequency of water). Based on the results obtained, were verified ecohydrological changes ranging from low to medium impact, mainly on aspects such magnitude, period of occurrence of extreme events and gradient flows.

Key-word: Ecohydrology. SWAT. IHA

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-ESTRUTURA METODOLÓGICA	15
FIGURA 2-LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	16
FIGURA 3-DISTRIBUIÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES NA BACIA PELO MÉTODO DE THIESSEN.....	17
FIGURA 4-CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	18
FIGURA 5-TIPOS DE SOLOS	19
FIGURA 6-ESTAÇÕES HIDROCLIMÁTICAS	20
FIGURA 7-RESUMO DOS PRINCIPAIS PROCESSOS HIDROLÓGICOS REPRESENTADOS PELO SWAT	23
FIGURA 8-DELIMITAÇÃO DE SUB-BACIAS	24
FIGURA 9-MODELO NUMÉRICO DE TERRENO	25
FIGURA 10-SOUTHWESTERN US (ARID) RANGE	26
FIGURA 11-CAATINGA	26
FIGURA 12-CALIBRAÇÃO DO MODELO SWAT	35
FIGURA 13-VALIDAÇÃO DO MODELO SWAT	36
FIGURA 14-HIDROGRAMAS DIÁRIOS DE VAZÕES NATURAIS	37
FIGURA 15- MÉDIAS MENSAIS-JANEIRO	38
FIGURA 16-MÉDIAS MENSAIS-FEVEREIRO.....	39
FIGURA 17-MÉDIAS MENSAIS-MARÇO	39
FIGURA 18-MÉDIAS MENSAIS-ABRIL	40
FIGURA 19-MÉDIAS MENSAIS-MAIO	40
FIGURA 20-MÉDIAS MENSAIS-JUNHO.....	41
FIGURA 21-MÉDIAS MENSAIS-JULHO	41
FIGURA 22-MÉDIAS MENSAIS-DEZEMBRO.....	42
FIGURA 23-VARIAÇÃO ANUAL DAS MÉDIAS MÓVEIS MÁXIMAS (CENÁRIO I)	43
FIGURA 24-VARIAÇÃO ANUAL DAS MÉDIAS MÓVEIS MÁXIMAS (CENÁRIO II)	43
FIGURA 25-NÚMERO DE DIAS COM FLUXO ZERO.....	44
FIGURA 26-DIA JULIANO DE MÁXIMA ANUAL.....	45
FIGURA 27-NÚMERO DE ALTOS PULSOS DE VAZÕES	46
FIGURA 28-DURAÇÃO DE ALTOS PULSOS DE VAZÕES	46
FIGURA 29-TAXA DE ASCENSÃO DE VAZÃO.....	47
FIGURA 30-TAXA DE RECESSÃO DE VAZÃO	48
FIGURA 31-NÚMERO DE REVERSÕES ANUAIS DE VAZÕES	48
FIGURA 32- FATOR DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA POR CATEGORIA RVA.....	53

FIGURA 33-IMPACTOS ECO-HIDROLÓGICOS-RVA	54
FIGURA 34 -RVA vs MDR.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1-DISPONIBILIDADE DE DADOS DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICA ..	21
TABELA 2-CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA	29
TABELA 3- VALORES DOS PARÂMETROS MAIS SENSÍVEIS DO SWAT	36
TABELA 4-ÍNDICE DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA DO GRUPO 1	49
TABELA 5-ÍNDICE DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA DO GRUPO 2	50
TABELA 6-ÍNDICE DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA DO GRUPO 3	50
TABELA 7-ÍNDICE DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA DO GRUPO 4	51
TABELA 8-ÍNDICE DE ALTERAÇÃO HIDROLÓGICA DO GRUPO 5	51
TABELA 9-FREQUÊNCIAS PARA CADA CATEGORIA-RVA	52
TABELA 10-ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS ESTIMADAS PELO WGNMAKER 4.1 (EST. CRATEÚS)	64
TABELA 11-ESTATÍSTICAS DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS ESTIMADAS PELO WGNMAKER 4.1 (EST. SOBRAL)	64

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1-PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO.....	27
QUADRO 2-ESTATÍSTICAS CALCULADAS ATRAVÉS DO WGNMAKER 4.1	28
QUADRO 3-RESUMO DAS VARIÁVEIS DO IHA E SUAS INFLUÊNCIAS EM ECOSISTEMAS FLUVIAIS.....	31

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivos.....	13
2 MÉTODOS.....	15
2.1 Área de estudo.....	15
2.1.1 Uso e ocupação do solo.....	17
2.1.2 Tipos de solos.....	18
2.2 Dados hidroclimáticos.....	19
2.2.1 Estações fluviométrica e pluviométricas.....	20
2.2.2 Estações climatológicas.....	22
2.3 Modelagem hidrológica.....	22
2.3.1 Dados de entrada.....	24
2.3.2 Cenários de simulação.....	28
2.3.3 Calibração e validação do modelo.....	29
2.4 Escolha de variáveis hidrológicas ecologicamente relevantes.....	31
2.4.1 Índices de alteração hidrológica (IHA).....	31
2.5 Indicadores de alteração eco-hidrológica.....	33
3 RESULTADOS.....	35
3.1 Modelagem hidrológica.....	35
3.1.1 Calibração e validação do modelo.....	35
3.2 Análise de variáveis hidrológicas ecologicamente relevantes.....	37
3.2.1 Índices de alteração hidrológica (IHA).....	37
3.3 Impactos eco-hidrológicos.....	49
3.3.1 Estimativa pelo método de diferenças relativas (MDR).....	49
3.3.2 Estimativa pelo método RVA.....	51
3.3.3 Método RVA vs MDR.....	54
4 DISCUSSÃO.....	56
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	61
APÊNDICE.....	64

APRESENTAÇÃO

O desejo de estudar as relações entre processos hidrológicos e ecológico teve origem na graduação, através da participação em projetos de iniciação científica e desenvolvimento do TCC envolvendo pesquisas sobre impactos ambientais das ações antrópicas sobre o regime hidrológico.

Ao concluir a graduação, veio o interesse de continuar os estudos através do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, onde tive a oportunidade de conhecer e ser orientado pelo Prof. Christopher Freire, que desenvolveu sua tese de doutorado sobre métodos de escolhas de vazões ambientais com abordagens eco-hidrológicas.

A dissertação de mestrado teve como tema inicial: “Impactos Eco-Hidrológicos do Uso e Ocupação do Solo no Semiárido Alagoano” que era vinculada ao projeto de pesquisa denominado como “Estudos hidrológicos e sedimentológicos em bacias experimentais e representativas do semiárido e cerrado”. A bacia experimental situava no município de Santana do Ipanema-AL, porém devido a problemas operacionais e logísticos a área de estudo foi transferida para o município de Delmiro Gouveia-AL, por apresentar um ambiente favorável e seguro para a pesquisa.

Estudos de impactos eco-hidrológicos exigem séries hidrológicas com extensão de pelo menos 15 anos, e na nova área de trabalho não havia estações pluviométricas e fluviométricas. Pretendíamos então estimar precipitações através do satélite TRMM e gerar séries sintéticas de vazões através de um modelo chuva-vazão. Porém, após apresentar essa proposta no exame de qualificação de mestrado, a banca examinadora recomendou escolher uma bacia do semiárido com séries hidrológicas consideráveis para o estudo, pois as incertezas do TRMM somadas com as do modelo chuva-vazão seriam muito grande. Diante disso, escolhemos a bacia do rio Acaraú, no estado Ceará, por possuir condições favoráveis para o estudo, dando origem ao tema atual de trabalho: "Impactos Eco-Hidrológicos do Uso e Ocupação do Solo em Região Semiárida: O Caso da Bacia do Rio Acaraú, Ceará.

1 INTRODUÇÃO

O Semiárido brasileiro é um dos maiores, mais populosos e também mais úmidos do mundo. A região ocupa uma área de 969.589,4 km², abrangendo ao todo nove estados brasileiros (Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Ceará, Bahia e Minas Gerais) (Brasil, 2005). O peculiar regime de chuvas rápidas (200 mm a 800 mm anuais) aliado ao subsolo rico em rochas cristalinas, de baixa permeabilidade, dificulta a penetração de água no subsolo, inibindo a formação de aquíferos subterrâneos. As principais características hidrológicas de rios e córregos nesta região têm sido os extremos de inundações e ausência de fluxo permanente de água (Maltchik & Medeiros, 2006; Semiárido, 2012).

Esforços para gerir e conservar o regime de vazões naturais desses sistemas são prejudicados por informações técnicas limitadas no que tange intervenções antrópicas em processos hidrológicos e ecológicos, e suas respostas à alta variabilidade natural do regime pluviométrico e de vazões. As questões mais importantes na conservação de córregos em áreas semiáridas do Brasil são a necessidade de seu reconhecimento como importantes sítios de biodiversidade, e que essa biodiversidade está intimamente associada com padrões naturais de fluxo e perturbações hidrológicas. Sem a compreensão de como os extremos de cheias e secas afetam ecossistemas fluviais, as estratégias de conservação dos córregos e ecossistemas do semiárido brasileiro não serão eficazes (Maltchik & Medeiros, 2006).

A transição do ambiente não-antropizado para o ambiente dominado pelo homem tem impactado ecossistemas em todo o mundo. Isso porque acredita-se que a composição, estrutura e funcionamento atual de ecossistemas fluviais resultam das condições hidrológicas e fisiográficas às quais esteve submetido. A quantificação do uso e ocupação do solo tem sido um indicador valioso do estado dos ecossistemas no mundo (Meyer & Turner, 1994; Allan, 2004), pois centenas de estudos estatísticos, associando o uso do solo e o estado de rios, fornecem evidências da importância da paisagem para a integridade ecológica de rios. De acordo com Sheldon et al. (2000), devido à complexidade dos estudos, é comum fazer comparações estatísticas entre a bacia em questão e sistemas fluviais primitivos, porém com características comportamentais semelhantes.

Estudos de avaliação de impactos eco-hidrológicos, embora promissores, apresentam três pontos críticos: (i) identificar índices adequados; (ii) identificar melhores métodos de comparação e (iii) reconstituição do regime natural de vazões, especialmente nos casos em

que não há estações fluviométricas em locais de referência, ou seja, em pontos considerados como intocados pela ação do homem. De acordo com Olden & Poff (2003), índices eco-hidrológicos têm sido aplicados para caracterizar impactos em termos de variáveis hidrológicas biologicamente relevantes, descrever a variabilidade de regimes hidrológicos individuais ou regionais e para quantificar alterações antrópicas ao regime de vazões. Atualmente há centenas de índices eco-hidrológicos disponíveis na literatura, porém a escolha destes deve ser realizada cuidadosamente para evitar a redundância nas análises e para que o conjunto escolhido represente os principais componentes do regime de vazões (previsibilidade e variabilidade de magnitude, duração, período de ocorrência, frequência e gradiente de vazões). Olden & Poff (2003), sugerem que os índices que compõem o método IHA (Indicators Hydrologic Alteration, Richter et al., 1996) são não-redundantes e adequados para representar esses componentes em rios americanos, que têm regimes bastante heterogêneos, incluindo rios perenes e rios intermitentes.

A reconstituição do regime de vazões naturais é também alvo de estudos com diferentes abordagens. De acordo com Maheshwari et al. (1995) *apud* Sheldon et al. (2000), o uso de modelos hidrológicos tem sido bem sucedido para atender tal finalidade, apesar da calibração e simulação de processos em rios intermitentes provavelmente apresentar incerteza superior ao que se obtém para rios perenes, possibilitando assim estudos sobre os efeitos das ações antrópicas sobre rios, bem como para outras aplicações em bacias hidrográficas.

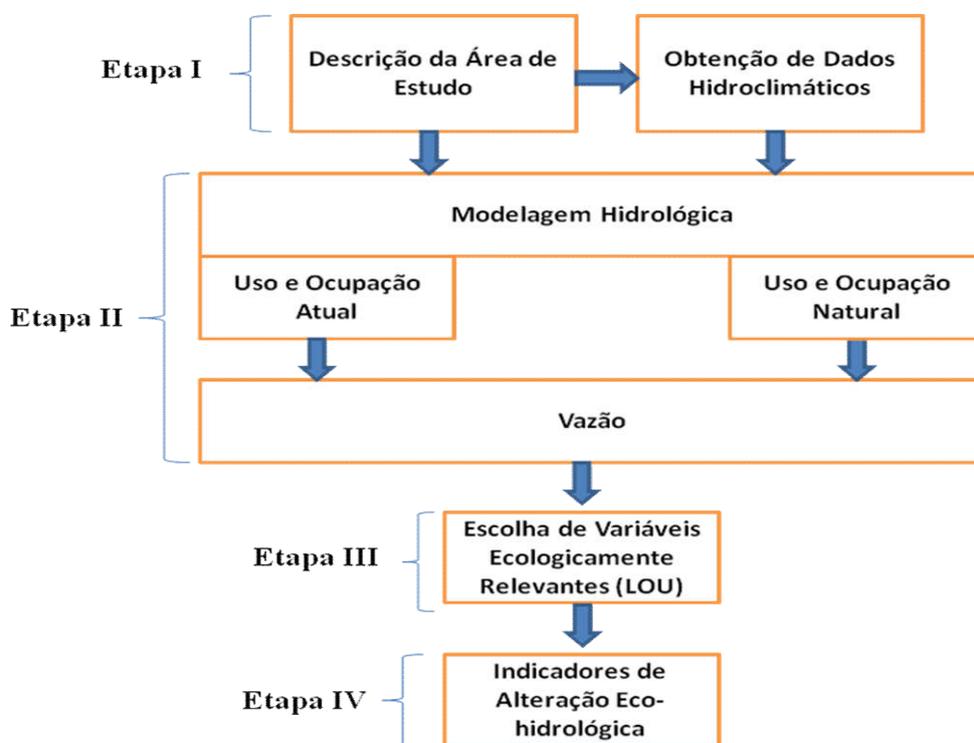
1.1 Objetivos

No presente trabalho, objetivou-se avaliar qualitativamente os impactos eco-hidrológicos de mudanças do uso e ocupação do solo na bacia do rio Acaraú, no semiárido brasileiro, a partir de simulação hidrológica. Especificamente, era de interesse (a) investigar a qualidade da modelagem hidrológica de bacia do semiárido; (b) avaliar a capacidade de caracterização de impactos eco-hidrológicos estimados por índices do método IHA em rio intermitente

2 MÉTODOS

O presente item descreve os procedimentos metodológicos e as ferramentas adotadas para que o trabalho fosse desenvolvido. A metodologia foi estruturada em quatro etapas (Figura 1), onde inicialmente foram levantadas informações sobre o uso e ocupação do solo atual, bem como dados hidroclimáticos úteis à caracterização hidrológica e alimentação do modelo hidrológico. Na sequência, foram analisadas as variáveis hidrológicas que são aplicáveis para rios de regimes intermitentes e por fim, a qualificação de impactos eco-hidrológicos.

Figura 1-Estrutura Metodológica



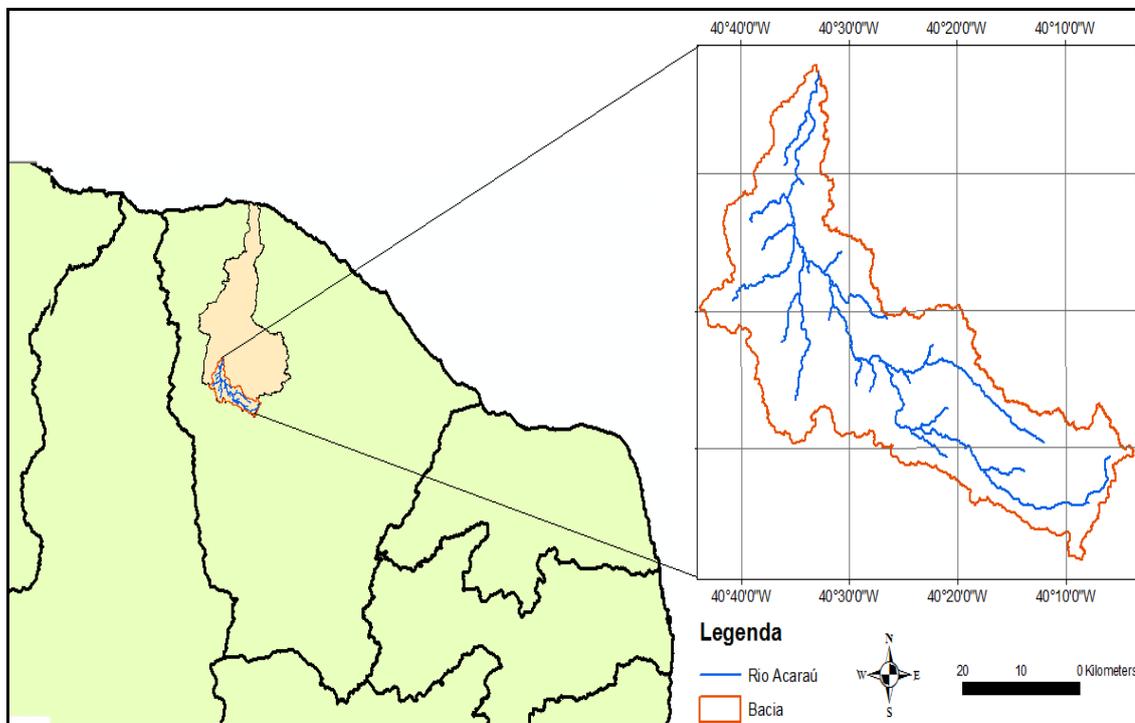
Fonte: Autor

2.1 Área de Estudo

A área de estudo escolhida para a execução do trabalho situa-se na bacia do rio Acaraú, no estado do Ceará, com área de drenagem de 1560,11 km² (Figura 2) e exutório na Fazenda Cajazeiras (estação fluviométrica de código-35210000 operada pela Agência Nacional de Águas, ANA). Nesta área estão inseridos sete municípios do Ceará (Tamboril,

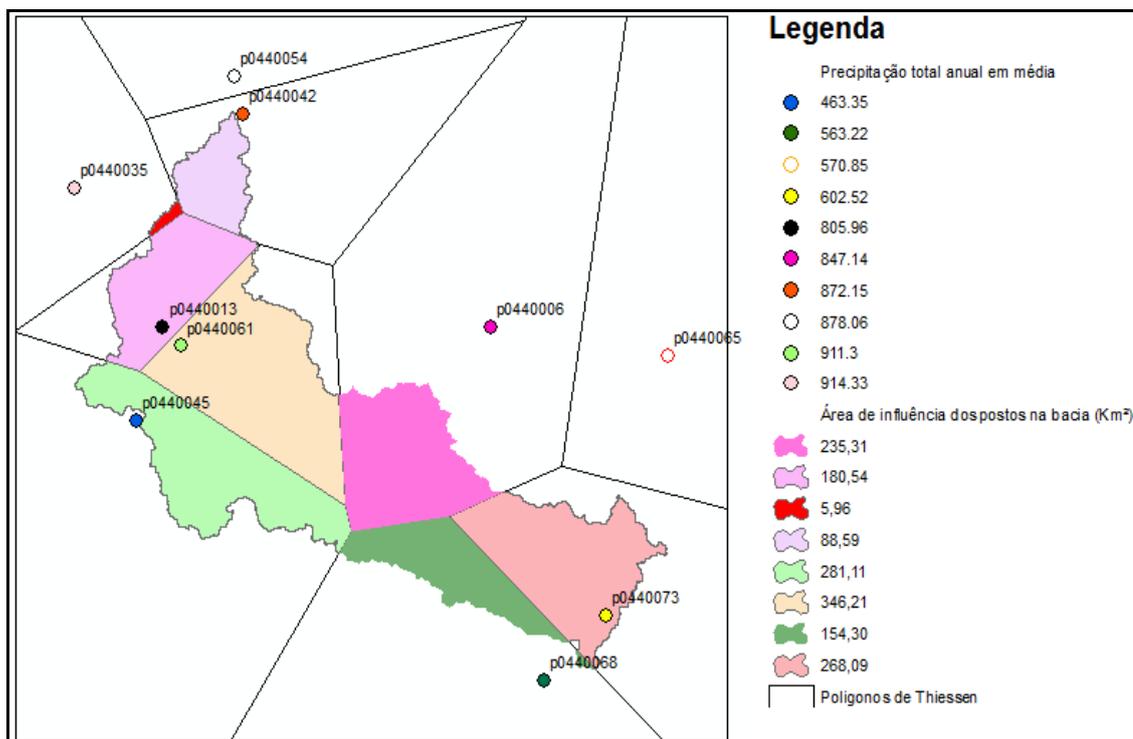
Nova Russas, Monsenhor Tabosa, Ipueiras, Ipu, Hidrolândia), com clima semiárido (Brasil, 2005), onde em média as precipitações totais anuais estimadas pelo método de Thiessen é da ordem de 719 mm (Figura 3).

Figura 2-Localização da área de estudo



Fonte: Autor

Figura 3-Distribuição das precipitações na bacia pelo método de Thiessen

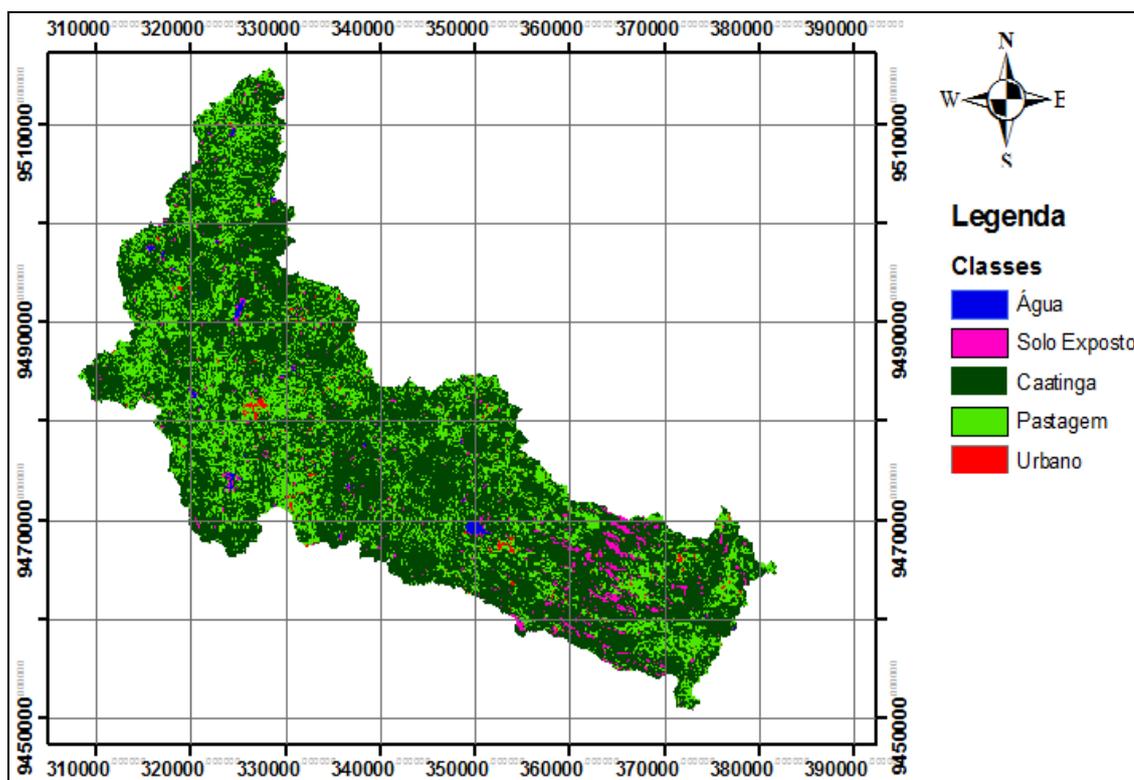


Fonte: Autor

2.1.1 Uso e Ocupação do Solo

A partir de classificação supervisionada de imagens do LANDSAT_5_TM adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com passagem em 03/07/2011, e com auxílio de mapas disponibilizados pela Secretaria do Planejamento e Gestão do estado do Ceará, estima-se que 69,35 % da bacia é ocupada por vegetação nativa (caatinga arbustiva aberta), 27,1% de pastagem, 2,50% de solo exposto, 0,64% de área urbana e 0,40% de água (Figura 4) referentes à açudagem.

Figura 4-Classes de uso e ocupação do solo



Fonte: Autor

2.1.2 Tipos de Solos

Segundo a classificação de solos da EMBRAPA (2011), a bacia é composta por três tipos de solos (Figura 5):

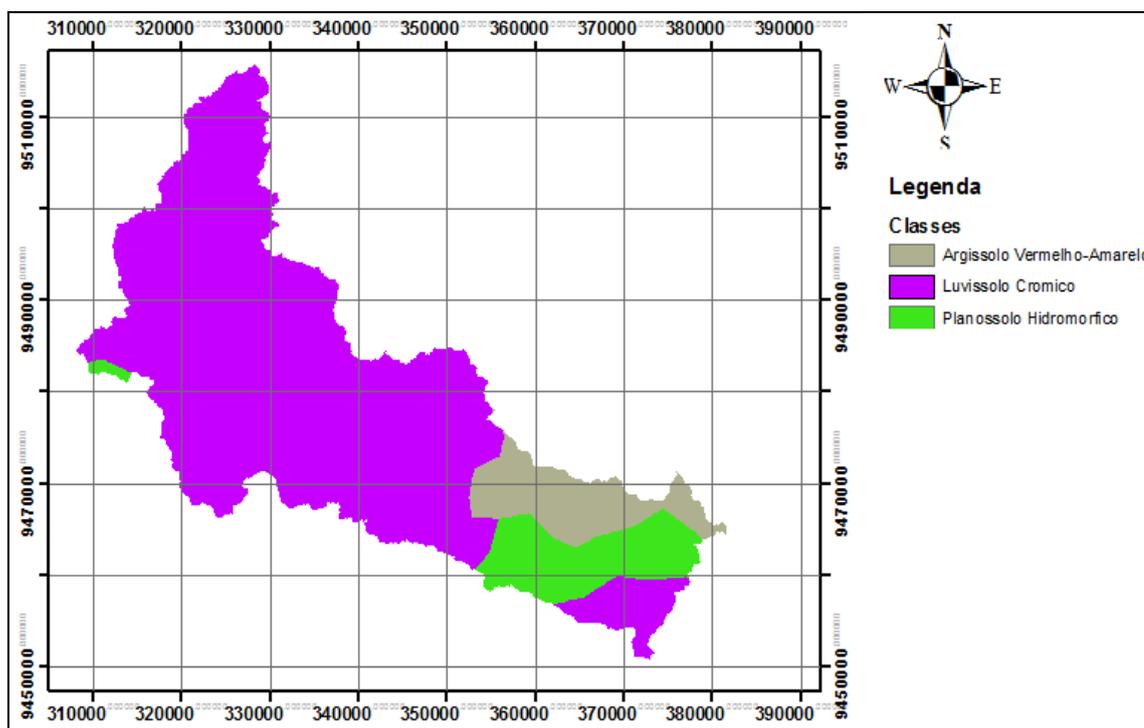
Argissolo Vermelho-Amarelo- Situados na parte alta da bacia, apresentam profundidades variáveis entre pouco profundo (50–100 cm) e profundo (100–200 cm). Hidrologicamente suas características de drenagem também são variáveis, ou seja, classificam-se entre solos bem drenados e moderadamente drenados (IBGE, 2007), onde a água infiltra ou escorre com facilidade, porém não rapidamente;

Luvisso Crômico- Predominante nas partes baixa e média da bacia, caracterizam-se por serem pouco profundos. O horizonte A+E é arenoso, com alta permeabilidade, porém suas limitações são devidas a baixa permeabilidade do horizonte B (Sartori *et al.*, 2005) o que

facilita os processos erosivos sendo os solos com altos índices de erodibilidade e escoamento superficial;

Planossolo Hidromórfico- Compreendem solos minerais pouco profundos a profundo, imperfeitamente ou mal drenados com permeabilidade lenta ou muito lenta (IBGE, 2007; Sartori *et al.*, 2005), constituindo por vezes um horizonte que é responsável pela detenção do lençol d'água sobreposto (suspensão), de existência periódica e presença variável durante o ano.

Figura 5-Tipos de solos

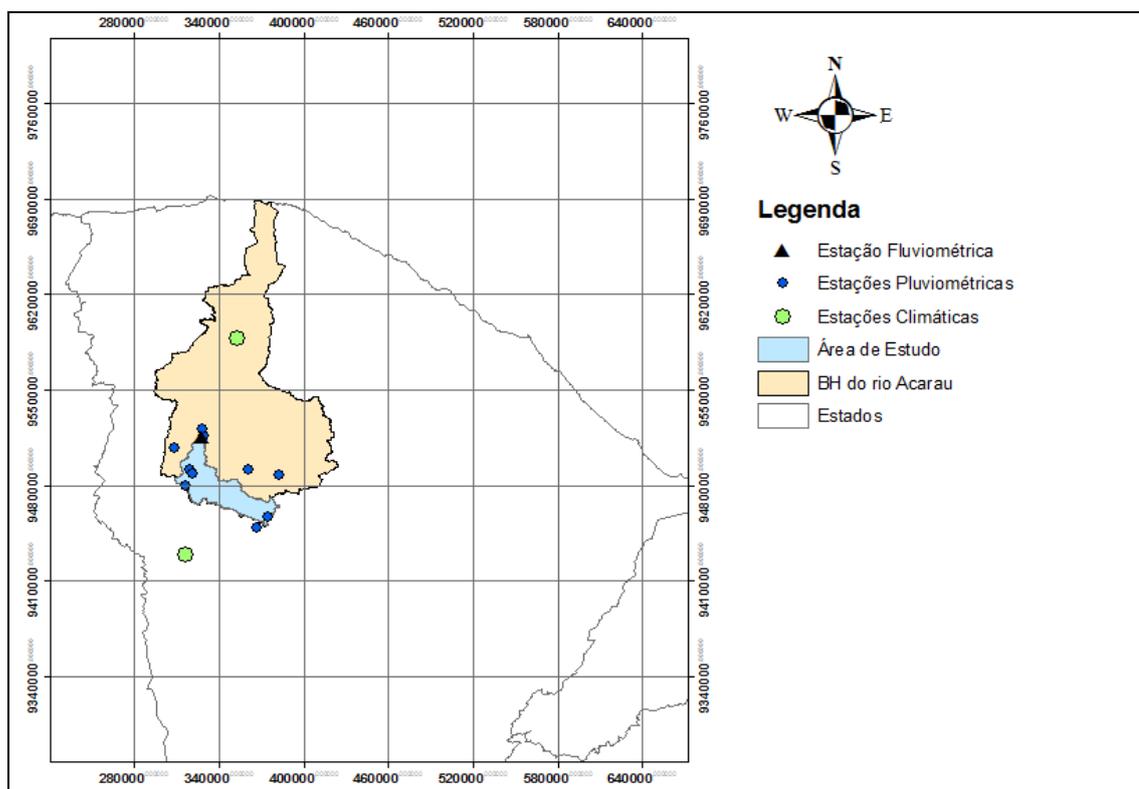


Fonte: Autor

2.2 Dados Hidroclimáticos

Neste trabalho foram obtidos dados de vazões, precipitações e de variáveis climáticas nas estações situadas dentro e nas proximidades da bacia (Figura 6).

Figura 6-Estações Hidroclimáticas



Fonte: Autor

2.2.1 Estações Fluviométrica e Pluviométricas

De acordo com Kennard *et al.* (2010), são necessárias extensões de séries diárias superiores a 15 anos de dados contínuos para identificar características hidrológicas importantes para estudos eco-hidrológicos, portanto, neste trabalho foram selecionadas estações que possuem registros a partir do ano de 1981 ao ano 2010. A estação fluviométrica utilizada no estudo foi a da Fazenda Cajazeiras, onde apresenta falhas em apenas dois anos da série. Quanto às estações pluviométricas, foram usados 10 pontos de medições operados pela ANA (Código-440042) e pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), onde observa-se a grande quantidade de falhas na maioria das estações entre os anos de 1981 a 2000 (Tabela 1).

Tabela 1-Disponibilidade de dados das estações pluviométricas e fluviométrica

Código	440042	440013	440061	440045	440068	440073	440006	440065	440054	440035	35210000
1981											
1982											
1983											
1984											
1985											
1986											
1987											
1988											
1989											
1990											
1991											
1992											
1993											
1994											
1995											
1996											
1997											
1998											
1999											
2000											
2001											
2002											
2003											
2004											
2005											
2006											
2007											
2008											
2009											
2010											

Anos sem falhas (estações pluviométricas)
 Anos sem falhas (estação fluviométrica)
 Anos com N° de falhas entre 1 e 366

2.2.2 Estações Climatológicas

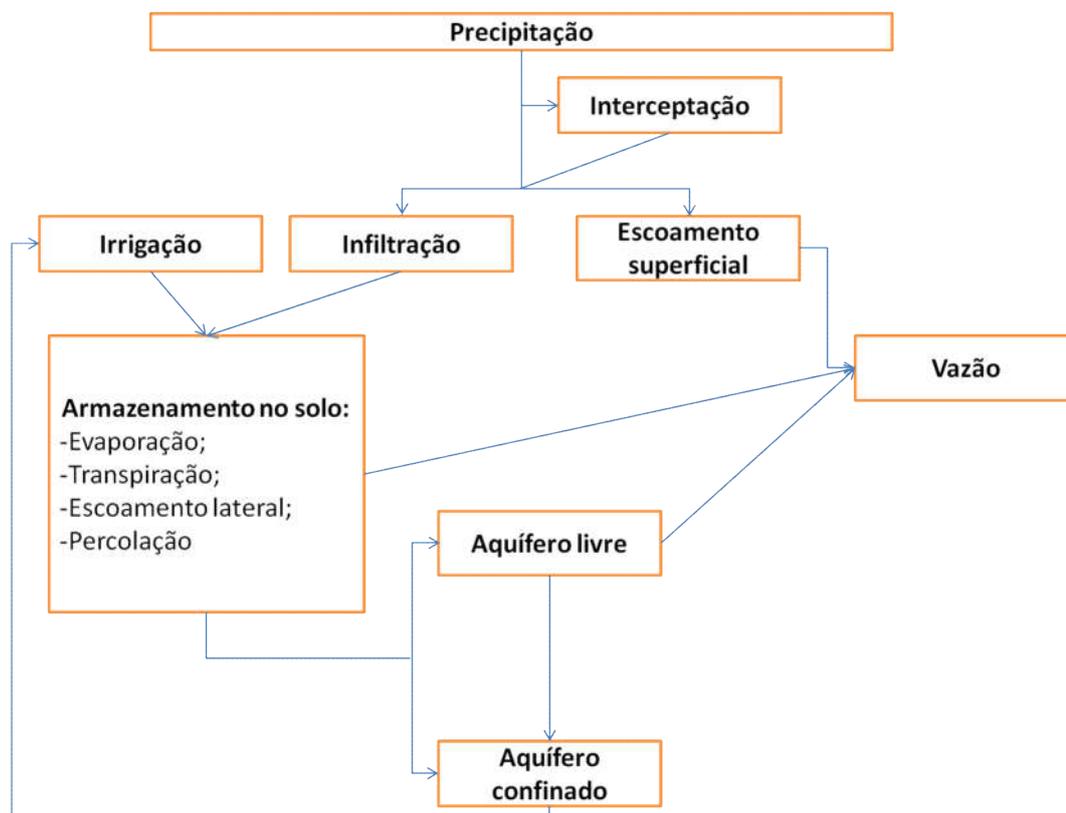
Foram adquiridos dados das estações climatológicas (1981-2010) de Crateús (código-82583) e Sobral (código-82392), através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), onde são disponibilizadas séries temporais de temperaturas mínimas e máximas, velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação e insolação. Essas variáveis climáticas são requeridas na fase de modelagem hidrológica.

2.3 Modelagem Hidrológica

O modelo hidrológico adotado para reconstituir séries naturais de vazões e simular o escoamento superficial na bacia é o Soil Water Assessment Tool (SWAT), pois esse modelo foi desenvolvido para analisar impactos das alterações do uso do solo sobre o escoamento da água, produção de sedimentos e qualidade da água em bacias hidrográficas (Neitsch *et al.*, 2011). Neste trabalho, o modelo foi usado acoplado ao ArcGIS versão 9.3, através da extensão ArcSWAT 2009.

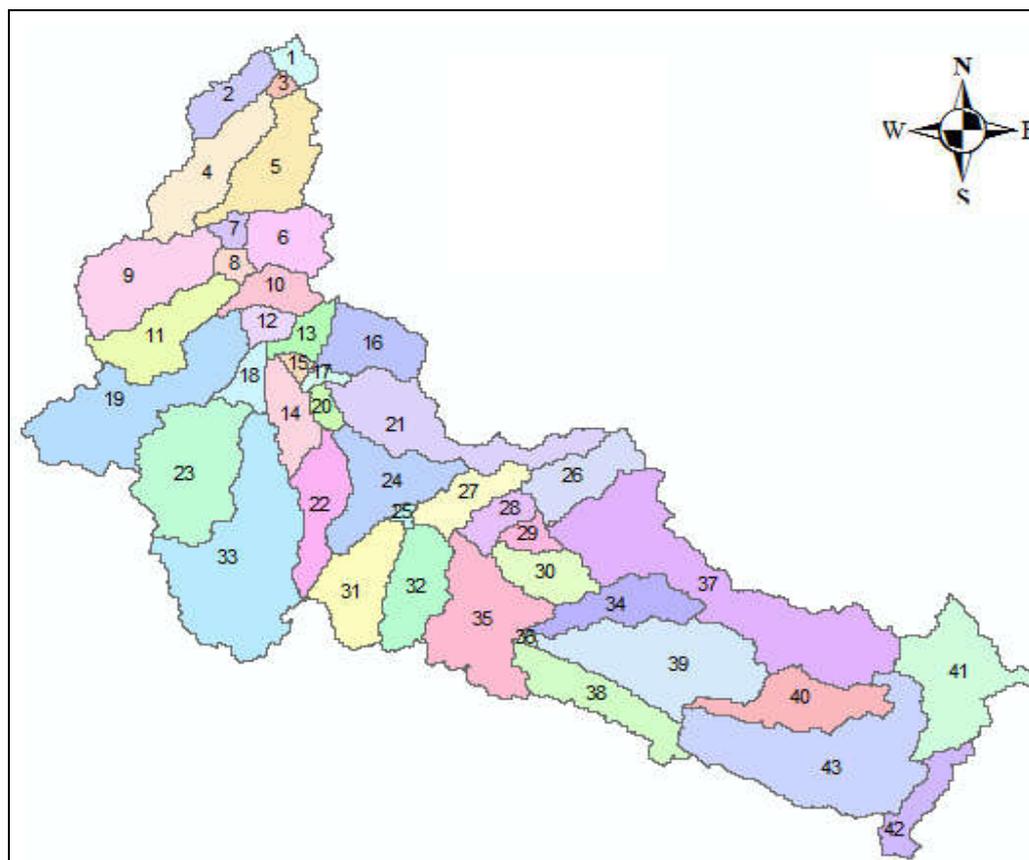
O SWAT é um modelo do tipo distribuído, de base física e sua estrutura permite que diferentes processos físicos sejam simulados em bacias hidrográficas. Seus principais componentes incluem clima, hidrologia (escoamento superficial, percolação, interceptação, infiltração, escoamento subsuperficial, escoamento de base e evapotranspiração, Figura 7), temperatura do solo, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas, bactérias e patógenos, e manejo do solo.

Figura 7-Resumo dos principais processos hidrológicos representados pelo SWAT



Fonte: Adaptado de Neitsch *et al.*, 2011.

No SWAT, a bacia hidrográfica é dividida em múltiplas sub-bacias e o número destas depende da área mínima de drenagem adotada para que os cursos d'água venham a ser formados. Como não se têm conhecimento dessa informação na área de estudo, adotamos uma área mínima de 2000 hectares, das quais foram geradas 43 sub-bacias (Figura 8). Após a delimitação das sub-bacias, o modelo faz combinações entre o uso e ocupação do solo, tipos de solos e declividade, dando origem as Unidades de Resposta Hidrológica (URHs). Devido à subdivisão em URH, o modelo estima a evapotranspiração para os diferentes cultivos e tipos de solos, bem como o escoamento superficial é predito separadamente para cada URH, para que se obtenha uma melhor representação física dos processos hidrológicos.

Figura 8-Delimitação de sub-bacias

Fonte: Autor

2.3.1 Dados de Entrada

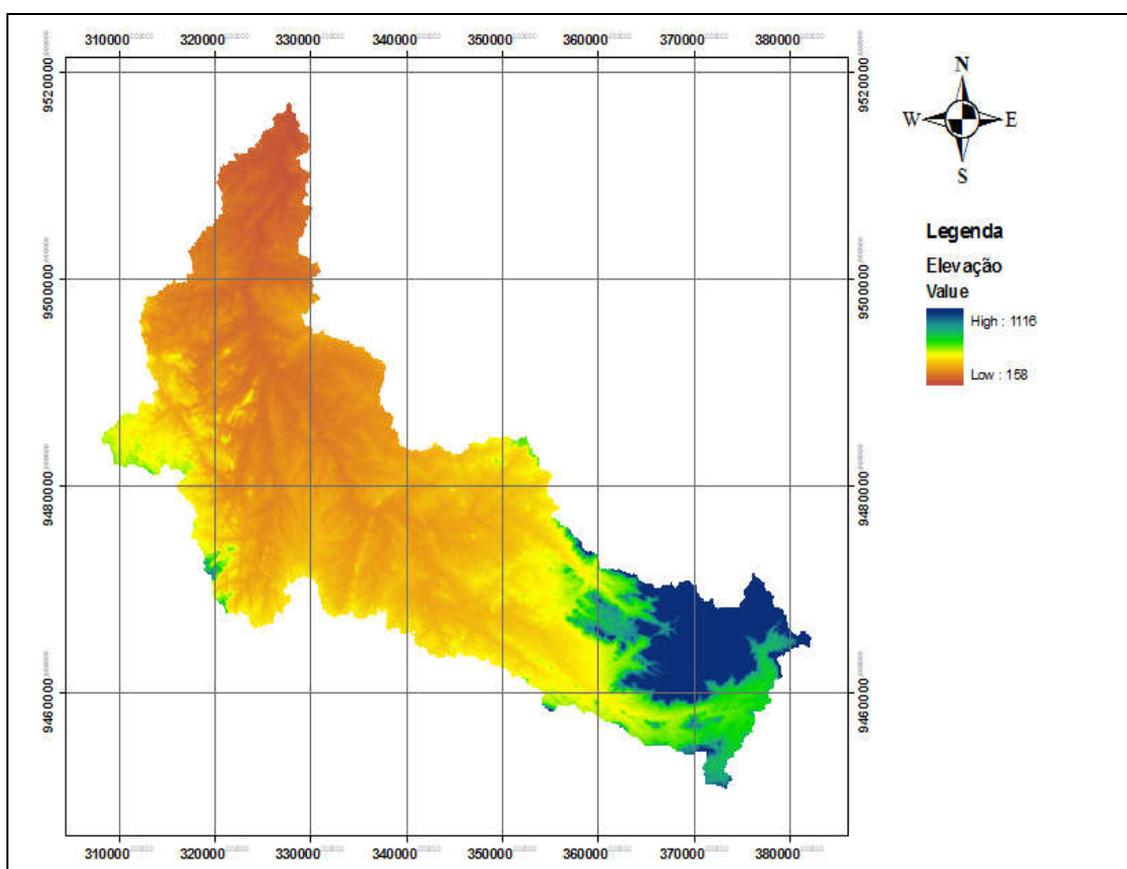
O SWAT requer uma grande quantidade de informação para a modelagem hidrológica. Neste trabalho utilizamos os seguintes dados:

- 1-Modelo numérico de terreno;
- 2-Uso e ocupação do solo;
- 3-Tipos de solos;
- 4-Clima.

2.3.1.1 Modelo Numérico de Terreno (MNT)

O MNT foi adquirido através do website da Embrapa, onde são disponibilizados dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Para cada área de 90 metros por 90 metros do território nacional (Figura 9), dispõe-se de uma medida altimétrica. O arquivo de base foi recuperado e tratado matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea (Miranda, 2005).

Figura 9-Modelo Numérico de Terreno



Fonte: Autor

2.3.1.2 Uso e Ocupação do Solo

O SWAT possui um amplo banco de dados com diversos tipos de usos do solo e cobertura vegetal, porém vale destacar que a caatinga é uma vegetação exclusiva do semiárido brasileiro. Portanto, utilizamos o tipo de vegetação disponível no banco de dados do modelo que mais se aproxima da caatinga em aspectos paisagísticos e morfológicos (Figura 10 e Figura 11), que é a do “Southwestern US (arid) Range”.

Figura 10-Southwestern US (arid) Range



Fonte: R. Pendleton

Figura 11-Caatinga



Fonte: UFCG

2.3.1.3 Tipos de Solos

Como observado no item 2.1.2, a bacia é composta por Argissolo Vermelho-Amarelo, Luvisso Crômico e Planossolo Hidromórfico. As propriedades físico-químicas de cada solo foram adquiridas com base nas fontes apresentadas no

Quadro 1.

Quadro 1-Propriedades físico-químicas do solo

Propriedades físico-químicas do solo	Fonte
Capacidade de armazenamento	FAO <i>et al</i> ,2008
Areia (%)	FAO <i>et al</i> ,2008
Silte (%)	FAO <i>et al</i> ,2008
Argila (%)	FAO <i>et al</i> ,2008
Carbono Orgânico	FAO <i>et al</i> ,2008
Densidade de massa úmida	FAO <i>et al</i> ,2008
Albedo	ORNL DAAC, 2011
Condutividade Hidráulica	Fetter, 1988
Erodibilidade do solo	Williams, 1995
Condutividade elétrica	FAO <i>et al</i> ,2008

2.3.1.4 Clima

O SWAT é um modelo que trabalha com sub-bacias, portanto, para gerar dados climáticos diários representativos para cada sub-bacia, foi usado o WGNmaker 4.1 (Boisramé, 2013) pois trata-se de uma macro em Excel, programada para calcular estatísticas de variáveis climáticas (Quadro 2, APÊNDICE

Tabela 10 e Tabela 11) necessárias para a criação de arquivos de estações climáticas para o SWAT . Quando não há dados de uma determinada variável climática na área de estudo, o gerador climático do SWAT utiliza esses arquivos para simula-los. Ao final desta etapa, cada sub-bacia assume os valores das estatísticas calculadas da estação climática mais próxima.

Quadro 2-Estatísticas Calculadas através do WGNmaker 4.1

RAIN_YRS	Números de anos utilizados para calcular a precipitação máxima de 30 minutos
TMPMX	Média das temperaturas máximas do ar para cada mês (°C)
TMPMN	Média das temperaturas mínimas do ar para cada mês (°C)
TMPSTDMX	Desvio padrão das temperaturas máximas do ar para cada mês (°C)
TMPSTDMN	Desvio padrão das temperaturas mínimas do ar para cada mês (°C)
PCPMM	média das Precipitação para cada mês (mm)
PCPSTD	Desvio padrão das Precipitação para cada mês (mm/dia)
PCPSKW	Coefficiente Skew para a precipitação diária no mês
PR_W(1)	Probabilidade de dia úmido (com chuva) seguido de um dia seco no mês
PR_W(2)	Probabilidade de dia úmido seguido de outro dia umido no mês
PCPD	Número médio de dias com chuva no mês
RAINHHMX	Precipitação máxima de 30 minutos (mm)
SOLARAV	Radiação solar média diária no mês (MJ/m ² /dia)
DEWPT	Ponto de orvalho médio diário no mês (°C)
WNDVAV	Média diária de velocidade do vento para cada mês (m/s)

2.3.2 Cenários de Simulação

O intervalo de tempo utilizado na modelagem hidrológica é de 1981 a 2010, sendo que os três primeiros anos foram destinados ao “aquecimento” do modelo. Portanto, as vazões são geradas a partir de 01/01/1984, totalizando 27 anos de dados diários. As simulações ocorreram para dois cenários distintos: cenário I, visando à simulação do estado atual, mediante calibração e verificação do modelo, e cenário II (Tabela 2), para representar o comportamento do rio sem influência antrópica na cobertura e uso do solo na bacia.

Independentemente do desempenho do SWAT, haveria resíduos entre os valores observados na estação fluviométrica e os estimados pelo modelo, por se tratar de diferentes mecanismos de medição. Tais resíduos podem influenciar significativamente na qualificação

de impactos eco-hidrológicos, portanto, optou-se por utilizar apenas vazões estimadas pelo modelo hidrológico para os dois cenários.

Tabela 2-Cenários de simulação hidrológica

Classes de Uso e Ocupação do Solo	Cenário I	Cenário II
	Área (%)	Área (%)
Água	0,4	0
Urbano	0,64	0
Caatinga Arbustiva Aberta	69,35	100
Pastagem	27,1	0
Solo exposto	2,5	0

2.3.3 Calibração e Validação do Modelo

Antes da calibração do SWAT, foi realizada a análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo para ter conhecimento dos parâmetros de maior importância para o caso da bacia do rio Acaraú. Para essa análise adotamos o método LH-OAT, disponível na interface do ArcSWAT 2009. Esse método é baseado na combinação de dois outros métodos, o Latin Hypercube (LH) e o One-factor-At-a-Time (OAT). Durante a análise de sensibilidade, o SWAT executa $(P+1)*m$ vezes, onde P é o número de parâmetros a serem avaliados e m é o número de ciclos LH. Para cada ciclo, um conjunto de valores de parâmetros é selecionado. Esse conjunto é usado como linha de base da simulação. Em seguida, usando o OAT, um parâmetro é selecionado aleatoriamente e o valor deste é modificado baseado na simulação anterior. O SWAT executa um novo conjunto de parâmetros e um parâmetro diferente é selecionado de forma aleatória e variada. Depois que todos os parâmetros foram avaliados, o algoritmo LH localiza uma nova área de amostragem por modificação de todos os parâmetros (LIEW & VEITH). Ao final da análise de sensibilidade, o modelo gera um arquivo que apresenta o ranking dos parâmetros mais influentes para a realidade da bacia em estudo.

Diante da disponibilidade de dados pluviométricos e fluviométrico (Tabela 1), observa-se que o melhor intervalo de tempo para realizar a calibração e validação do modelo situa-se entre os anos 2001 e 2010, por apresentar séries com as maiores sequencias de dados

sem falhas. Portanto, foram comparadas as vazões diárias geradas no cenário I e as vazões diárias observadas na estação fluviométrica Fazenda Cajazeiras, referentes ao período de 01/01/2001 a 31/12/2005 para a calibração e de 01/01/2006 a 31/12/2010 para a validação do modelo.

Nesta etapa, optou-se pela calibração manual, isto é, ajuste por tentativas, sendo selecionados os valores iniciais dos parâmetros em função de características físicas, os quais passaram a ser ajustados para melhor representar as vazões observadas. Quanto aos métodos estatísticos utilizados para avaliar a qualidade do ajuste do modelo aos dados observados, foram adotados o coeficiente de Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) e o Percentual de Tendência (PBIAS), por serem mais usuais na literatura em aplicações com o SWAT. Os dois métodos são calculados através das equações 1 e 2 respectivamente.

Equação 1

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{med})^2} \right]$$

Equação 2

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim}) * (100)}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs})} \right]$$

Onde:

Q_{obs} = Vazão observada;

Q_{sim} = Vazão simulada;

Q_{med} = Média das vazões observadas

O NSE varia entre menos infinito e 1.0 (Valor ótimo). Valores entre 0.0 e 1.0 geralmente são vistos como níveis de desempenho aceitáveis e valores ≤ 0.0 , indicam que é melhor utilizar a média dos dados observados que o valor predito pelo modelo (Nash & Sutcliffe, 1970). Quanto ao PBIAS, seu valor ótimo é de 0.0, baixas magnitudes indicam boa

precisão na simulação do modelo. Valores positivos indicam tendência percentual do modelo de subestimação e valores negativos, tendência percentual de superestimação (Gupta *et al.*, 1999).

2.4 Escolha de Variáveis Hidrológicas Ecologicamente Relevantes

As vazões geradas para os cenários I e II, foram examinadas através do software LOU, programa computacional composto de estatísticas paramétricas (média / desvio padrão) e não-paramétricas (percentil), desenvolvido no escopo do trabalho de Souza (2009), pois permite acesso a variáveis e estatísticas relacionadas aos cinco aspectos do regime hidrológico de rios, norteando assim a escolha das variáveis hidrológicas que caracterizem de forma específica a realidade de rios intermitentes.

2.4.1 Índices de Alteração Hidrológica (IHA)

O LOU também foi usado para estimar os índices do método IHA, descritos no Quadro 3, onde as análises foram baseadas no ano hidrológico de cheia e de estiagem, sendo o ano hidrológico de cheias com início no mês em que se inicia o período chuvoso e o de estiagem, no mês em que cessam as chuvas.

Quadro 3-Resumo das Variáveis do IHA e suas Influências em Ecossistemas Fluviais.

Aspecto	Variáveis Hidrológicas	Influência em Ecossistemas
Magnitude	Média ou mediana para cada mês do ano.	Disponibilidade de habitats para organismos aquáticos; Umidade do solo para plantas; Influência da temperatura da água nos níveis de oxigênio.
	Subtotal: 12	
Magnitude e Duração Anual de Eventos Extremos	Média das vazões máximas e mínimas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias; Número de dias com fluxo zero e Vazão de base (mínimas médias anuais de 7 dias/média anual).	Estruturação dos ecossistemas aquáticos por fatores abióticos vs biótico; Estruturação morfológica do canal do rio e condições físicas de habitats; Distribuição de comunidades de plantas de lagos, lagoas, várzeas; Estresse de umidade do solo em plantas.
	Subtotal: 12	

Período de Ocorrência	Dia Juliano de vazão mínima anual e Dia Juliano de vazão máxima anual.	A previsibilidade / esquiwa de estresse para organismos; O acesso a habitats especiais durante as cheias.
	Subtotal: 2	
Frequência e duração de altos e baixos pulsos	Número de altos pulsos por ano; Número de baixos pulsos por ano; Média ou mediana da duração de altos pulsos (dias); Média ou mediana da duração de baixos pulsos (dias).	Frequência e estresse hídrico para as plantas; Trocas de nutrientes e matéria orgânica entre rio e planície de inundação; Acesso para alimentação, repouso e locais de reprodução para aves aquáticas.
	Subtotal: 4	
Gradiente de Vazão	Taxa de ascensão de Vazões; Taxa de recessões de Vazões; Número de reversões anuais.	Determina a conexão de rio com área ripária ou lagos marginais, ou a capacidade de raízes manterem contato com o lençol freático.
	Subtotal: 3	
	Total: 33	

Fonte: Adaptado de TNC (2007).

Para a aplicação do método IHA foram necessários os seguintes passos:

- 1- Definição da série de vazões geradas para os dois cenários;
- 2- Escolha de limites de magnitude para a definição de altos e baixos pulsos de vazões. Neste estudo foram adotados os valores padrões sugeridos no IHA, onde a ocorrência de vazões inferiores à média menos um desvio padrão das vazões naturais (cenário II) são classificadas como de baixo pulso, enquanto que vazões superiores à média menos um desvio padrão, classificam-se como de alto pulso;
- 3- Cálculo de valores anuais das 33 variáveis que caracterizam aspectos do regime;
- 4- Computar índices que medem tendência central (média) e variação (desvio padrão) para cada variável, baseada nos valores calculados no passo 3.

2.5 Indicadores de Alteração Eco-Hidrológica

Na avaliação de impactos de atividades antrópicas por meio de análise de alterações do regime de vazões, a escolha de limites de alterações de aspectos do regime hidrológico demanda estudos de relações entre processos ecológicos e hidrológicos localmente. Na maior parte das vezes, a escolha de limites é subjetiva em função da inexistência ou limitação de estudos a algumas espécies. Nesses casos, Richter et al.(1998) recomenda a adoção de limites qualitativos em vez de informações para poucas espécies. Uma opção é a caracterização de alteração de aspectos do regime de vazões em três classes: baixo impacto, para valores inferiores a 33% (Richter et al., 1998), impacto moderado para valores entre 34 e 67%, e, alterações de impacto severo para valores superiores a 67%. Essas alterações são comumente calculadas através do método de diferenças relativas entre índices eco-hidrológicos computados para o regime modificado e o natural. Outra abordagem desenvolvida por Richter et al. (1997) para caracterizar esses impactos é a Abordagem de Variabilidade Natural (RVA), onde são comparadas frequências esperadas e observadas da ocorrência de índices eco-hidrológicos em diferentes categorias (alta, média e baixa).

Portanto, para avaliar o grau de impactos eco-hidrológicos na bacia do rio Acaraú, utilizamos dois métodos:

***Método das Diferenças Relativas (MDR)-** Técnica comum (Richter et al., 1996; Richter et al., 1998; Magilligan & Nislow, 2005; Poff et al., 2007) e que permite a detecção da magnitude de

alteração de cada índice analisado (Equação 3).

Equação 3

$$DAM = \left(\frac{(press - postss)}{press} \right) * 100$$

Onde:

DAM- Índice estimado em porcentagem;

press- Estatísticas de variáveis eco-hidrológicas para condições naturais (cenário II);

postss- Estatísticas de variáveis eco-hidrológicas para condições atuais (cenário I).

***Abordagem da Variabilidade Natural (RVA)**- Usa a variação dos índices do IHA obtidos para condições não-antropizadas de uso do solo como referência. Neste trabalho utilizamos o padrão de análise não-paramétrica, onde os limites inferior e superior são colocados a 17 percentis da mediana (TNC, 2007), produzindo um delineamento de três categorias de magnitudes de índices de tamanhos iguais: a categoria mais baixa contém todos os valores inferiores ao percentil 33, a categoria do meio contém todos os valores que caem entre os percentis 34 e 67, inclusive, e a categoria mais elevada contém todos os valores maiores que o percentil 67. No RVA, fatores de alterações hidrológicas são estimados para cada categoria através da Equação 4, porém a magnitude dos efeitos dos usos na bacia é estimada em percentuais (Richter *et al.* 1998; TNC, 2007) através da multiplicação do fator calculado para a categoria do meio por 100.

Equação 4

$$HA = \left(\frac{FO - FE}{FE} \right)$$

Onde:

HA- Fator de alteração hidrológica para cada categoria analisada. Um fator HA positivo significa que a frequência de valores na categoria (agrupamento percentil) aumentou no período pós-impacto, enquanto que um fator HA negativo significa que a frequência de valores na categoria (agrupamento percentil) diminuiu no período pós-impacto;

FO- Frequência observada em que os valores anuais dos índices IHA caíram dentro dos limites RVA no período pós-desenvolvimento;

FE- Frequência esperada com que os valores de FO devem estar entre os limites do RVA. A FE é calculada através do número de anos em que os valores anuais dos índices IHA caíram dentro dos limites RVA no período pré-desenvolvimento, multiplicado pela razão entre o número de anos pós-desenvolvimento e pré-desenvolvimento.

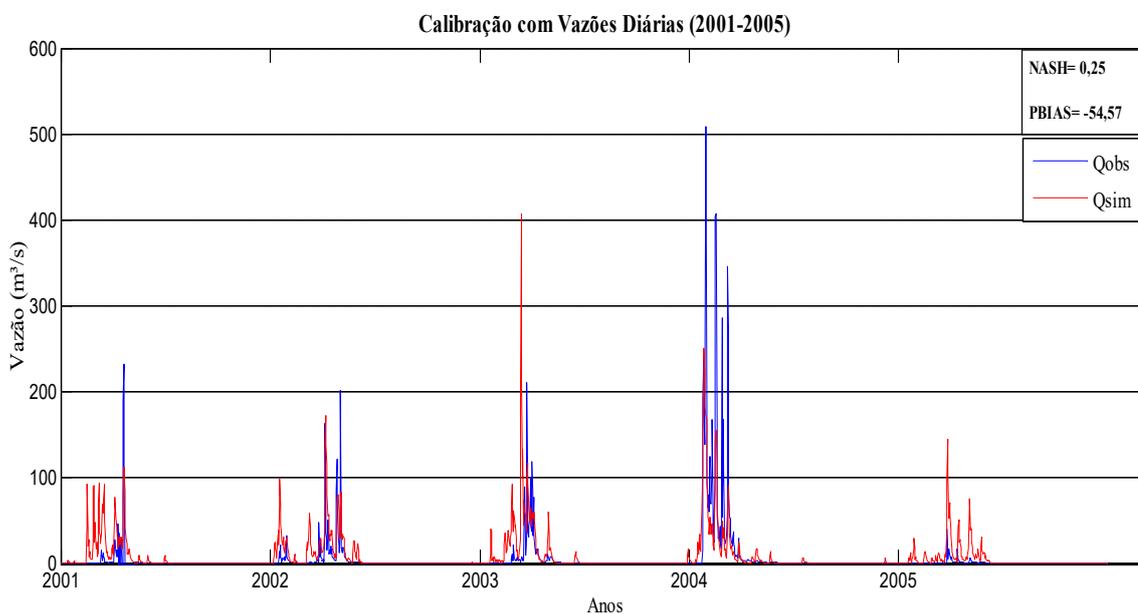
3 RESULTADOS

3.1 Modelagem Hidrológica

3.1.1 Calibração e Validação do Modelo

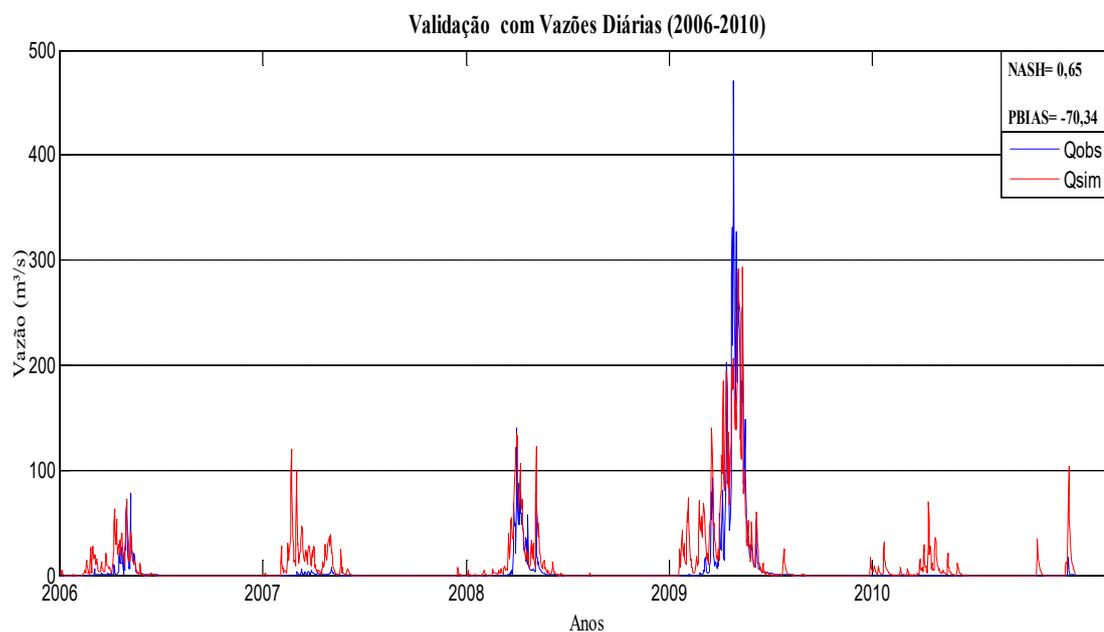
As Figura 12 e Figura 13 apresentam os resultados da calibração e validação do modelo hidrológico através de métodos gráficos e estatísticos. Na fase de calibração o valor de NSE é da ordem de 0,25, pois não há uma boa representação nos picos do hidrograma. Quanto ao valor do PBIAS, indica a tendência de superestimação do modelo da ordem de 54,57%. Na fase de validação, houve melhoria significativa no valor do NSE (0,65), onde teoricamente é considerado como satisfatório para essa estatística, porém, observa-se graficamente que nos anos 2007 e 2010, há excesso na superestimação de vazões, levando o valor do PBIAS para 70,34%. Vale destacar que das dez estações pluviométricas utilizadas, apenas quatro possuem séries consideráveis para o uso na fase de calibração e validação, dificultando assim a obtenção de um bom ajuste do modelo.

Figura 12-Calibração do modelo SWAT



Fonte: Autor

Figura 13-Validação do modelo SWAT



A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na análise de sensibilidade do modelo, bem como os valores iniciais e finais dos parâmetros de maior importância no SWAT, para a realidade da bacia do rio Acaraú.

Tabela 3- Valores dos Parâmetros mais sensíveis do SWAT

Ranking	Parâmetros-SWAT	Uso do solo									
		Urbano		Solo exposto		Pastagem		Caatinga		Água	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
1	CN2	72	93	72	93	79	90	74	80	92	80
2	CH_N2	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014	0,014
3	Canmx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Esco	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
5	Gwqmn	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0
6	Rchrg_Dp	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0	0,05	0

Gwqmn- Quantidade mínima de água do aquífero superficial para que ocorra escoamento de origem subterrânea; CN2- Curva- número; CH_N2- Valor do "n" de Manning para o canal principal; Esco- Fator de compensação da evaporação do solo; Canmx- Armazenamento máximo de água na copa das árvores (interceptação); Rchrg_Dp- Fração de percolação do aquífero profundo.

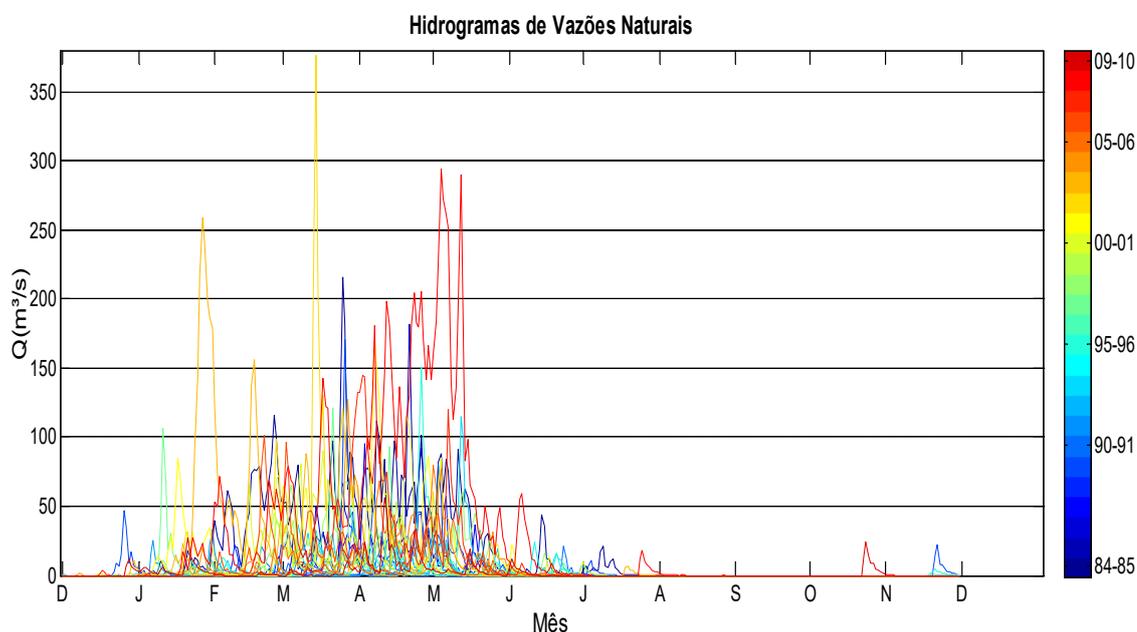
3.2 Análise de Variáveis Hidrológicas Ecologicamente Relevantes

Devido às características do regime hidrológico do rio Acaraú e dos limites adotados para definir alto e baixo pulso de vazões, observou-se que alguns índices de variáveis hidrológicas sugeridas pelo método IHA não variaram ou os algoritmos estão configurados para aplicações em rios perenes: 1- número de eventos de altos pulsos de vazões anuais, 2- duração desses altos pulsos, 3- índice de fluxo de base e 4- dia Juliano de mínima anual. Portanto, essas variáveis foram descartadas das análises.

3.2.1 Índices de Alteração Hidrológica (IHA)

Com base na série diária de vazões geradas para o cenário II (não-antropizado), foram obtidas a média ($6,00 \text{ m}^3/\text{s}$) e o desvio padrão ($20,00 \text{ m}^3/\text{s}$) para definir alto e baixo pulso de vazão, porém, como visto no item anterior, os limites adotados só permitiram a definição de alto pulso, que são vazões com magnitudes acima de $26 \text{ m}^3/\text{s}$. Conforme demonstram os hidrogramas de vazões naturais, o ano hidrológico de cheia tem seu início no mês de dezembro e o de estiagem no mês de julho (Figura 14).

Figura 14-Hidrogramas diários de vazões naturais



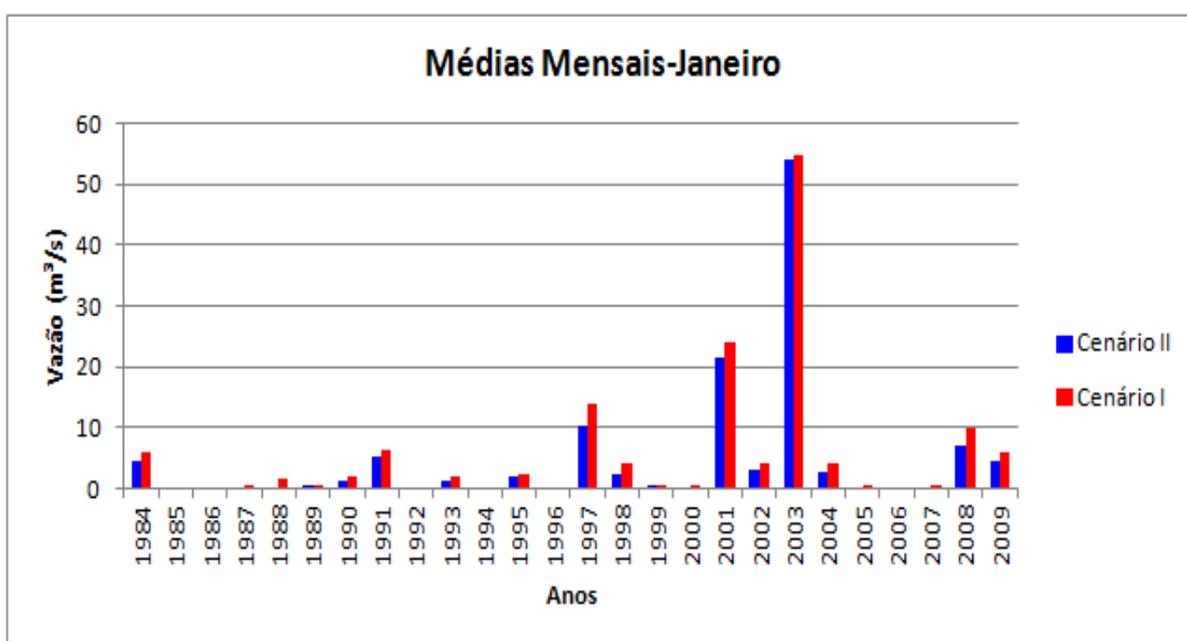
Fonte: Autor

3.2.1.1 Valores anuais de variáveis que caracterizam aspectos do regime hidrológico

Neste item são apresentados os valores anuais das variáveis hidrológicas utilizadas no trabalho para os cenários I e II, onde foram divididas em 5 grupos:

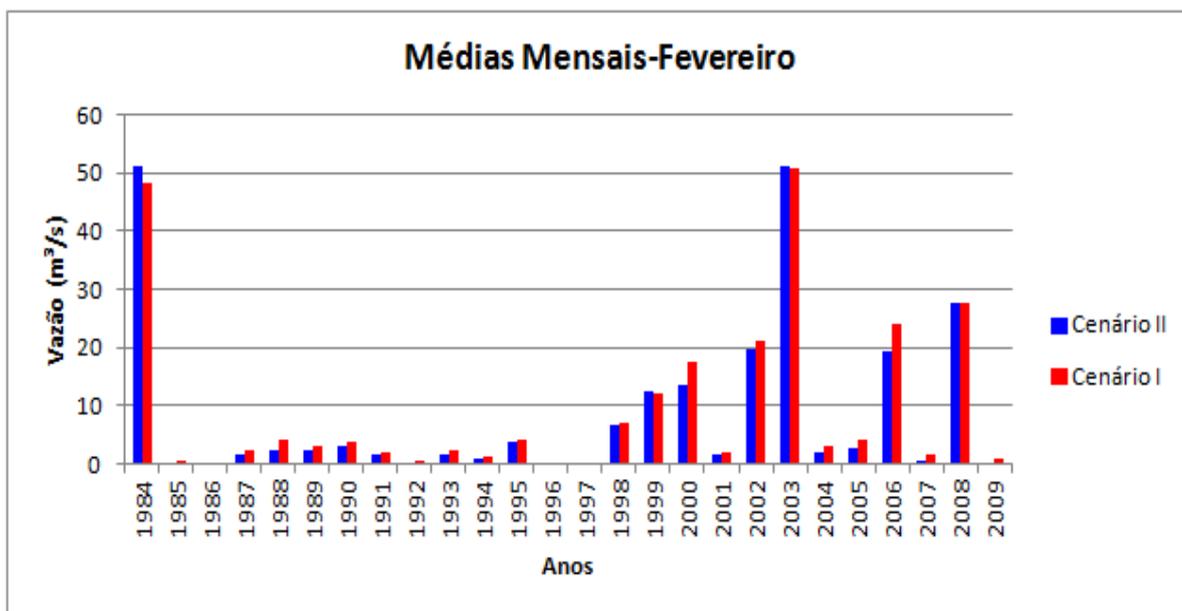
**Grupo I-* Este grupo é representado pelos 12 meses do ano (Figura 15 a 22), onde nota-se que de modo geral, a ação antrópica (cenário I) provocou incrementos nas magnitudes das vazões entre os meses de janeiro a julho e dezembro. Quanto aos meses de agosto a novembro, as vazões são praticamente nulas para os dois cenários.

Figura 15- Médias Mensais-Janeiro



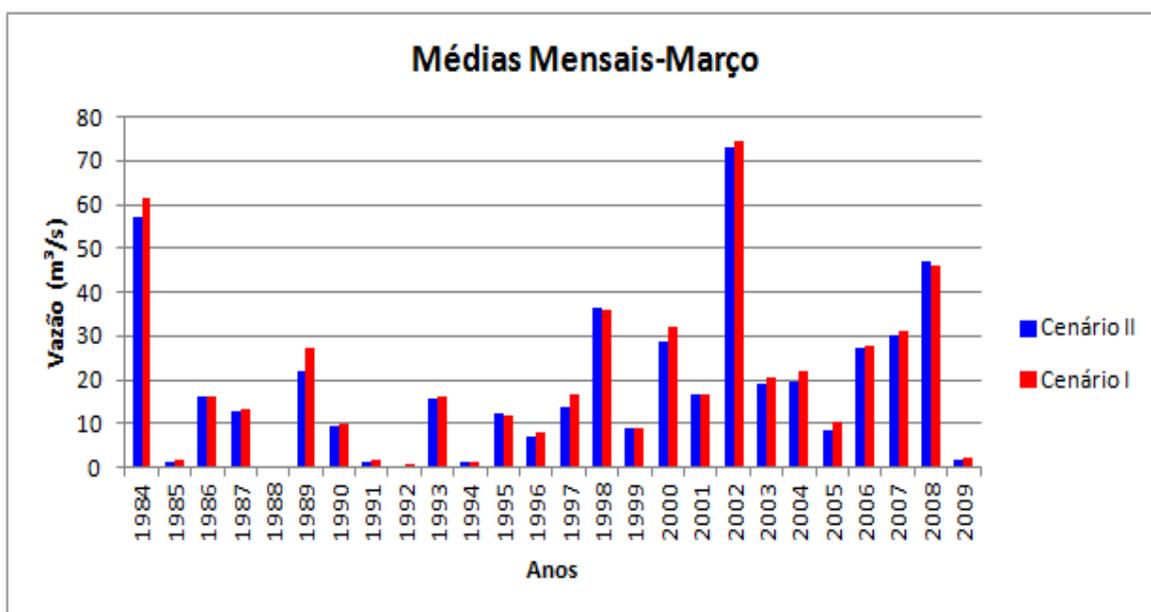
Fonte: Autor

Figura 16-Médias Mensais-Fevereiro



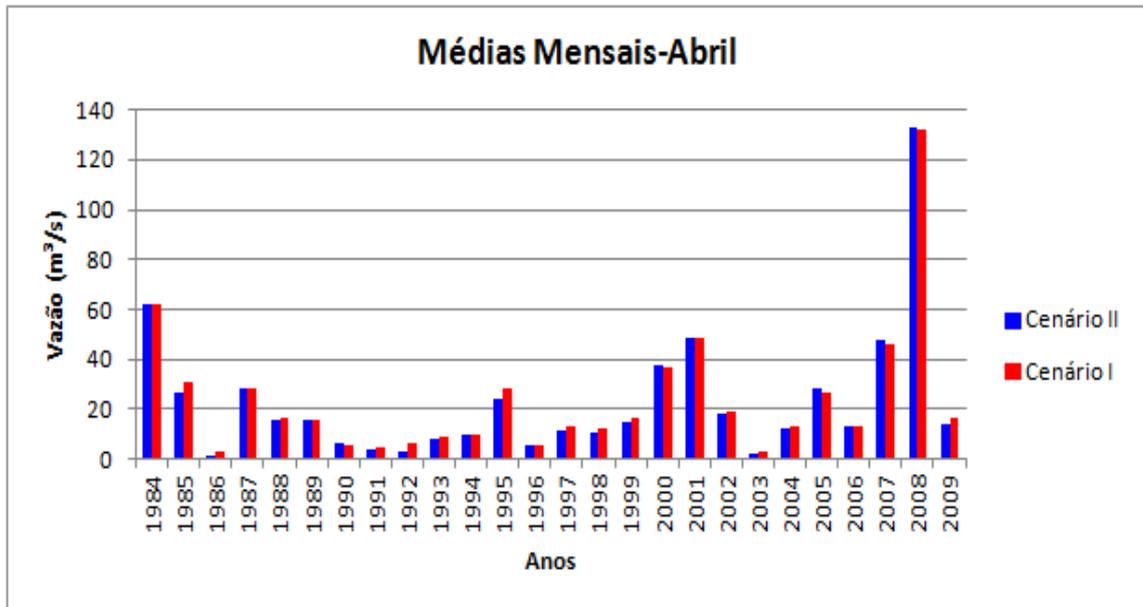
Fonte: Autor

Figura 17-Médias Mensais-Março



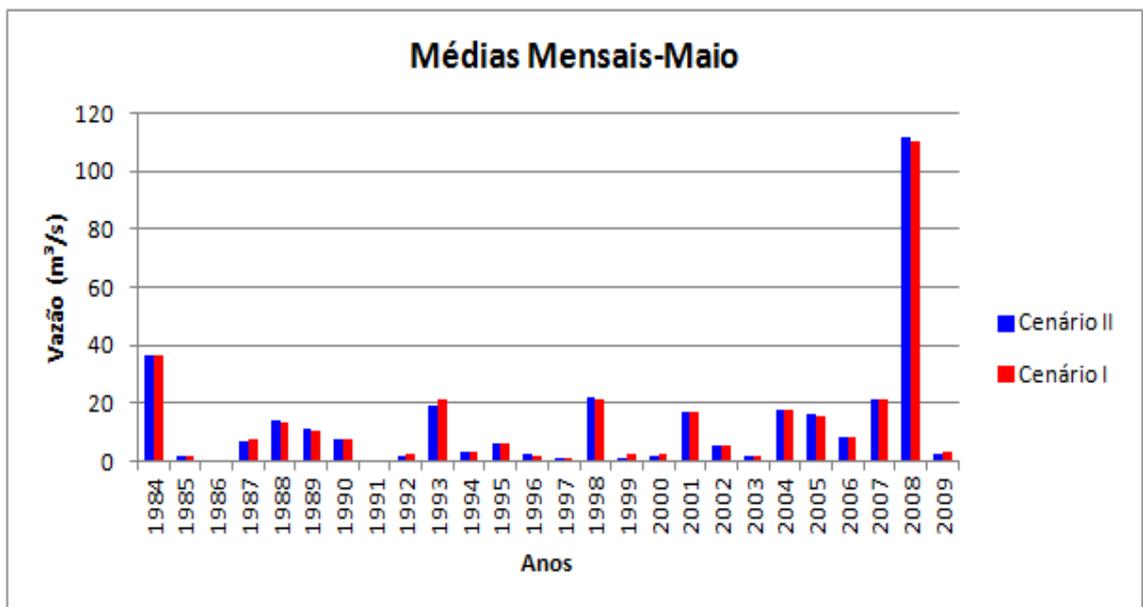
Fonte: Autor

Figura 18-Médias Mensais-Abril



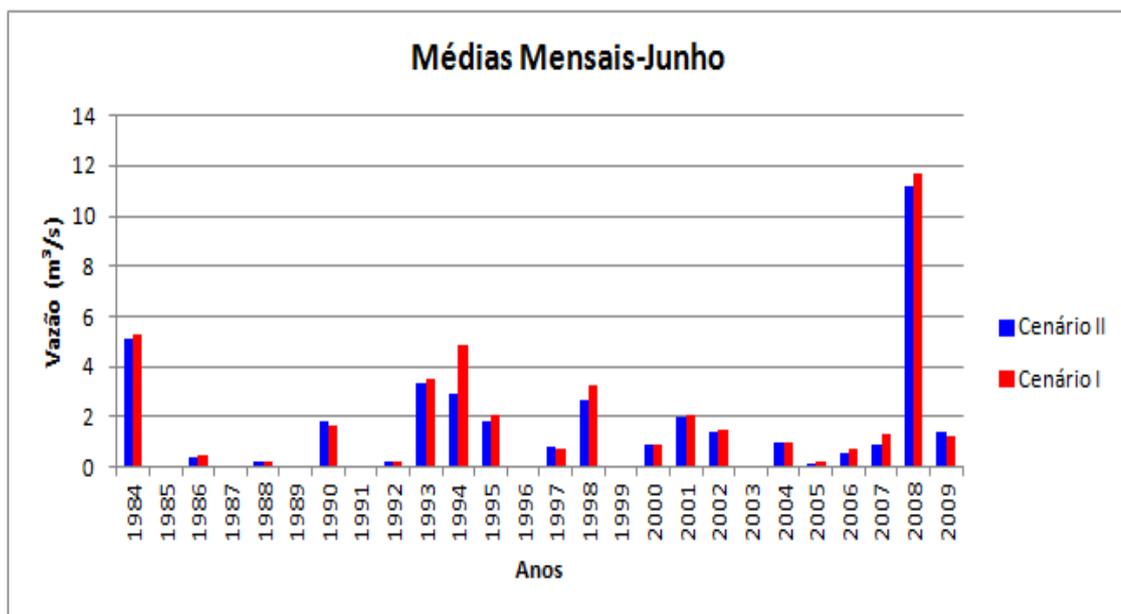
Fonte: Autor

Figura 19-Médias Mensais-Maio



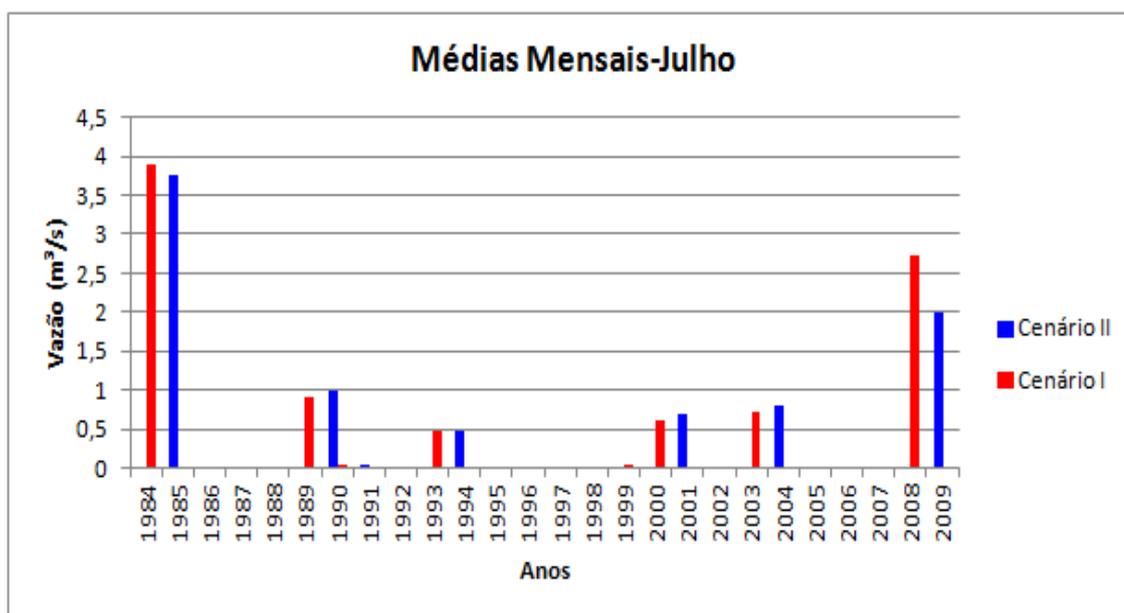
Fonte: Autor

Figura 20-Médias Mensais-Junho



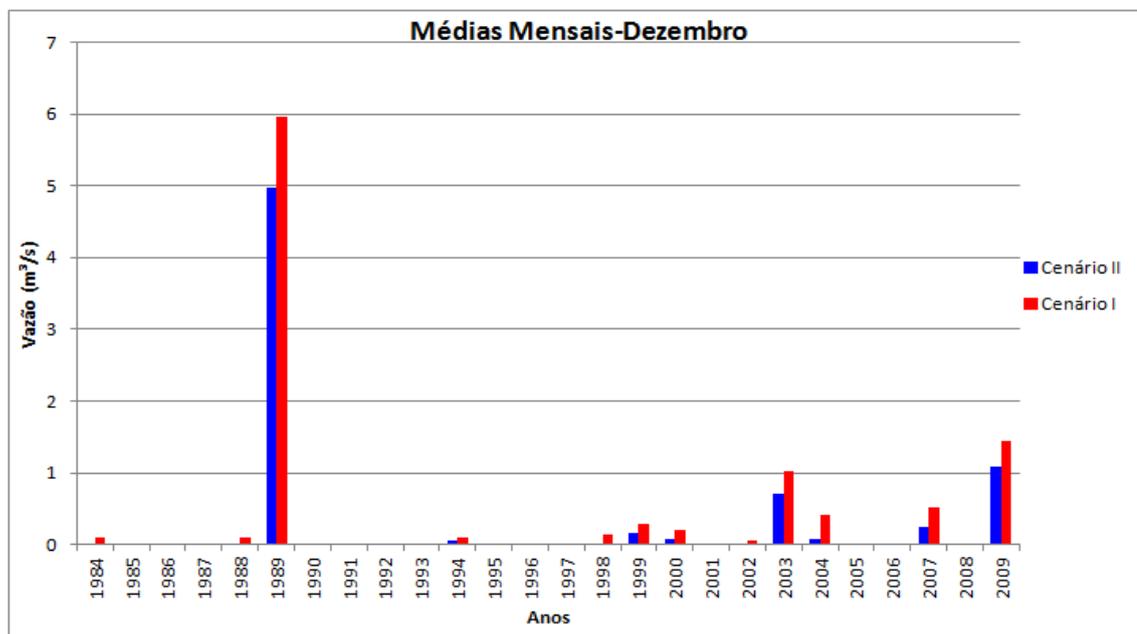
Fonte: Autor

Figura 21-Médias Mensais-Julho



Fonte: Autor

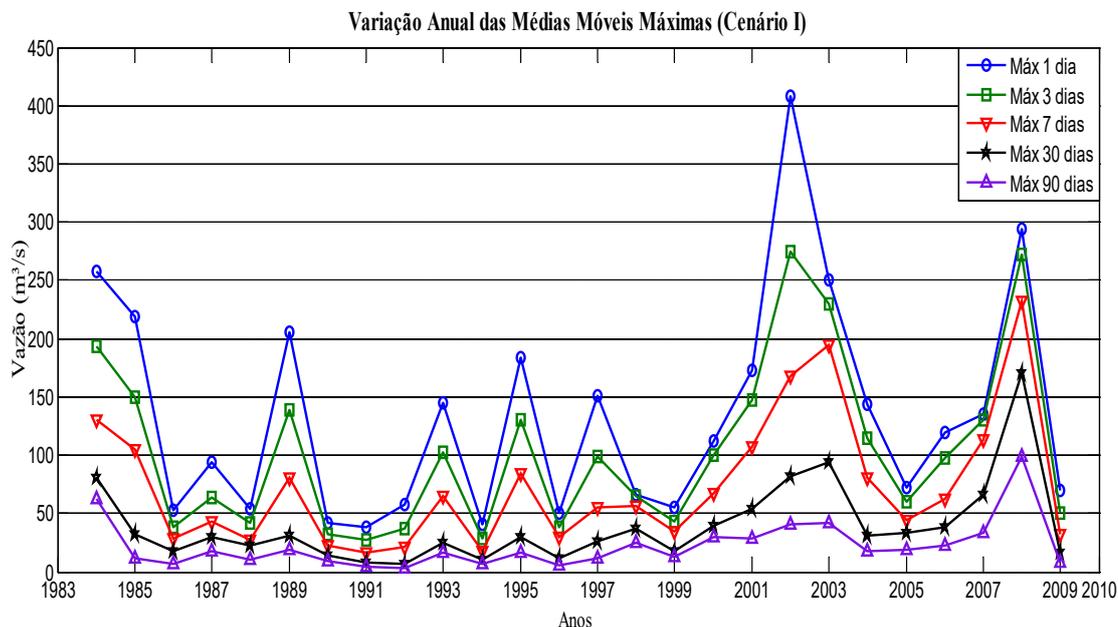
Figura 22-Médias Mensais-Dezembro



Fonte: Autor

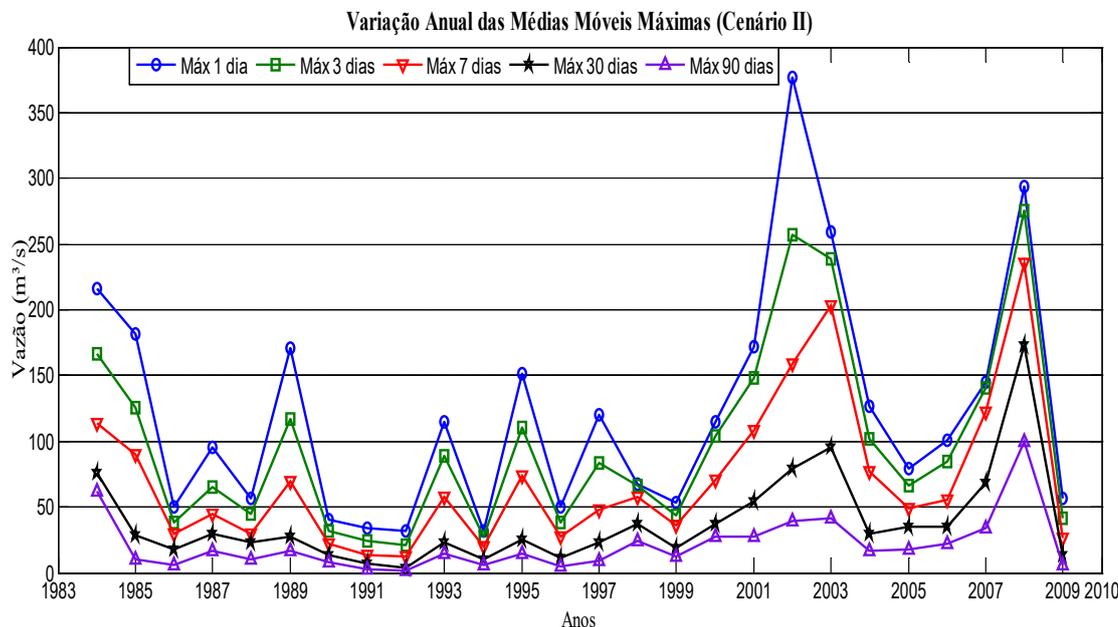
*Grupo II- Devido à intermitência do rio, as vazões médias mínimas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias são nulas para os dois cenários. No caso das médias máximas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias (Figura 23, Figura 24), apresentam magnitudes que variam de 3,34 (90 dias) a 407,7 m³/s (1 dia) para o cenário I (antropizado) e de 1,88 (90 dias) a 376 m³/s (1 dia) para o cenário II (natural). Quanto ao número de dias com vazões nulas, observa-se variações de 177 a 283 dias para o cenário I e de 191 a 306 dias para o cenário II (Figura 25).

Figura 23-Variação anual das médias móveis máximas (cenário I)



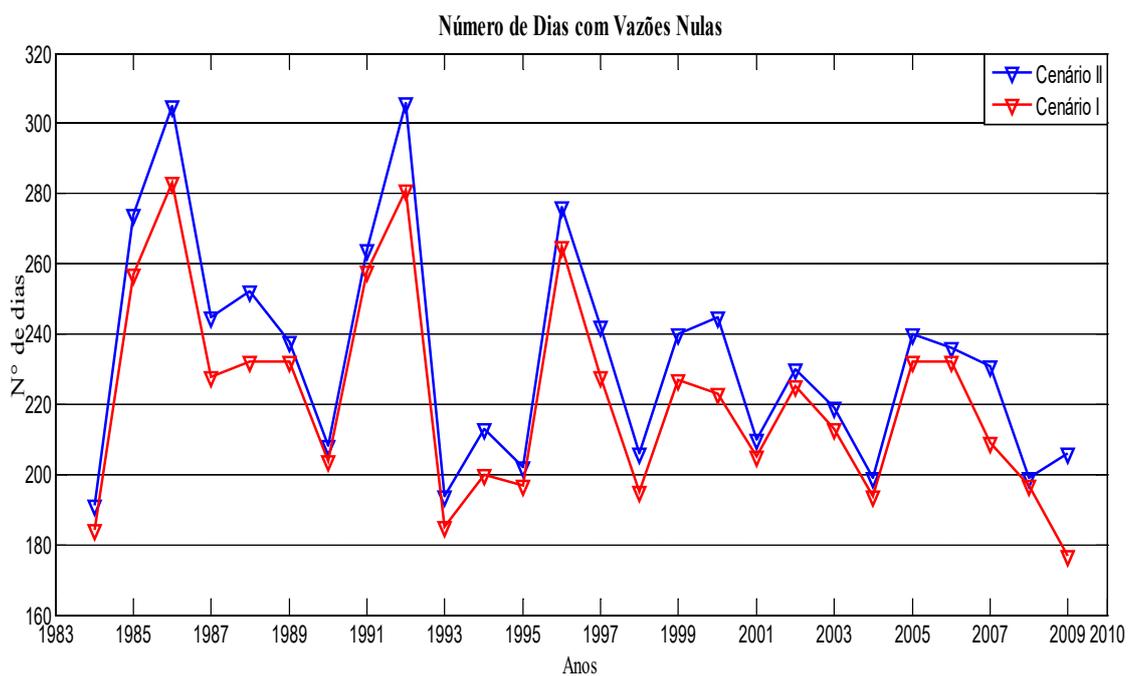
Fonte: Autor

Figura 24-Variação anual das médias móveis máximas (cenário II)



Fonte: Autor

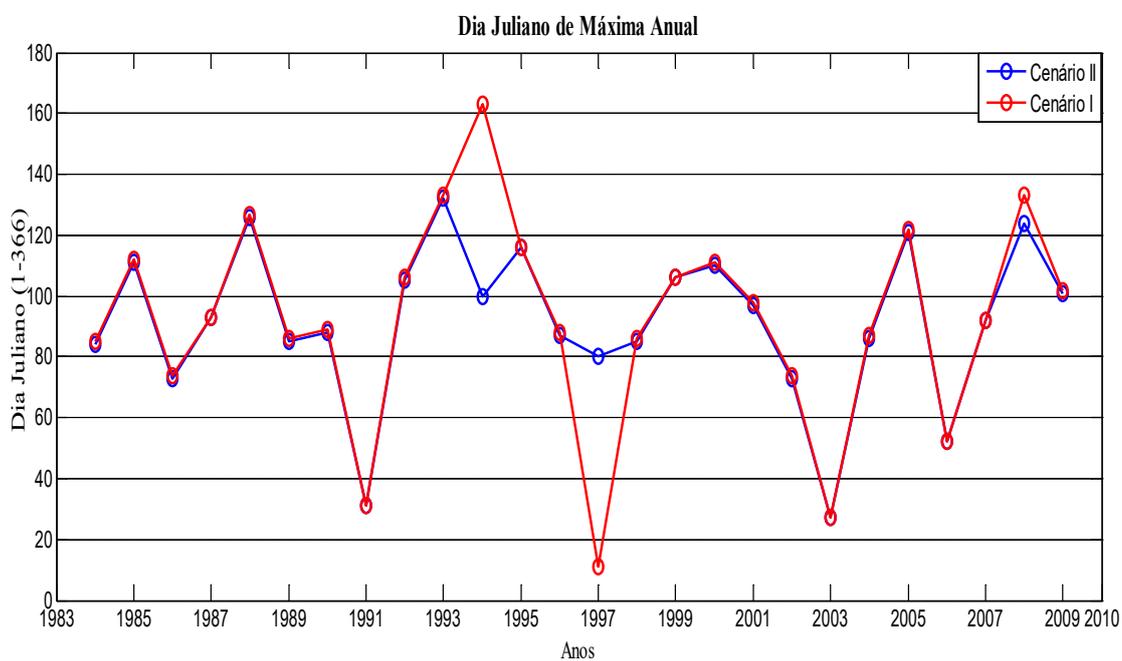
Figura 25-Número de dias com fluxo zero



Fonte: Autor

**Grupo III*- Quanto aos dias julianos de máximas anuais, há variações entre os dias 11 (11 de janeiro) e 163 (11 de junho) para o cenários I e do dia 27 a 132 para o cenário II (Figura 26).

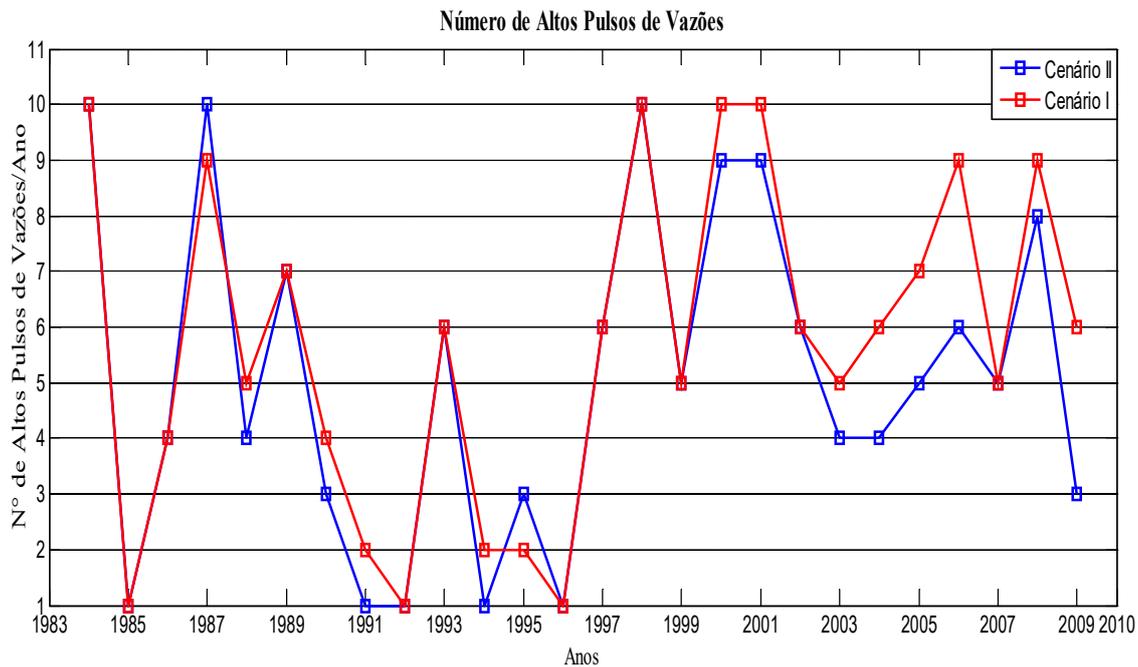
Figura 26-Dia Juliano de máxima anual



Fonte: Autor

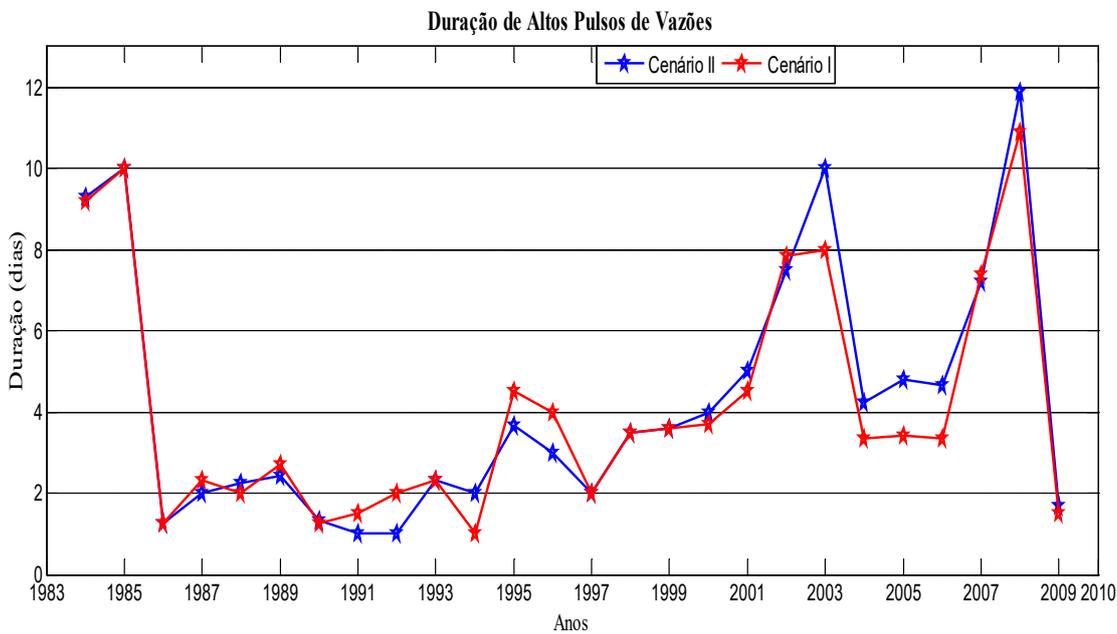
**Grupo IV-* O número de vezes em que foram registrados altos pulsos de vazões por ano, variou de 1 a 10 vezes para ambos os cenários e a duração de cada pulso computado variou entre 1 e 12 dias para o cenário II e entre 1 e 11 dias para o cenário I (Figura 27 e Figura 28).

Figura 27-Número de Altos Pulsos de Vazões



Fonte: Autor

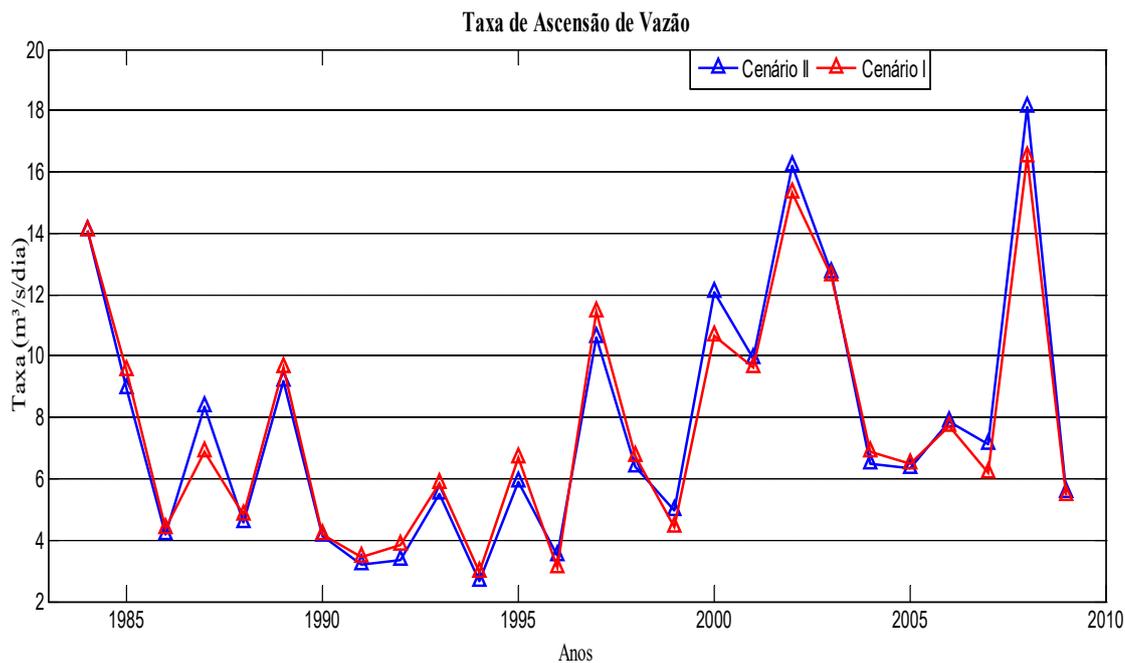
Figura 28-Duração de Altos Pulsos de Vazões



Fonte: Autor

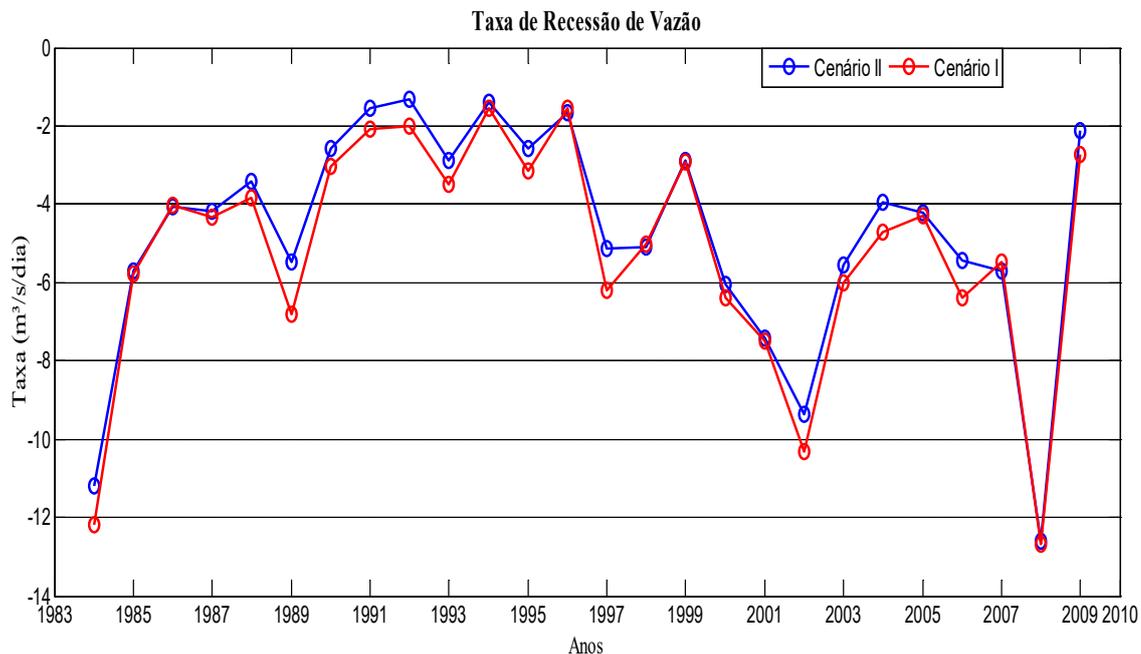
*Grupo V- As taxas de ascensão de vazões variaram entre 2,64 e 18 m³/s/dia para o cenário II e entre 3 e 16,50 m³/s/dia para o cenário I (Figura 29). Quanto às taxas de recessão de vazões (velocidade de decaimento do hidrograma), apresentaram magnitudes de -1,31 a -12,60 m³/s/dia para o cenário II e de -1,54 a -12,68 m³/s/dia para o cenário I (Figura 30). O número de reversões de vazões variaram de 21 a 97 vezes ao ano para o cenário II e de 37 a 105 para o cenário I (Figura 31).

Figura 29-Taxa de ascensão de vazão



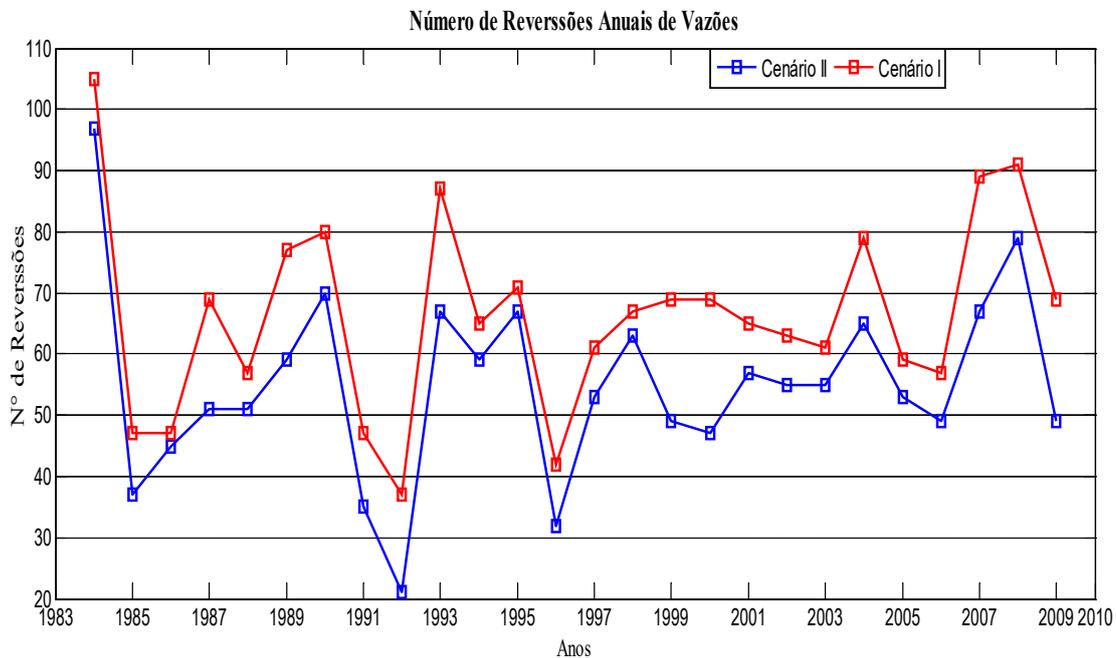
Fonte: Autor

Figura 30-Taxa de recessão de vazão



Fonte: Autor

Figura 31-Número de reversões anuais de vazões



Fonte: Autor

3.3 Impactos Eco-Hidrológicos

3.3.1 Estimativa pelo método de diferenças relativas (MDR)

Tendo o conhecimento dos valores anuais de cada variável hidrológica, foram computados os índices eco-hidrológicos para os cenários I e II, bem como a magnitude de impactos do uso e ocupação do solo na bacia, onde houve a classificação do grau de alteração, de acordo com as recomendações de Richter *et al.* (1998). Neste item os resultados foram apresentados por grupos.

**Grupo I-* Conforme mostra a Tabela 4, as atividades antrópicas na bacia provocaram pequenas alterações hidrológicas nas magnitudes e na variabilidade (desvio padrão) dos índices deste grupo, onde observa-se o incremento de vazões em praticamente todos os meses. Vale destacar que apesar do mês de agosto apresentar alteração de 54,44% no desvio padrão, essa variação é irrelevante em termos de magnitude.

Tabela 4-Índice de Alteração Hidrológica do grupo 1

Variáveis	Cenário I (antropizado)		Cenário II (natural)		DAM (%)	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
Janeiro	5,58	11,37	4,67	11,1	16,28	2,36
Fevereiro	9,44	14,12	8,75	14,5	7,27	-2,67
Março	19,8	18,67	18,7	18,24	5,55	2,26
Abril	24,04	26,78	23,15	27,27	3,69	-1,83
Maió	13,2	21,81	13,04	22,07	1,18	-1,17
Junho	1,64	2,52	1,49	2,36	9,21	6,6
Julho	0,36	0,92	0,34	0,84	6,98	8,72
Agosto	0,01	0,05	0,01	0,02	0	54,44
Setembro	0	0	0	0	0	0
Outubro	0	0	0	0	0	0
Novembro	0,14	0,52	0,11	0,44	19,32	16,06
Dezembro	0,4	1,19	0,29	0,99	28,54	-16,68
Alteração Média (%)					8,17	9,49

**Grupo II-* Não houve alterações nos índices relacionados às mínimas anuais, porém houve aumento nas médias máximas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias e redução do número de dias com vazões nulas na calha do rio (Tabela 5). Neste grupo todos os índices tiveram alterações

classificadas como de baixo impacto, destacando o número de dias com vazões nulas, que apresentou redução de 10,43% na variabilidade.

Tabela 5-Índice de Alteração Hidrológica do grupo 2

Variáveis	Cenário I (antropizado)		Cenário II (natural)		DAM (%)	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
Min anual de 1 dia	0	0	0	0	0	0
Min anual de 3 dias	0	0	0	0	0	0
Min anual de 7 dias	0	0	0	0	0	0
Min anual de 30 dias	0	0	0	0	0	0
Min anual de 90 dias	0	0	0	0	0	0
Max anual de 1 dia	134,16	93,69	122,65	87,68	8,58	6,41
Max anual de 3 dias	104,15	73,04	98,19	71,33	5,73	2,34
Max anual de 7 dias	73,79	56,41	71,39	56,9	3,26	-0,88
Max anual de 30 dias	39,27	35,4	38,36	36,16	2,33	-2,16
Max anual de 90 dias	22,15	20,9	21,31	21,26	3,81	-1,72
Numero de dias com fluxo 0	221,65	29	233,5	32,02	-5,34	-10,43
Alteração Média (%)					2,63	2,17

**Grupo III-* O dia juliano de máxima anual foi antecipado em praticamente dois dias, onde em média as maiores magnitudes de vazões ocorriam no dia 92 (30 de março) e passaram a ser mais frequentes no dia 90 (28 de março, Tabela 6).

Tabela 6-Índice de Alteração Hidrológica do grupo 3

Variáveis	Cenário I (antropizado)		Cenário II (natural)		DAM (%)	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
Dia juliano de máx anual	90,46	34,24	92,79	26,12	-0,36	23,72
Alteração Média (%)					-0,36	23,72

**Grupo IV-* Os índices deste grupo também não tiveram impactos significativos em suas magnitudes, pois a combinação de usos e ocupações na bacia não alterou o número de altos pulsos de vazões anuais, bem como a duração destes (Tabela 7).

Tabela 7-Índice de Alteração Hidrológica do grupo 4

Variáveis	Cenário I (antropizado)		Cenário II (natural)		DAM (%)	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
Grupo 4						
Nº de altos pulsos	5,69	3	5,08	2,97	10,81	1,27
Duração dos altos pulsos	4,12	2,9	4,29	3,13	-4,22	-7,78
Alteração Média (%)					7,51	4,52

**Grupo V*- A taxa de ascensão e recessão de vazões ou velocidade de subida e descida do hidrograma tiveram pequenos incrementos em suas magnitudes. Nota-se também que apesar do aumento de 17,23% no número de reversões anuais de vazões, os índices desse grupo apresentaram alterações classificadas como de baixo impacto (Tabela 8).

Tabela 8-Índice de Alteração Hidrológica do grupo 5

Variáveis	Cenário I (antropizado)		Cenário II (natural)		DAM (%)	
	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad	Média	Desv. Pad
Grupo 5						
Taxa de ascensão de vazão	7,82	3,84	7,76	4,13	0,77	-7,62
Taxa de recessão de vazão	-5,17	2,96	-4,75	2,88	8,25	2,72
Numero de reversões anuais	66,54	16,04	55,08	15,39	17,23	4,05
Alteração Média (%)					8,89	4,79

3.3.2 Estimativa pelo método RVA

A Tabela 9 apresenta as frequências esperadas (FE) e observadas (FO) das magnitudes de cada variável hidrológica analisada, levando em consideração as categorias definidas pelo RVA (baixa, média e alta). Vale destacar que para as variáveis em que os percentis 33 e 67 são nulos ou que possuem apenas o percentil 67, o RVA divide a distribuição de frequências em duas categorias: média e alta, ou seja, quando os valores anuais das variáveis são nulos ou iguais aos limites das categorias, a frequência é computada para a categoria média, caso contrário, essa frequência passa para a categoria alta.

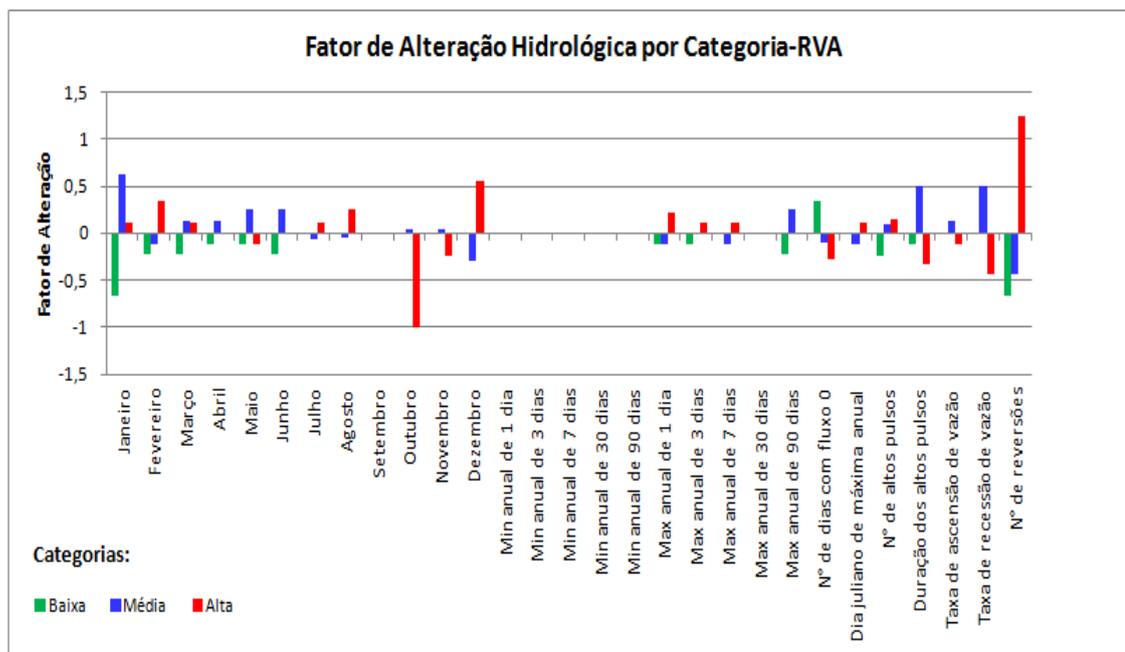
Tabela 9-Frequências para cada categoria-RVA

Variáveis	FE			FO		
	Baixa	Média	Alta	Baixa	Média	Alta
Janeiro	9	8	9	3	13	10
Fevereiro	9	8	9	7	7	12
Março	9	8	9	7	9	10
Abril	9	8	9	8	9	9
Maiο	9	8	9	8	10	8
Junho	9	8	9	7	10	9
Julho	0	17	9	0	16	10
Agosto	0	22	4	0	21	5
Setembro	0	26	0	0	26	0
Outubro	0	25	1	0	26	0
Novembro	0	22	4	0	23	3
Dezembro	0	17	9	0	12	14
Min anual de 1 dia	0	26	0	0	26	0
Min anual de 3 dias	0	26	0	0	26	0
Min anual de 7 dias	0	26	0	0	26	0
Min anual de 30 dias	0	26	0	0	26	0
Min anual de 90 dias	0	26	0	0	26	0
Max anual de 1 dia	9	8	9	8	7	11
Max anual de 3 dias	9	8	9	8	8	10
Max anual de 7 dias	9	8	9	9	7	10
Max anual de 30 dias	9	8	9	9	8	9
Max anual de 90 dias	9	8	9	7	10	9
Nº de dias com fluxo 0	9	10	7	12	9	5
Dia juliano de máxima anual	9	8	9	9	7	10
Nº de altos pulsos	8	11	7	6	12	8
Duração de altos pulsos	9	8	9	8	12	6
Taxa de ascensão de vazão	9	8	9	9	9	8
Taxa de recessão de vazão	9	8	9	9	12	5
Nº de reversões	9	9	8	3	5	18

Conforme observado na Figura 32, as variáveis referentes ao mês de setembro, mínimas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias e máxima anual de 90 dias, não tiveram alterações quanto à distribuição de frequências para cada categoria. Quanto às demais variáveis,

observa-se que houve alterações, onde fatores positivos indicam aumento da frequência de valores na categoria e fatores negativos, o inverso.

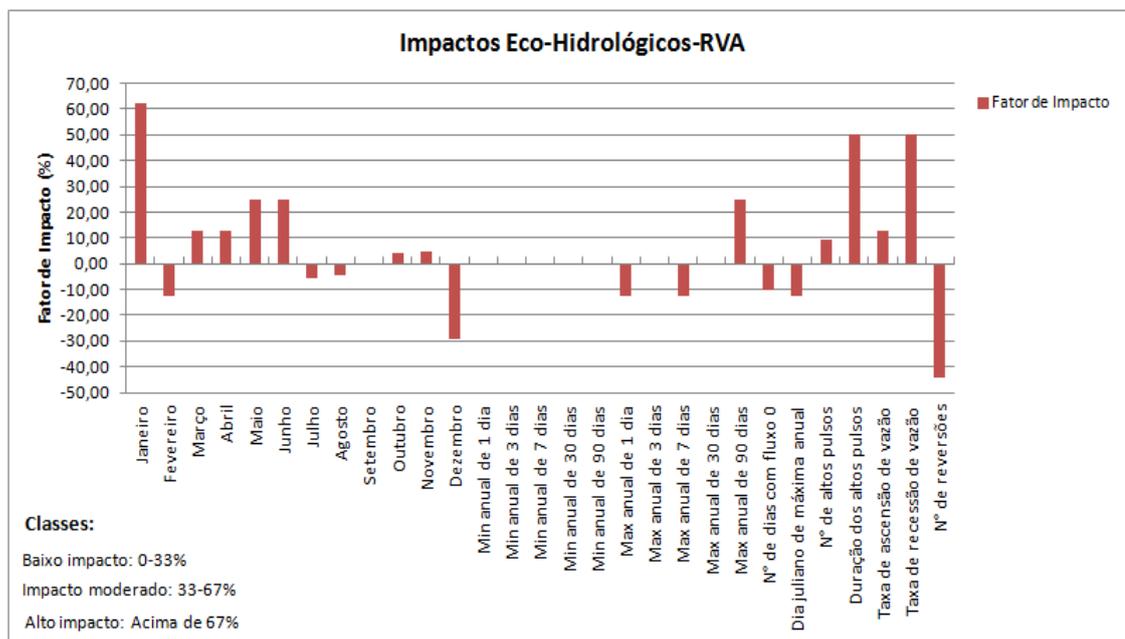
Figura 32- Fator de Alteração Hidrológica por Categoria RVA



Fonte: Autor

Quanto aos impactos eco-hidrológicos, o método RVA estima que quatro variáveis (mês de janeiro, duração dos altos pulsos de vazões, taxa de recessão de vazão e número de reversões anuais) tiveram impactos classificados como moderado (Figura 33). O grau de impacto das demais variáveis situa-se na faixa de baixo impacto.

Figura 33-Impactos Eco-Hidrológicos-RVA

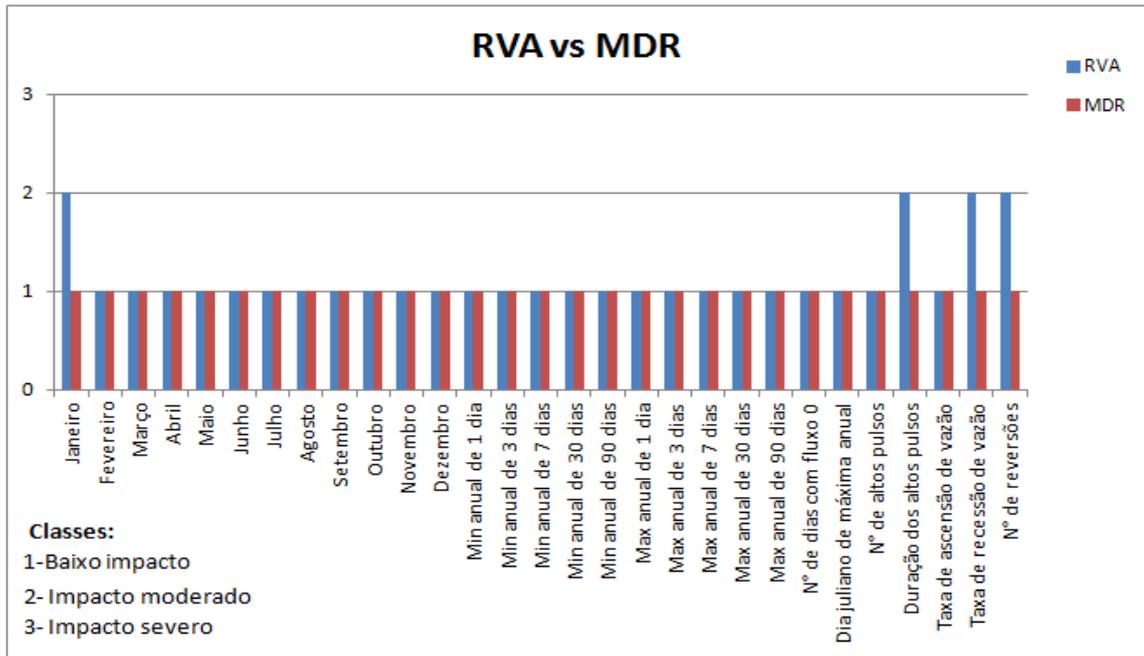


Fonte: Autor

3.3.3 Método RVA vs MDR

A Figura 34 apresenta as similaridades entre as qualificações de impactos eco-hidrológicos definidas através dos métodos RVA e MDR, onde se observa que há divergências em apenas quatro variáveis (mês de janeiro, duração dos altos pulsos de vazões, taxa de recessão de vazão e número de reversões anuais).

Figura 34 -RVA vs MDR



Fonte: Autor

4 DISCUSSÃO

O uso de modelos hidrológicos para a extensão ou reconstituição de vazões é essencial para a avaliação dos efeitos do uso e ocupação do solo em rios e para o gerenciamento dos recursos hídricos em regiões semiáridas. No escopo deste trabalho, o desempenho do SWAT foi avaliado através de métodos estatísticos (NSE e PBIAS) e gráficos, onde foram obtidos valores de 0,25 para o NSE e -54,57 para o PBIAS na fase de calibração, bem como valores de 0,65 para NSE e -70,34 para o PBIAS na fase de validação. Através da análise gráfica, é possível notar que as vazões estimadas pelo modelo não acompanham bem as vazões observadas, principalmente nos picos dos hidrogramas, pois o reduzido número de postos pluviométricos bem como a escassa disponibilidade de dados de precipitação, foram fatores limitantes para a obtenção de um bom ajuste do modelo.

Grande parte das publicações encontradas na literatura com aplicações do SWAT em regiões semiáridas, apresentam calibração e validação do modelo com vazões mensais, bem como adotam recomendações de Moriasi *et al.*(2007) como referência, onde valores superiores a 0,5 para NSE e entre ± 25 para o PBIAS são considerados como satisfatórios. Vale destacar que esses valores foram sugeridos apenas para vazões mensais e que para a escala diária necessitariam de ajustes. No mesmo estudo, Moriasi *et al.*(2007) faz um levantamento de publicações com aplicações do SWAT que apresentam valores obtidos das estatísticas NSE e PBIAS para a calibração e validação em escala diária, porém sem definições de níveis de desempenho do modelo para essa escala, onde os valores variam entre -1,81 a 0,95 para o NSE e entre -155,60 a 47,18 para o PBIAS. Portanto, neste trabalho, optou-se por considerar a premissa de Nash & Sutcliffe (1970), já mencionada no item 2.3.3, logo, os valores obtidos para NSE indicam que as vazões estimadas pelo SWAT são mais representativas que a média.

Verificou-se neste trabalho que análises eco-hidrológicas em regiões semiáridas devem ser feitas com vazões geradas pelo mesmo mecanismo ou ferramenta, por exemplo: vazões simuladas do cenário I contra simuladas do cenário II em vez de vazões observadas do cenário I contra simuladas do cenário II. Análises feitas conforme o ultimo exemplo, são prejudicadas por diferenças entre métodos de predição de vazão ou erros dos modelos, levando à subestimação ou superestimação na qualificação de impactos eco-hidrológicos.

No caso do rio Acaraú, quatro variáveis que compõem o IHA não foram utilizadas, pois em regime natural mais de 50% dos dias do ano são de vazões nulas, onde a média é da ordem de $6 \text{ m}^3/\text{s}$ e o desvio padrão é da magnitude de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, ou seja, o limite adotado para definir baixo pulso de vazão não permitiu computar o número de registros anuais dessa variável, bem como a duração desses pulsos; o índice de fluxo de base, pois esse índice é calculado através da razão entre a média das mínimas de 7 dias, que neste caso é $0 \text{ m}^3/\text{s}$, e a vazão média da bacia. No caso do dia Juliano de mínima anual, os algoritmos do LOU estão configurados para aplicações em rios perenes, portanto computam esse índice como o início do período de intermitência do rio, ou seja, o primeiro dia com vazão nula.

Uma melhor opção para a escolha desses limites é o uso de dados de níveis auxiliados com visitas de campo à seção de interesse, para que haja maior representatividade na estimativa de índices eco-hidrológicos. Verificou-se também que para a realidade de rios intermitentes brasileiros, independente do tipo de estatística usada (paramétrica ou não paramétrica) para definir o limite de baixos pulsos de vazões, os algoritmos do LOU, bem como do pacote estatístico IHA, necessitam de adaptações para computar o índice dessa variável sem que haja influência das vazões nulas.

Quanto aos métodos utilizados para qualificar impactos eco-hidrológicos, foi observado que o RVA é mais sensível e rigoroso que o MDR, pois baseia-se na distribuição de frequências dos valores anuais para cada categoria definida, enquanto que o MDR baseia-se na média de longo período de cada variável hidrológica, camuflando de certa forma, anos com eventos extremos atípicos ou com alguma ação antrópica impactante. Contudo, a sensibilidade do RVA pode levar a classificações de impactos incoerentes, pois em alguns casos, a proximidade dos dados aos limites RVA, associada a pequenas diferenças decimais entre as magnitudes anuais das variáveis nos cenários analisados, podem subestimar ou superestimar a qualificação de impactos eco-hidrológicos. Esse tipo de ocorrência pode ser observado na qualificação do grau de impacto referente à taxa de recessão de vazão, onde as diferenças entre as magnitudes são da ordem de 0,1 a 0,5 décimos, por exemplo, e o índice dessa variável é classificado como de impacto moderado.

De modo geral, os métodos RVA e MDR estimam que os 30,64% de alterações da cobertura natural da bacia em estudo (Pastagem- 27,1%; Urbano- 0,40% e Água- 0,64%), provocaram impactos eco-hidrológicos que variam de baixo a moderado (0 a 67%).

Atualmente, há diversos trabalhos na literatura abordando sobre alterações hidrológicas do uso e ocupação do solo ou sobre as relações entre processos hidrológicos e ecológicos em regiões semiáridas, tais como Pedro *et al.* (2006), Maltchik & Pedro (2001), Poff *et al.* (2006) e outros, porém até o presente momento não foram encontrados na literatura, estudos versando sobre a qualificação de impactos eco-hidrológicos para que houvesse uma maior discussão sobre resultados obtidos em regiões similares. No caso de outras regiões do mundo, destacam-se estudos tais como o de Allan *et al.* (2004), que relatam o declínio da diversidade de espécies no rio Wisconsin, EUA, devido ao aumento do uso urbano de 8 a 12%, e Quinn (2000), que registrou perda na abundância da fauna macroinvertebrada em pequenas bacias na Nova Zelândia devido à conversão de 30% de floresta nativa em atividades de desenvolvimento pastoral.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como foco a qualificação de impactos eco-hidrológicos do uso e ocupação do solo na bacia do rio Acaraú, tendo como referência vazões naturais reconstituídas através de modelagem hidrológica e técnicas usuais na literatura para a estimativa de índices eco-hidrológicos.

Apesar da pouca disponibilidade de dados e do grande número de falhas nas séries de precipitações, podemos afirmar que o modelo hidrológico SWAT produziu aproximações aceitáveis de vazões para a realização do estudo na bacia do rio Acaraú, pois através deste modelo foi possível representar os efeitos dos diferentes usos e ocupações do solo sobre o regime de vazões na bacia.

A análise das características hidráulicas dos rios e a escolha de limites para a determinação de baixos pulsos de vazões são fundamentais para o uso de variáveis hidrológicas sugeridas pelo método IHA. No caso do rio Acaraú, devido aos valores adotados como limites e configurações computacionais do LOU, não foram utilizados nas análises o índice de fluxo de base, o número de altos pulsos de vazões e a duração desses, bem como o dia Juliano de mínima anual. Portanto, faz-se necessário estudos mais específicos e adaptações computacionais para trabalhar com essas variáveis hidrológicas em rios com regime intermitente.

No que se refere à qualificação do grau de impactos eco-hidrológicos, os métodos RVA e MDR apresentaram similaridades em praticamente todos os índices analisados, com exceção do mês de janeiro, duração dos altos pulsos de vazões, taxa de recessão de vazão e número de reversões anuais. O RVA demonstrou ser mais sensível e mais rigoroso que o MDR, porém vale destacar que essa sensibilidade está ligada aos limites definidos e que os fatores de alteração devem ser analisados cuidadosamente em cada categoria (baixa, média e alta) para que não haja incoerências na qualificação de impactos.

Tomando como base os resultados apresentados pelos métodos utilizados, chegamos à conclusão de que a combinação do uso e ocupação do solo atual na bacia do rio Acaraú (cenário I), geraram impactos em ecossistemas fluviais que variam de baixo a moderado, onde destacam-se pequenos incrementos de vazões em variáveis hidrológicas que representam o aspecto magnitude, aumento nas médias máximas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias, antecipação de dois dias (média) na ocorrência do dia Juliano de máxima anual, aumento da velocidade de subida

e descida do hidrograma e do número de reversões anuais de vazões. No caso da bacia do rio Acaraú, recomenda-se que as qualificações de impactos eco-hidrológicos realizadas através dos métodos RVA e MDR, necessitam ser calibradas através de estudos *in situ*, envolvendo ecólogos de ecossistemas fluviais e hidrólogos, para que haja um conhecimento mais refinado sobre as relações entre processos hidrológicos e ecológicos em regiões semiáridas brasileiras e sobre a importância da conservação da biodiversidade desse sistema que é praticamente desconhecido no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ANA. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em:< [http:// hidroweb. ana.gov.br/](http://hidroweb.ana.gov.br/)>
- Allan, J.D.. Landscapes and Riverscapes : The Influence of Land Use on Stream Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 35:257–84, 2004.
- Brasil. Nova Delimitação do Semi-Árido Brasileiro. Brasília: Ministério da Integração Nacional. 2005. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/publicacoes1>
- EMBRAPA. Mapa de solos do Brasil, 2011. disponível em:< http://mapoteca.cnps.embrapa.br/geoacervo/det_mapa.aspx>
- Embrapa. Brasil em Relevo. Disponível em:< <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/ce/ce.htm>>
- FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC. **Harmonized World Soil Database (version 1.0)**. 2008. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Fetter, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2. ed. New York: Macmillan Publishing, 1988.
- 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. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** ISSN 0001-2351, 2007.
- Gupta, H. V., S. Sorooshian, and P. O. Yapo.. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **J. Hydrologic Eng.** 4(2): 135-143, 1999.
- IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências**: Manual técnico de pedologia. 2º edição. Rio de Janeiro, 2007.
- INPE. Catálogo de Imagens. Disponível em :<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>
- Kennard, Mark J., Stephen J. Mackay, Bradley J. Pusey, Julian D. Olden e Nick Marsh. Quantifying uncertainty in estimation of hydrologic metrics for ecohydrological studies. **River Research and Applications** 9999(9999): n/a, 2010.
- LIEW, M. W. V., VEITH, T. L. Guidelines for Using the Sensitivity Analysis and Auto-calibration Tools for Multi-gage or Multi-step Calibration in SWAT. Disponível em:< <http://www.heartlandwq.iastate.edu/NR/rdonlyres/E1A747FB-4B95-485C-97C4A055CD4DBEF2/136892/GuidelinesforSENSITIVITYANDAUTOCALIBRATIONINSWAT.pdf>>
- Magilligan, Francis J. e Keith H. Nislow. Changes in hydrologic regime by dams. **Geomorphology** 71(1-2): 61-78, 2005.
- Maltchik, L, Medeiros. E.S.F. Conservation importance of semi-arid streams in north-eastern Brazil: implications of hydrological disturbance and species diversity. **Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.** 16: 665–677, 2006.

Maltchik, L., Pedro, F. Responses of aquatic macrophytes to disturbance by flash floods in a Brazilian semi-arid intermittent stream. **Biotropica** 33(4): 566–572, 2001.

Meyer W.B, Turner B.L. **Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective**. New York: Cambridge Univ. Press. 537 pp, 1994.

Miranda, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevô, 2005. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Liew, M.W.V; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers** ISSN 0001–2351, 2007.

Nash, J. E., and J. V. Sutcliffe. River flow forecasting through conceptual models: Part 1. A discussion of principles. **J. Hydrology** 10(3): 282-290, 1970.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Willians, J. R. **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation Version 2009**. 2011. Agricultural Research Service. Texas.

Olden, J. D. e N. L. Poff. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. **River Research and Applications** 19(2): 101-121, 2003.

ORNL DAAC (Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center). MODIS subsetting land products, Collection 5. 2011. Disponível em: <<http://daac.ornl.gov/MODIS/modis.html>> from ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. Accessed Month 12, 2012.

Pedro, F., Maltchik, L., Bianchini JR, I. Hydrologic cycle and dynamics of aquatic macrophytes in two intermittent rivers of the semi-arid region of Brazil. **Braz. J. Biol.**, 66(2B): 575-585, 2006.

Pendleton, R. Disponível em: <<http://www.fs.fed.us/ccrc/narratives/climate-change-blackbrush.shtml>>.

Poff, N. L., Bledsoe, B. P., Cuhaciyan, C. O. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: Geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. **Geomorphology** 79 (2006) 264–285, 2006.

Poff, N. L., J. D. Olden, D. M. Merritt e D. M. Pepin. Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 104(14): 5732- 5737, 2007.

Quinn, J.M. **Effects of pastoral development. In New Zealand Stream Invertebrates: Ecology and Implications for Management**. 2000. ed. KJ Collier, MJ Winterbourn, pp. 208–29. Christchurch, NZ: Caxton

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. A Method for Assessing hydrologic Alteration Within Ecosystem. **Conservation Biology**, pages 1163-1174 Volume 10 N° 4, August, 1996.

Richter, B. D., J. V. Baumgartner, R. Wigington e D. P. Braun. How much water does a river need? **Freshwater Biology** 37(1): 231-249, 1997.

Richter, B. D., J. V. Baumgartner, D. P. Braun e J. Powell. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. **Regulated Rivers-Research & Management** 14(4): 329-340, 1998.

Sartori, A., Neto, F. L., Genovez, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** , Volume 10 n.4 Out/Dez 2005, 05-18.

Semiárido. Portal de Monitoramento, Informação e Educação sobre o Semiárido Brasileiro. 2012. Disponível em: <http://www.semiarido.org.br/texto/2/0/semiarido>.

Sheldon, F., M. C. Thoms, O. Berry e J. Puckridge. Using disaster to prevent catastrophe: Referencing the impacts of flow changes in large dryland rivers. **Regulated Rivers-Research & Management** 16(5): 403-420, 2000.

Souza, C.F. **Vazões Ambientais em Hidrelétricas:** Belo Monte e Manso. 2009. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)- Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TNC, The Nature Conservancy. **Indicators of Hydrologic Alteration :Version 7 User's Manual.** 2007.

UFCG. Disponível em:< <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/bin/%AF%C2%BF%C2%BDcnicaSJC?skin=print.pattern> >

Williams, J. R. Chapter 25. The EPIC Model p. 909-1000. In Computer Model of Watershed of Hydrology. **Water Resource publication.** Highlands Ranch, CO, 1995.

APÊNDICE

Tabela 10-Estatísticas dos parâmetros climáticos estimadas pelo WGNmaker 4.1 (Est. Crateús)

Estatísticas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	34,41	33,96	33,11	32,08	32,41	32,41	32,76	34,1	35,46	36,16	36,15	35,19
TMPMN	22,22	21,57	21,32	21,11	20,87	20,63	20,6	21,4	22,44	23,03	23,33	23,19
TMPSTDMX	2,34	2,45	2,78	2,96	2,35	1,64	1,58	1,27	1,27	1,27	1,26	2,1
TMPSTDMN	0,98	1,12	1,03	1,07	1,04	1,07	1,08	1	0,86	0,85	0,82	0,93
PCPMM	41,8	45,34	107,86	111,67	56,06	21,51	12,74	7,22	5,12	3,24	3,04	19,71
PCPSTD	5,47	4,22	10,21	8,31	5,91	2,57	1,47	1,04	0,72	0,44	0,62	3
PCPSKW	12,03	6,23	7,82	7,04	9,68	10,45	6,69	11,1	7,56	9,02	13,9	7,5
PR_W(1)	0,26	0,38	0,45	0,5	0,37	0,35	0,25	0,2	0,18	0,17	0,14	0,22
PR_W(2)	0,71	0,75	0,85	0,84	0,76	0,63	0,54	0,4	0,47	0,46	0,44	0,61
PCPD	14,7	17	22,77	22,73	19,3	14,83	11,27	7,83	7,7	7,3	5,93	10,77
RAINHHMX	113,86	53,86	122,95	124,64	89,43	49,57	18,24	21,22	10,26	7,93	13,04	35,62
SOLARAV	21,79	21,96	21,24	20,1	19,93	19,9	20,96	23,21	24,95	25,13	24,76	22,44
DEWPT	19,26	20,21	21,55	21,32	19,68	17,78	16,08	15,64	16,04	16,28	16,6	17,78
WDAV	4,11	3,78	3,45	3,15	3,34	4,05	4,46	4,63	4,78	4,84	4,9	4,56

Tabela 11-Estatísticas dos parâmetros climáticos estimadas pelo WGNmaker 4.1 (Est. Sobral)

Estatísticas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
TMPMX	34,87	33,92	32,75	31,98	32,81	33,01	33,59	35,26	36,51	37,09	36,96	35,95
TMPMN	22,05	21,38	21,33	21,18	20,84	20,63	20,87	21,82	22,44	22,61	22,88	22,88
TMPSTDMX	2,4	2,8	3,08	3,12	2,54	2,04	1,93	1,44	1,34	1,36	1,36	2
TMPSTDMN	1,02	0,91	0,88	1	1,07	1,08	1,18	1,11	1,06	1,07	1	1,01
PCPMM	42,42	54,66	115,08	152,86	77,06	32,21	19,26	6,7	2,54	1,52	1,01	11,26
PCPSTD	3,86	3,42	7,76	10,35	5,33	2,79	1,73	1,02	0,43	0,35	0,23	1,36
PCPSKW	6,1	4,72	12,12	9,14	9,02	7,69	5,71	9,82	8,26	12,08	13,93	5,62
PR_W(1)	0,27	0,35	0,43	0,45	0,38	0,36	0,29	0,16	0,13	0,08	0,08	0,14
PR_W(2)	0,76	0,84	0,92	0,92	0,84	0,68	0,55	0,42	0,39	0,4	0,42	0,69
PCPD	15,93	19,37	25,6	25,53	22,1	16,2	12,57	6,93	5,33	3,57	3,47	9,1
RAINHHMX	44,6	40,35	152,75	193,42	97,94	40,95	22,52	18,22	6,05	6,55	4,76	12,52
SOLARAV	20,86	21,23	20,87	19,72	19,54	19,62	20,22	22,23	23,51	23,91	23,2	21,16
DEWPT	21,58	22,3	23,12	23,08	21,92	20,4	18,97	18,62	19,16	19,51	19,72	20,49
WDAV	3,37	2,94	2,57	2,34	2,62	3,2	3,57	4,04	4,28	4,33	4,34	3,96