



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA FLUVIAL.
Estudo de Caso: RIO ITAPICURU - BA**

ÉVERTON SOUZA DA SILVA

CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS

Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA FLUVIAL.
Estudo de Caso: RIO ITAPICURU - BA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Orientadora: Profa. Andrea Sousa Fontes.

ÉVERTON SOUZA DA SILVA

CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**INFLUÊNCIA DA INTERAÇÃO RIO-AQUÍFERO NA
DISPONIBILIDADE HÍDRICA FLUVIAL.
Estudo de Caso: RIO ITAPICURU - BA**

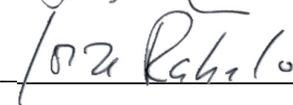
Aprovado em: 17/08/2018

Examinadores:

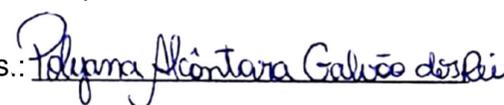
Profa. Andrea Sousa Fontes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Ass.: 

Prof. Jorge Luiz Rabelo
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Ass.: 

Polyana Alcântara Galvão dos Reis
Universidade Federal da Bahia

Ass.: 

ÉVERTON SOUZA DA SILVA

CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, 2018

DEDICATÓRIA

A Deus!

“Àquele que é poderoso de realizar infinitamente mais do que tudo o que pedimos ou imaginamos, de acordo com o seu poder que age em nós”. Efésios 3:20

A meus pais, José Hélio e Suzana, que me ensinaram sobre a vida, a dar valor aos estudos e a trabalhar duro.

À minha irmã, Fernanda, minha melhor amiga, que junto com nossos pais me encheu de incentivo, me dando forças para lutar e voar ao encontro dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Deus, pois Ele é motivo de eu ser quem sou e de estar onde estou. Minha caminhada é como é por conta do cuidado de Deus e da presença d'Ele em meu ser. Deus é o meu respirar, a aurora de toda manhã, a alegria após uma noite de choro! A Trindade (Pai, Filho e Espírito Santo) me fortalece e sempre ministra em meu coração para perseverar nessa vida independente das dificuldades e incertezas. Gratidão, Deus, pelo amor, pelo cuidado e pelos sonhos plantados em meu coração! Gratidão, Pai! Gratidão, Jesus! Gratidão, Espírito Santo!

Agradeço aos primeiros presentes de Deus para mim logo quando cheguei nesse mundo: meu pai, José Hélio, minha mãe, Suzana, e minha irmã, Fernanda! Meus fundamentos, meus amores eternos! Louvo a Deus pela vida de vocês e por sermos juntos uma família! Gratidão por todo amor, toda palavra, todo incentivo e todo apoio! Gratidão pela luta de vocês para eu poder viver meus sonhos! Eu realmente não tenho palavras para agradecer por tudo o que vivi graças a Deus e graças a vocês! Pois tudo o que tenho vivido desde sempre é mais do que sonhei e, às vezes, parece ser mais do que mereço. Amo vocês!

Agradeço a melhor orientadora que existe: Professora Andrea Sousa Fontes! Teacher, gratidão por todos os ensinamentos, por todas as oportunidades, por todos os momentos compartilhados! Gratidão por acreditar em mim! A senhora me inspira ainda mais a buscar meus sonhos, a voar mais alto e a ser um grande exemplo de profissional! Aproveitando, agradeço a todos os professores que passaram em minha vida e que contribuíram positivamente em minha formação como pessoa e como profissional. Gratidão àqueles (as) professores (as) que se tornaram amigos (as)!

Gratidão a todos os amigos que sempre torceram pelo meu sucesso, que me levantaram quando caí, que enxergaram em mim além do que os olhos podem ver, que me ajudaram, que me ouviram, que se alegram e que choraram comigo! Em especial a Hérica, Rosahelena e Valéria, cuja amizade foi de grande valor nessa etapa de minha vida, e, hoje, fechamos juntos um ciclo e nos tornamos engenheir@s. Agradeço também a meu amigo Lorenzo, que me ajudou durante a etapa de obtenção das outorgas superficiais e subterrâneas da bacia do Itapicuru, e,

agradeço ao Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) por disponibilizar tais outorgas para a realização do estudo.

Gratidão à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia que me permitiu crescer como pessoa e como profissional. Gratidão à Pró-Reitoria de Políticas Afirmativas e Assuntos Estudantis da UFRB, que foi de suma importância para minha permanência na universidade.

Essa vitória é de todos nós! Muita gratidão! Muito amor!

Deus abençoe a todos!

*“What we know is a drop.
What we don't know is an ocean”.*

*“O que sabemos é uma gota.
O que não sabemos é um oceano”.*

Isaac Newton

RESUMO

A crescente demanda pelos recursos hídricos causa pressão nos ecossistemas fluviais, que sofrem os impactos das retiradas desordenadas nas matrizes superficiais e subterrâneas. Tendo em vista que o fluxo presente nos rios é resultado das parcelas do escoamento superficial e do fluxo de base, este estudo objetiva avaliar a interação rio-aquífero, na porção do aquífero Tucano, existente na bacia do rio Itapicuru, considerando os efeitos na disponibilidade hídrica fluvial para atendimento às demandas potenciais de usos múltiplos da água. Nesta perspectiva, foi feita caracterização da área nas vertentes climáticas, pedológicas e hidrogeológicas, como também dos registros de poços e das demandas superficiais e subterrâneas. Ademais, foram verificados o padrão de chuvas e o comportamento do regime fluvial; métodos de separação do fluxo de base foram aplicados; estimou-se a recarga hidrogeológica através da empregação de dois métodos e foi desenvolvido balanço hídrico considerando um cenário de demandas potenciais para a bacia. Os resultados exibiram mudanças no regime fluvial do rio Itapicuru, sendo verificado antecipação das cheias e redução de sua magnitude em, aproximadamente, 50,61%; o balanço de recarga apontou contribuição das chuvas na recarga do aquífero livre especialmente entre os meses de maio a junho; a separação do fluxo de base retornou um índice de fluxo de base (BFI) acima de 0,60 para os trechos estudados e o balanço hídrico para o cenário avaliado apresentou, para o quadro temporal mais recente, necessidade de exploração de 4,26 m³/s da reserva explotável em 72,22% do tempo para atendimento das demandas. Nesta perspectiva, a gestão integrada dos recursos hídricos é vista como o caminho para a garantia da sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: interação rio-aquífero, semi-árido, hidrologia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1. Objetivos gerais	18
2.2. Objetivos específicos	18
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1. Panorama do ciclo hidrológico global.....	19
3.1.1. Ciclo hidrológico	19
3.2. Águas subterrâneas	21
3.2.1. Conceitos fundamentais	21
3.2.2. Tipos de rochas	24
3.2.3. Formações aquíferas.....	25
3.2.4. Origem das águas subterrâneas.....	27
3.3. Interação das águas superficiais e das águas subterrâneas.....	29
3.3.1. Tipos de interação rio-aquífero	30
3.3.2. Métodos analíticos para quantificação do fluxo de base do rio	31
3.4. Impactos antrópicos na interação das águas subterrâneas e superficiais	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1. Área de estudo.....	36
4.1.1. Caracterização climática.....	37
4.1.2. Caracterização pedológica	38
4.1.3. Caracterização hidrogeológica	39
4.1.4. Disponibilidade hídrica do aquífero Tucano.....	41
4.1.5. Panorama dos poços.....	44
4.1.6. Demandas e outorgas na bacia do rio Itapicuru	46
4.2. METODOLOGIA	47
4.2.1. Levantamento e tratamento de dados	48
4.2.2. Caracterização do regime fluvial.....	49
4.2.3. Definição do fluxo de base	53
4.2.4. Análise potencial de recarga do aquífero	54
4.2.5. Avaliação de disponibilidade <i>versus</i> demanda hídrica	55
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58

5.1. Caracterização pluviométrica na bacia do rio Itapicuru	58
5.2. Caracterização do regime fluvial do rio Itapicuru	61
5.3. Avaliação das vazões mensais extremas e das vazões de referência.....	66
5.4. Definição do fluxo de base	67
5.5. Potencial de recarga direta do aquífero	70
5.6. Avaliação de disponibilidade em frente às demandas hídricas	72
6. CONCLUSÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICES.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Sistemas de representação do ciclo hidrológico.....	20
Figura 3.2 – Tipos fundamentais de porosidade conforme material em uma seção geológica.....	22
Figura 3.3 – Representação esquemática das diversas zonas de umidade em um perfil pedológico.....	23
Figura 3.4 – Representação de aquíferos confinados e livres.....	26
Figura 3.5 – Representação de aquíferos suspensos e livres.....	27
Figura 3.6 – Esquema de fluxo do ciclo hidrológico.....	28
Figura 3.7 – Esferas de interação da água.....	29
Figura 3.8 – Tipos de fluxos em (a) rios efluentes e em (b) rios influentes.....	30
Figura 3.9 – Esquema de fluxo para os casos de rios desconectados e rios com reservação em bancadas.....	31
Figura 3.10 – Hidrograma discretizando o fluxo de base da vazão total do rio.....	32
Figura 3.11 – Descarga de águas subterrâneas no rio.....	33
Figura 3.12 – Inserção e influência de um poço no fluxo subterrâneo a uma vazão Q_1	34
Figura 3.13 – Representação da resposta do fluxo de água ao aumento da vazão de retirada do poço.....	34
Figura 4.1 – Municípios integrantes da bacia do Rio Itapicuru.....	36
Figura 4.2 – Classificação climática de Köppen para a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.....	37
Figura 4.3 – Tipos de solos presentes na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru de acordo com o levantamento feito pela EMBRAPA em 2011.....	38
Figura 4.4 – Unidades aquíferas presentes na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.....	40
Figura 4.5 – Mapa de caracterização da produtividade potencial hídrica das unidades estratigráficas da bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.....	41
Figura 4.6 – Mapa das vazões das unidades hidroestratigráficas aflorantes existentes na bacia do rio Itapicuru.....	42
Figura 4.7 – Mapa das vazões das unidades hidroestratigráficas subjacentes existentes na bacia do rio Itapicuru.....	43

Figura 4.8 – Situação dos poços existentes na bacia do Itapicuru em percentual....	44
Figura 4.9 – Percentual dos usos dos poços de situação em bombeamento na bacia do Itapicuru.....	45
Figura 4.10 – Localização dos poços registrados no SIAGAS em situação de bombeamento na bacia hidrográfica do rio Itapicuru.....	45
Figura 4.11 – Localização dos pontos de outorgas de usos de acordo com o INEMA para a bacia hidrográfica do Itapicuru.....	46
Figura 4.12 – Processo metodológico.....	47
Figura 4.13 – Localização das estações fluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.....	50
Figura 4.14 – Polígonos de Thiessen em relação a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru para as estações pluviométricas utilizadas no período passado (1966 a 1989).....	52
Figura 4.15 – Polígonos de Thiessen em relação a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru para as estações pluviométricas utilizadas no período recente (1994 a 2017).....	53
Figura 5.1 – Padrão pluviométrico da região do Alto Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017).....	58
Figura 5.2 – Padrão pluviométrico da região do Médio Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017).....	59
Figura 5.3 – Padrão pluviométrico da região do Submédio Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017).....	60
Figura 5.4 – Padrão pluviométrico da região do Baixo Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017).....	61
Figura 5.5 – Vazões médias mensais para (a) o período de 24 anos passado (1966 a 1989) e (b) o período de 24 anos mais recente (1994 a 2017).....	62
Figura 5.6 – Vazões médias mensais para o período classificado como úmido referente ao (a) passado (1969-1971) e à (b) condição mais recente (2003-2005).....	63
Figura 5.7 – Vazões médias mensais para o período classificado como regular referente ao (a) passado e à (b) condição mais recente.....	64
Figura 5.8 – Vazões médias mensais para o período classificado como seco referente ao (a) passado e à (b) condição mais recente.....	65

Figura 5.9 – (a) Vazões médias mensais e (b) curvas-chave para o trecho da estação fluviométrica 50595000 (Usina Altamira) no Conde.....	65
Figura 5.10 – Hidrogramas de separação de fluxo dos trechos monitorados da bacia do Rio Itapicuru.....	69
Figura 5.11 – Comparação da demanda hídrica exigida pela vazão de referência (80%Q90, máxima outorgável, somado a 20%Q90, vazão remanescente) tendo em vista a parcela do escoamento superficial disponível no corpo hídrico para o triênio passado (1975-1977).....	72
Figura 5.12 – Comparação da demanda hídrica exigida pela vazão de referência (80%Q90, máxima outorgável, somado a 20%Q90, vazão remanescente) tendo em vista a parcela do escoamento superficial disponível no corpo hídrico para o triênio recente (2012-2014).....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Volume de poros e tamanho de partículas em sedimentos.....	22
Tabela 3.2 – Condutividade hidráulica em diferentes substratos.....	23
Tabela 3.3 – Atividades antrópicas e seu potencial impacto (direto ou indireto) às águas subterrâneas.....	35
Tabela 4.1 – Base de dados utilizada para o estudo da interação rio-aquífero.....	48
Tabela 4.2 – Classificação dos triênios de acordo com a condição de disponibilidade hídrica dos trechos monitorados no rio Itapicuru para os 48 anos da série histórica.....	51
Tabela 4.3 – Estações pluviométricas utilizadas de acordo com a zona climatológica para cada período.....	51
Tabela 4.4 – Variáveis integrantes do balanço hídrico.....	56
Tabela 5.1 – Comparativo das vazões médias (m ³ /s) do mês de maior estiagem para os períodos estudados ao longo dos trechos do rio principal da bacia do Itapicuru..	66
Tabela 5.2 – Vazões de referência dos trechos para os cenários passado (1966-1989) e recente (1994-2017).....	66
Tabela 5.3 – Resumo estatístico dos resultados da aplicação dos métodos analíticos de separação do hidrograma para obtenção do fluxo de base para o período passado (1966-1989).....	67
Tabela 5.4 – Resumo estatístico dos resultados da aplicação dos métodos analíticos de separação do hidrograma para obtenção do fluxo de base para o período recente (1994-2017).....	68
Tabela 5.5 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio seco passado (1975-1977).....	71
Tabela 5.6 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio úmido passado (1969-1971).....	71
Tabela 5.7 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio úmido recente (2003-2005).....	72
Tabela 5.8 – Resumo da situação do balanço hídrico mensal para o triênio passado seco (1975-1977) considerando os meses de maio e dezembro.....	73

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais requisitados do planeta, sendo essencial à vida e ao desenvolvimento de inúmeras atividades. Tal recurso, porém, não é distribuído uniformemente pelo globo terrestre, uma vez que sua disposição está aliada a diversos fatores como a climatologia, a geologia e a topografia (Manzione, 2015). À vista disso, a disponibilidade hídrica de uma região é comumente caracterizada em graus de vulnerabilidade – pela escassez do recurso hídrico –, tendo como as regiões de maior vulnerabilidade as desérticas, as áridas e as semiáridas.

Visando o atendimento da demanda hídrica nessas áreas, muitas soluções (estruturais e/ou não-estruturais) são empregadas e, nessa conjuntura, também surgem muitos conflitos pelo uso da água. Tais conflitos resultam das discrepantes demandas de cada setor, atividade econômica e uso preponderante. Nesta conjuntura, visando o suprimento de água aos usos múltiplos, seguem algumas alternativas: construção de cisternas para armazenamento das águas meteóricas; utilização de carros-pipa; construção de barragens subterrâneas para retenção da água do escoamento sub-superficial; implantação de barramentos nos cursos dos rios para reservação; e exploração das águas subterrâneas, através da perfuração de poços.

Segundo Hirata et al. (2010), os aquíferos brasileiros são responsáveis pelo abastecimento de água para 30% a 40 % da população do Brasil. De acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS, 2018), no Brasil, atualmente, há um total de 300.072 poços cadastrados. Neste panorama nacional, o ranking dos estados com maior número de poços é: São Paulo (32.816); Pernambuco (29.695); Piauí (29.172); Paraná (28.578); Bahia (24.199); Ceará (23.127); e, Minas Gerais (20.366). Em tal conjuntura, a Bahia ocupa o quinto lugar com cerca de 8,06% do total de poços cadastrados no país.

Evidenciando o estado da Bahia, em uma escala de bacias hidrográficas, dentre as três maiores bacias de domínio estadual – bacia do Rio Itapicuru, bacia do Rio Paraguaçu e bacia do Rio de Contas – aquela que possui o maior número de poços cadastrados no SIAGAS é a bacia do Rio Itapicuru. A bacia do Paraguaçu

apresenta um total de 2.623 poços registrados no SIAGAS, sendo que 20,40% estão em estado de bombeamento. A bacia do Rio de Contas possui um total de 2.300 poços cadastrados; destes, 15,26% estão bombeando. Por sua vez, a bacia do Itapicuru possui registros de 3.001 poços em sua extensão, sendo que 28,26% encontram-se em condição de bombeamento (SIAGAS, 2018). Os dados de poços evidenciam a elevada exploração das águas subterrâneas, que, juntamente às águas superficiais constituem-se no mesmo recurso hídrico, e interagem nos diversos estágios cíclicos do rio.

A interação rio-aquífero é um fenômeno de grande relevância, pois em muitos rios, a vazão mantida nas épocas de estiagens é proveniente das águas subterrâneas, denominada vazão de base. Há assim, na dinâmica hídrica fluvial, compondo a vazão do corpo d'água, a vazão de base e a vazão do escoamento superficial e sub-superficial. O funcionamento dessa interação variará de acordo com o tipo de rio e com o tipo de aquífero. De toda forma, o entendimento dessa dinâmica é relevante, pois a superexploração ou quaisquer impactos em uma das esferas (superficial e/ou subterrânea) pode ter consequências na disponibilidade do recurso na outra. Assim, como disposto na Política Nacional dos Recursos Hídricos (Lei N° 9.433/1997), a gestão das águas deve ser feita de maneira integrada.

Contudo, embora necessária e indicada legalmente, a gestão das águas não tem sido desenvolvida de maneira integrada (Hirata et al., 2010; Fleckenstein et al., 2010; Arcworth, 2009). As águas superficiais continuam protagonizando os debates nos processos decisórios, nas demandas políticas e nos investimentos. Ademais, tanto a apreciação dos gestores quanto a dos usuários é concentrada na competição entre os recursos, ao invés de sua integração (Hirata et al., 2010). Outro agravante é o conhecimento limitado da disponibilidade hídrica subterrânea nacionalmente, somado aos poucos estudos regionais já defasados (Zoby e Matos, 2002 *apud* Hirata et al., 2010). Logo, a baixa percepção sistêmica-holística da interação rio-aquífero e a superexploração das águas subterrâneas e das águas superficiais como se fossem infinitas e isoladas podem ocasionar graves impactos no recurso hídrico em sua totalidade. A própria dinâmica do ciclo hidrológico fundamenta que é uma só água (Baalousha, 2012; Arcworth, 2009; Winter et al., 1998).

Diante do exposto, em uma região localizada em área de vulnerabilidade hídrica, de clima semi-árido, onde os índices pluviométricos são, geralmente,

inferiores a 600 mm por ano, a gestão deve ser realizada, impreterivelmente, de maneira integral. Assim, uma vez compreendida a interação rio-aquífero, a superexploração poderá ser controlada, possibilitando um melhor gerenciamento, conservação ambiental e minimização de impactos. Além disso, a gestão integrada propiciará um planejamento, tendo em vista as demandas por usos múltiplos e as disponibilidades do recurso hídrico segundo seu regime natural e a climatologia da área.

A bacia do Rio Itapicuru, uma bacia de grande relevância para o estado da Bahia, possui seu território disposto quase que inteiramente no Polígono das Secas. A climatologia predominante da área onde está localizada é de semi-árido. Seus cursos d'água caracterizam-se majoritariamente com regime de fluxo intermitente. Em um cenário de alterações hidrológicas, influência de barramentos, agricultura intensiva e tendo dispostos em sua área mais de três mil poços (SIAGAS, 2018), o presente trabalho objetiva avaliar a influência da interação rio-aquífero na disponibilidade hídrica fluvial do trecho do Rio Itapicuru onde está localizado o aquífero sedimentar Tucano, tendo em vista uma gestão integrada dos recursos hídricos dessa bacia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos gerais

Avaliar a interação rio-aquífero na região do aquífero Tucano presente na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru, tendo em vista os efeitos na disponibilidade hídrica fluvial para atendimento às demandas potenciais de usos múltiplos da água na área de estudo.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar o regime fluvial dos trechos sub-médio e baixo do Rio Itapicuru e o potencial hídrico dos aquíferos que interferem nas vazões desses trechos;
- ✓ Caracterizar o padrão pluviométrico considerando as zonas climáticas da bacia hidrográfica;
- ✓ Definir o fluxo de base do Rio Itapicuru em trechos influenciados por aquífero;
- ✓ Analisar o potencial de recarga de águas subterrâneas na área de estudo;
- ✓ Avaliar o balanço entre disponibilidades e vazão máxima outorgável dos recursos hídricos superficiais e demandas potenciais subterrâneas da área de estudo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Panorama do ciclo hidrológico global

A visibilidade das águas superficiais suscita uma concepção geral e errônea de que as águas de rios, barragens e lagos configuram-se como a maior fonte de água potável para o atendimento humano (Feitosa *et al.*, 2000). Sem embargo, a distribuição da água no planeta indica o oposto. Na conjuntura global tem-se que 2,5% ($3,5 \times 10^7 \text{ km}^3$) equivalem à água doce disponível na Terra; dessa totalidade, 68,7% é o percentual referente às calotas polares e geleiras, 30,1% às águas subterrâneas, 0,8% a *permafrost* (água congelada no solo) e, nessa conformidade, apenas 0,4% correspondem às águas da superfície e da atmosfera (Shiklomanov, 1998, *apud* Manzione, 2015, p. 57).

Ainda, a disposição do total dos 0,4% das águas doces superficiais e da atmosfera, segundo Shiklomanov e Rodda (2003) *apud* Manzione (2015), é a seguinte: “67,4% seriam lagos de água doce, 8,5% seriam áreas húmidas como pântanos, brejos e banhados, 12,2% corresponderiam à umidade do solo, 1,6% rios, 9,5% atmosfera e 0,8% referente à água contida em planta e animais”. Contudo, apesar dessa distribuição da água, ela é um recurso único, interconectado com os mais variados sistemas, e que se movimenta em uma dinâmica cíclica que corrobora sua unidade, singularidade e papel holista. Essa dinâmica é o ciclo hidrológico.

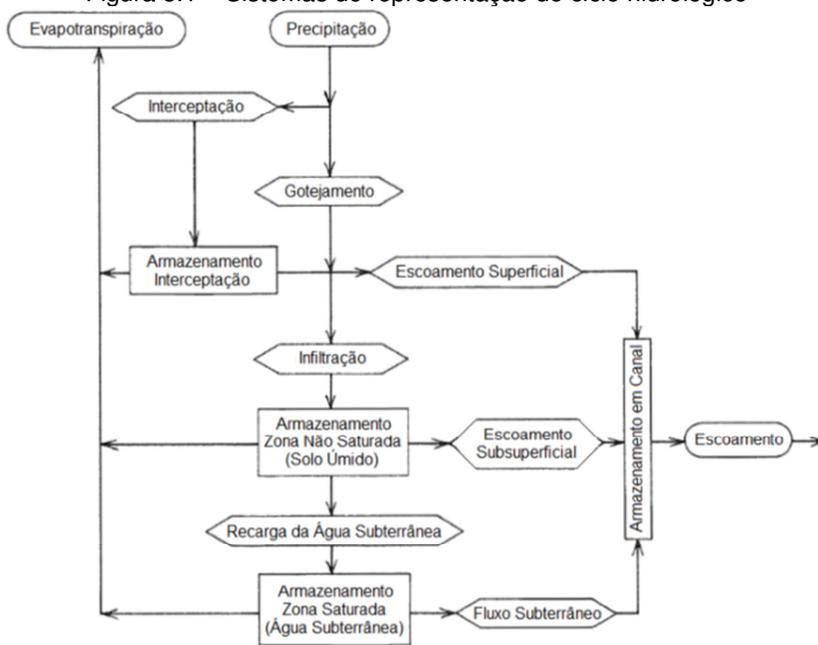
3.1.1. Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é um fenômeno global fechado que trata do contínuo movimento da água entre as esferas atmosférica, superficial e subterrânea, compelido pela energia do Sol associada à rotação da Terra e à gravidade (Manzione, 2015; Silveira *et al.*, 2007; Winter *et al.*, 1998). Ele é fundamentalmente estudado em uma escala de bacia hidrográfica e compreende uma variedade de fenômenos e a reação da água a cada um deles, considerando as características do meio. É importante destacar que o ciclo hidrológico é fechado em termos globais, entretanto, em escalas inferiores ele se torna aberto, pois há fenômenos que são

variáveis em espaço e em tempo (ex. precipitação). Tendo isso em vista, a unidade fundamental está sujeita a oscilações deficitárias ou excedentes de água, sejam elas mensais, sazonais, anuais ou mais perduráveis (Manziona, 2015).

Nesta conjuntura o ciclo hidrológico é instaurado, tendo como fenômeno constante de saída de água a evapotranspiração e como fenômeno de entrada de água, de caráter variável, a precipitação. Assim, as chuvas são desencadeadas devido à condensação do vapor de água presente na atmosfera, que formam as gotículas de água nas nuvens. Ao suceder a precipitação, a água está sujeita a ser interceptada pela vegetação, sofrer infiltração ou escoar (*run-off* ou escoamento superficial). A água interceptada, que não escoou, evaporará. No tangente a água infiltrada, uma parte atingirá a zona saturada contribuindo na recarga subterrânea; em contrapartida, outra parcela ficará retida na zona não-saturada, que poderá passar pelo processo de evapotranspiração, além de nutrir a vegetação e colaborar no armazenamento do canal por escoamento subsuperficial. O canal fluvial será abastecido, a níveis mais significativos, pelos escoamento superficial e fluxo subterrâneo, sendo este último responsável pela manutenção do fluxo de base dos rios nos períodos secos (Manziona, 2015). A Figura 3.1 expõe um fluxograma com os fenômenos e a sistematização do ciclo hidrológico.

Figura 3.1 – Sistemas de representação do ciclo hidrológico



Fonte: Freeze e Cherry, 2017

Tendo em vista o ciclo hidrológico, é possível perceber que as águas superficiais e subterrâneas estão interconectadas, sendo assim um só recurso. Não obstante, considerando a bacia hidrográfica como unidade fundamental, o fluxo da água no ambiente e seu estabelecimento nos diferentes domínios podem ser avaliados e quantificados por meio do balanço hídrico. O balanço hídrico caracteriza os fenômenos do ciclo em vias de entrada e saída, visando contabilizar os contribuintes hídricos da precipitação, evaporação (saída), infiltração, escoamento superficial e fluxo subterrâneo. A interação de todos esses elementos resultará na disponibilidade hídrica do corpo hídrico. Nesta perspectiva, é primordial o entendimento das peculiaridades de cada ambiente, seu funcionamento, e os fatores intervenientes do meio.

3.2. Águas subterrâneas

3.2.1. Conceitos fundamentais

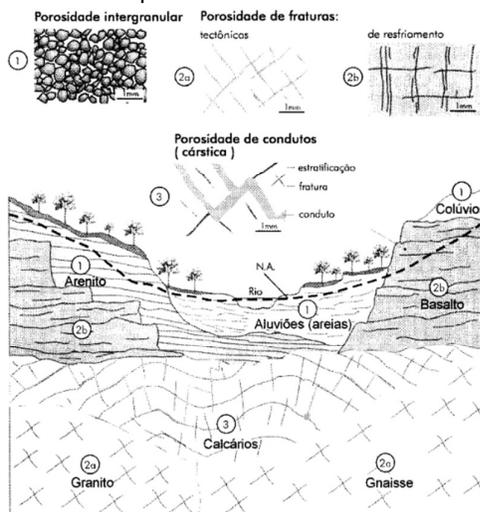
Em conceituação geral, a água subterrânea é toda água que ocupa os espaços vazios de um estrato geológico (Todd, 1967; Karmann, 2000). Nesta perspectiva, o entendimento das características e propriedades do substrato da água subterrânea é de grande relevância para compreender sua dinâmica no meio. Assim, tem-se as seguintes propriedades: porosidade, permeabilidade, potencial hidráulico, transmissividade, condutividade hidráulica e a saturação.

A porosidade representa a razão entre o volume de vazios e o volume total de um determinado material (Karmann, 2000). Tal propriedade física está relacionada também com a homogeneidade dos grãos, seu arranjo, tamanho e formato (porosidade intergranular). Neste sentido, um substrato que apresenta uma maior variação do tamanho de grãos terá baixa porosidade em virtude dos grãos menores ocuparem os espaços vazios dos grãos maiores (Diniz *et al.*, 2014).

Segundo Karmann (2000), há três tipos fundamentais de porosidade (Figura 3.2), a primária e a secundária, sendo que esta última se subdivide em porosidade de fraturas e porosidade cárstica. A porosidade primária (1, *vide* Figura 3.2) é característica das rochas sedimentares, ela surge junto com o sedimento ou

rocha e é de caráter intergranular. A porosidade secundária de fraturas (2a e 2b, *vide* Figura 3.2) ocorre, por fraturamento ou por falha, após a formação das rochas ígneas, metamórficas ou sedimentares. E, por sua vez, a porosidade secundária cárstica (3, *vide* Figura 3.2) é gerada por dissolução de rochas solúveis, por exemplo: mármore e calcários.

Figura 3.2 – Tipos fundamentais de porosidade conforme material em uma seção geológica



Fonte: Karmann (2000)

A permeabilidade é a capacidade do meio de proporcionar o fluxo de água através dos poros e depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles, além da viscosidade e do peso específico do fluido (Karmann, 2000; Diniz *et al.*, 2014). A Tabela 3.1 exhibe valores de porosidade e permeabilidade para diferentes substratos homogêneos segundo Karmann (2000). É possível notar que o aumento da porosidade e diminuição da partícula nos substratos implicam em diminuição da permeabilidade. Nos casos de silte e argila, esse contraste se dá em virtude da adsorção da água às partículas do sedimento, pois, mesmo com um elevado volume de vazios, os poros são muito pequenos (Karmann, 2000).

Tabela 3.1 – Volume de poros e tamanho de partículas em sedimentos

Material	Tamanho das partículas (mm)	Porosidade	Permeabilidade (%)
Cascalho	7 a 20	35,2	Muito alta
Areia grossa	1 a 2	37,4	Alta
Areia fina	0,3	42	Alta a média
Siltes e argila	0,04 a 0,006	50 a 80	Baixa a muito baixa

Fonte: Karmann (2000)

O potencial hidráulico equivale à diferença de pressão entre dois pontos que é exercida pela coluna de água sobrepujante aos pontos e pelas rochas adjacentes,

impulsionando o movimento da água subterrânea de zonas com alto potencial para de baixo potencial (Karmann, 2000).

A transmissividade é definida por Diniz *et al.* (2014) como a quantidade de água que escoar através da seção vertical do aquífero ao diminuir a carga hidráulica de uma unidade, sendo expressa em m²/dia ou cm²/s. No que consiste a transmissão de água, outra característica relevante e intrínica aos materiais é a condutividade hidráulica. Tal propriedade corresponde a quantificação da capacidade de transmissão de água em função da inclinação do nível freático (Karmann, 2000). A Tabela 3.2 apresenta os valores da condutividade hidráulica para diferentes materiais. Nota-se que, em ordem de grandeza, o cascalho é o que apresenta a maior condutividade hidráulica.

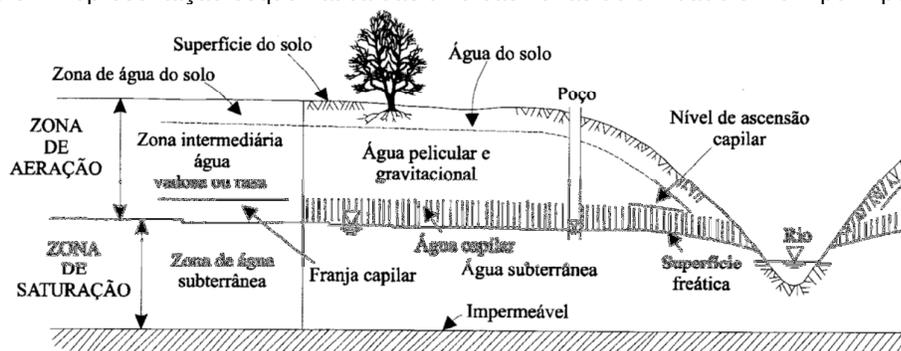
Tabela 3.2 – Condutividade hidráulica em diferentes substratos

Material	Intervalo (cm/s)	Média (cm/s)
Cascalho	$(0,3 - 31,2) \times 10^{-1}$	$4,03 \times 10^{-1}$
Areia grossa	$(0,9 - 6610,0) \times 10^{-4}$	$5,20 \times 10^{-2}$
Areia fina	$(0,2 - 189,0) \times 10^{-4}$	$2,88 \times 10^{-3}$
Silte	$(0,1 - 7090,0) \times 10^{-7}$	$2,83 \times 10^{-5}$
Argila	$(0,1 - 47,0) \times 10^{-8}$	$9,00 \times 10^{-8}$

Fonte: Morris & Johnson, 1967, *apud* Tucci, 2007

A saturação indica a proporção relativa da água que preenche os espaços vazios. Assim, em um estrato geológico, tem-se as zonas saturada e não-saturada (Feitosa *et al.*, 2000). A zona saturada está localizada abaixo da superfície freática e nela todos os poros estão ocupados por água. Por outro lado, a zona não-saturada (ou de aeração) é aquela situada entre a superfície freática e o nível do terreno, nesta zona os poros estão preenchidos parcialmente por gases e por água (Feitosa *et al.*, 2000). A Figura 3.3 representa a distribuição vertical da água no solo e no subsolo.

Figura 3.3 – Representação esquemática das diversas zonas de umidade em um perfil pedológico



Fonte: Bear & Verruijt, 1987, *apud* Feitosa et al., 2000

Como é possível observar a zona de aeração possui três regiões distintas, a zona capilar, a zona intermediária e a zona de água do solo – ou de evapotranspiração – (Feitosa *et al.*, 2000; Todd, 1967). A zona capilar é a região mais próxima da zona de saturação, ela depende da homogeneidade do terreno e da distribuição dos tamanhos dos poros. Tal região possui como peculiaridade uma faixa de saturação de cerca de 75%, denominada franja capilar. A zona intermediária situa-se entre o limite de elevação capilar e o alcance das raízes das plantas, a umidade nessa região é devido à água capilar isolada ou ao acúmulo de água por forças não capilares. A região de água do solo é determinada das extremidades das raízes da vegetação até a superfície do solo; a água presente nessa zona corresponde a água capilar isolada ou suspensa que será utilizada pelas plantas para funções nutritivas e de transpiração (Feitosa *et al.*, 2000; Todd, 1967).

3.2.2. Tipos de rochas

As rochas são aglomerados consolidados decorrente da união natural de um ou mais minerais (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000). Elas são geralmente classificadas de acordo com sua gênese, ou seja, o seu modo de formação no ambiente. Assim, as rochas são categorizadas em: ígneas ou magmáticas, sedimentares, e, metamórficas (Madureira Filho *et al.*, 2000). O tipo de rocha, além de indicar todo o material geológico e o quadro físico de uma área ou região (Manziona, 2015) estabelecerá o aporte hídrico subterrâneo de um local, como também o tipo do aquífero e, por conseguinte, a dinâmica e as características do fluxo da água subterrânea.

As rochas ígneas são originadas do resfriamento e consolidação do magma, podendo ser intrusiva ou extrusiva (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000). As rochas magmáticas intrusivas consolidam-se na subsuperfície da crosta terrestre e, por conta da pressão na ascensão do magma, tendem a introduzir-se em rochas pré-existentes ou em suas fraturas; por este fato elas são também denominadas de rochas de encaixe (Manziona, 2015). A rocha ígnea intrusiva mais abundante na crosta é o granito (Madureira Filho *et al.*, 2000), que é intrusiva ácida; outros exemplos de rochas magmáticas intrusivas são: gabros (int. alcalina), diabásios (int. alcalina), aplito (int. ácida) e granodiorito (int. ácida) – (Manziona, 2015).

As rochas magmáticas extrusivas decorrem da efusão do magma e sua consolidação na superfície da Terra (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000). Tais rochas também podem ser chamadas de vulcânicas e, segundo Manziona (2014): elas variam “de alguns metros a quilômetros de extensão e de alguns centímetros a dezenas de metros de espessura”. Como exemplos, tem-se os basaltos (ext. alcalina) da Formação Serra Geral (Manziona, 2015).

As rochas sedimentares são formadas a partir de um protólito (rocha pré-existente) – ígnea, metamórfica ou outra sedimentar –, que por ações do intemperismo, transporte, deposição, consolidação e cimentação originam a nova rocha sedimentar (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000). A litificação ou diagênese é o processo geológico de união das partículas sedimentares, que sucede em condições geológicas de baixa pressão, baixa temperatura e engloba os processos supracitados (Madureira Filho *et al.*, 2000).

As rochas metamórficas são resultado da transformação de protólitos no estado sólido por aumento de pressão e/ou temperatura no interior da crosta sobre a rocha pré-existente. Essa metamorfose acontece a uma temperatura inferior a de fusão dos minerais, de modo que se modifique somente a estrutura cristalina da rocha (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000). Segundo Madureira Filho *et al.* (2000), as transformações metamórficas não são aquelas manifestadas nos processos de intemperismo e litificação. Dentre os tipos de metamorfismo, tem-se: o termal (de contato), o cataclástico (de pressão), o dinamotermal (de temperatura e pressão) e o regional (em grandes extensões devido a eventos geológicos de grande porte) – (Manziona, 2015; Madureira Filho *et al.*, 2000).

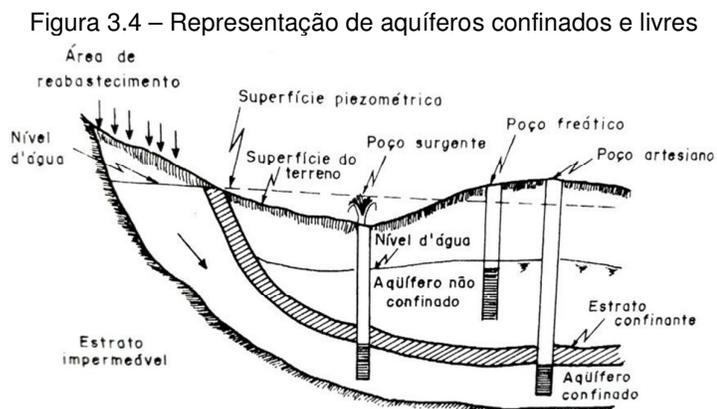
3.2.3. Formações aquíferas

As formações aquíferas constituem-se em unidades geológicas, com porosidade e permeabilidade suficientes, que possibilitem a reservação de água e permitam sua transmissão e movimento a níveis consideráveis em seu interior sob gradientes hidráulicos comuns (Freeze & Cherry, 2017; Manziona, 2015; Diniz *et al.*, 2014). Os aquíferos, geralmente, são capazes de armazenar grandes volumes de água, porém a transmitem lentamente por conta das propriedades condutividade

hidráulica, transmissividade e porosidade (Manziona, 2015). Destarte, o tipo de rocha tem substancial influência na porosidade de um sistema aquífero e, por conseguinte, sua armazenagem e produção de água. Em vista disso, os aquíferos são segregados em três tipos: sedimentares, fissurais e cársticos.

Os aquíferos sedimentares (ou porosos) são formações mais recentes de porosidade granular, neles a água flui por entre os espaços vazios dos solos e clastos constituintes das rochas sedimentares. Os aquíferos fissurais (ou fraturados) decorrem de deformações tectônicas, em que processos de dobramento e falhamento originam sistemas de fraturas fechadas; nesses aquíferos, a água se move através das fraturas e fendas (Manziona, 2015; Karmann, 2000). Uma particularidade dos aquíferos fraturados é sua tendência de fechar com a profundidade, desta maneira os primeiros 50 metros são os mais produtivos (Manziona, 2015). Por sua vez, os aquíferos cársticos (ou de condutos) são gerados da dissolução das rochas carbonáticas constituindo uma rede de condutos, na qual a água é transportada (Karmann, 2000).

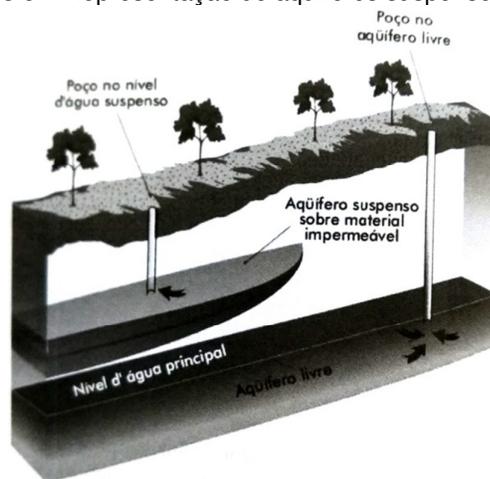
Os aquíferos são ainda classificados em confinados, livres, semiconfinados, suspensos e costeiros. Os aquíferos confinados são formações geológicas que armazenam água por estratos sobrejacentes, relativamente impermeáveis, a uma pressão maior do que a atmosférica, sendo sua recarga feita através da área de reabastecimento (*vide* Figura 3.4), onde há possibilidade de infiltração devido a formação aflorar à superfície (Manziona, 2015; Todd, 1967). Devido à alta pressão do nível hidrostático nesses tipos de aquíferos, ocorre o fenômeno do artesianismo nos poços (Manziona, 2015).



Fonte: Todd, 1967

No que concerne aos aquíferos livres ou não-confinados, como eles são formações geológicas superficiais, seu nível d'água corresponde à superfície superior da zona de saturação; devido a essa proximidade a superfície eles estão sujeitos à pressão atmosférica. Além disso, tais aquíferos possuem seu reabastecimento de forma direta na área de toda sua extensão, enquanto que nos confinados a recarga é indireta (Manziona, 2015; Todd, 1967). No tangente aos aquíferos semiconfinados, eles consistem de uma situação intermediária ou de sobreposição entre um aquífero confinado e um livre, de modo que sucedem confinamento e pressão em locais isolados ou aflorações em uma formação confinada possibilitando recarga direta, como os casos das Formações Botucatu e Piramboia do Aquífero Guarani (Manziona, 2015). A Figura 3.5 representa uma ocorrência de aquífero suspenso.

Figura 3.5 – Representação de aquíferos suspensos e livres



Fonte: Karmann, 2000

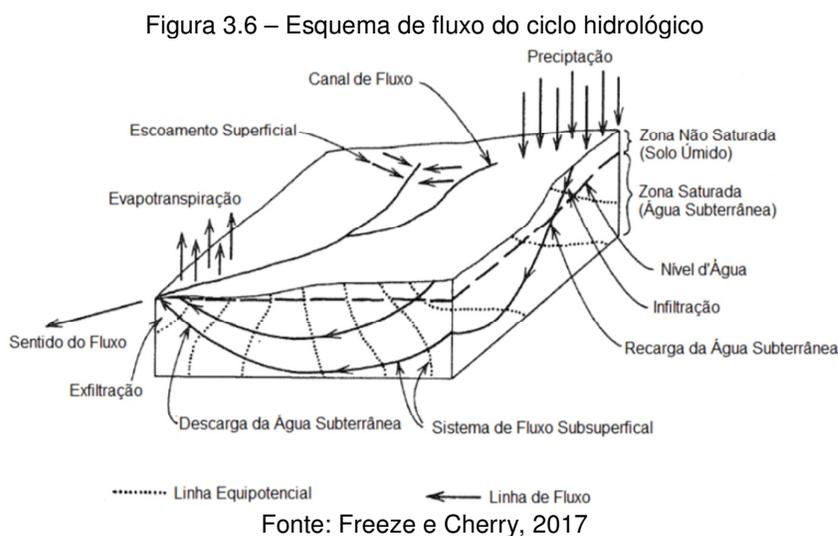
Nas ocorrências de aquíferos suspensos, uma camada impermeável ou de permeabilidade baixa, que suporta um volume de água, está localizada entre a superfície freática (ex.: um aquífero livre) e a superfície do terreno. No referente aos aquíferos costeiros, eles são aqueles localizados próximos ao mar ou grandes lagos salgados (Manziona, 2015).

3.2.4. Origem das águas subterrâneas

As águas subterrâneas podem ser originadas de três diferentes fontes, sendo elas: meteórica, juvenil e conata. As meteóricas, componentes do ciclo

hidrológico, fornecem água às reservas subterrâneas por meio da infiltração da chuva no solo. A juvenil, ou água deutérica, é proveniente do magma do Manto médio e inferior. Através da tectônica de placas, certa quantidade de água da litosfera é transferida para zonas de subducção profundas, podendo preencher poros de rochas e sedimentos, compor o retículo cristalino de algum mineral, e, por meio de processos físico-químicos no manto formam novo magma como também rochas metamórficas (Manzione, 2015).

Constata-se assim que mesmo a dinâmica subterrânea sendo integrada ao ciclo hidrológico, há tipos de águas subterrâneas que não foram produto da infiltração da água meteórica. A água conata, por exemplo, tem sua origem na formação geológica, em que a água, proveniente ou dos oceanos ou de alguma fonte de água doce, fica aprisionada nos interstícios das rochas sedimentares (Todd, 1967). Ela é um tipo de água altamente mineralizada (Todd, 1967) e são mais propensas nas rochas sedimentares que formam aquíferos confinados (Manzione, 2015). Mesmo não originadas dos fenômenos do ciclo hidrológico, as águas conata e juvenil são inseridas no ciclo ao atingirem as zonas de fluxo e influência do mesmo. A Figura 3.6 apresenta um corte ilustrando as zonas de fluxo do ciclo hidrológico.



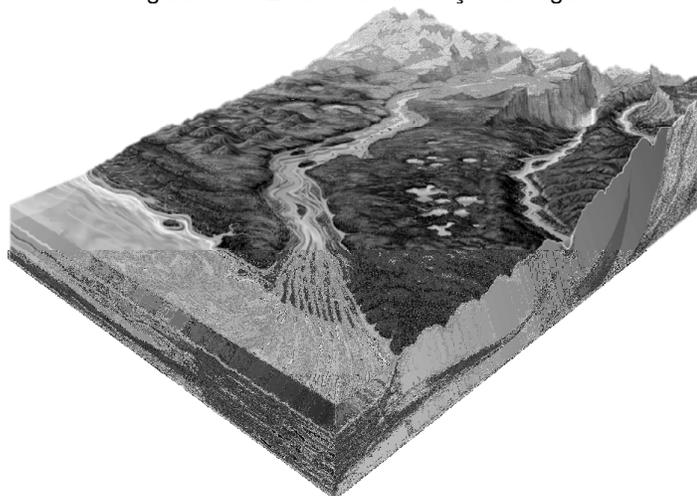
Segundo Freeze e Cherry (2017), o processo hidrológico subterrâneo pode ser considerado mais importante do que o superficial, pois as taxas de infiltração são controladas em função da natureza geológica, que, por conseguinte, influencia no tempo e na distribuição espacial do escoamento superficial.

3.3. Interação das águas superficiais e das águas subterrâneas

Os rios interagem com as águas subterrâneas em uma diversidade de ambientes em uma bacia hidrográfica, sendo sua dinâmica influenciada pela climatologia local, topografia, área de drenagem superficial, formações geológicas, solos subsuperficiais, vegetação e uso da terra (Freeze e Cherry, 2017; Sophocleous, 2002), (Figura 3.7). Nesta perspectiva, o fluxo padrão das águas subterrâneas não é efeito somente da configuração do lençol freático, ainda que haja um potencial de interação superficial/subterrânea até a uma distância de 2 quilômetros do canal do rio (Stanford 1994, Gibert *et al.*, 1997, *apud* Gardner, 1999, p. 13).

As águas subterrâneas se movimentam em rede de condutos denominada sistema de fluxo, que variam no espaço e em magnitude, assim, com base em sua posição relativa, o sistema de fluxo é dividido em três tipos: local, regional e intermediário (Tóth, 1963, *apud* Sophocleous, 2002). O sistema de fluxo local conduz a água para uma área de drenagem próxima, por exemplo rios e lagos. O sistema regional leva a água a distâncias maiores e libera o fluxo em rios de grande porte, vastos lagos ou oceanos. E o sistema intermediário é localizado nos intermédios das zonas de recarga e descarga, abrangendo áreas topográficas altas e baixas (Sophocleous, 2002).

Figura 3.7 – Esferas de interação da água



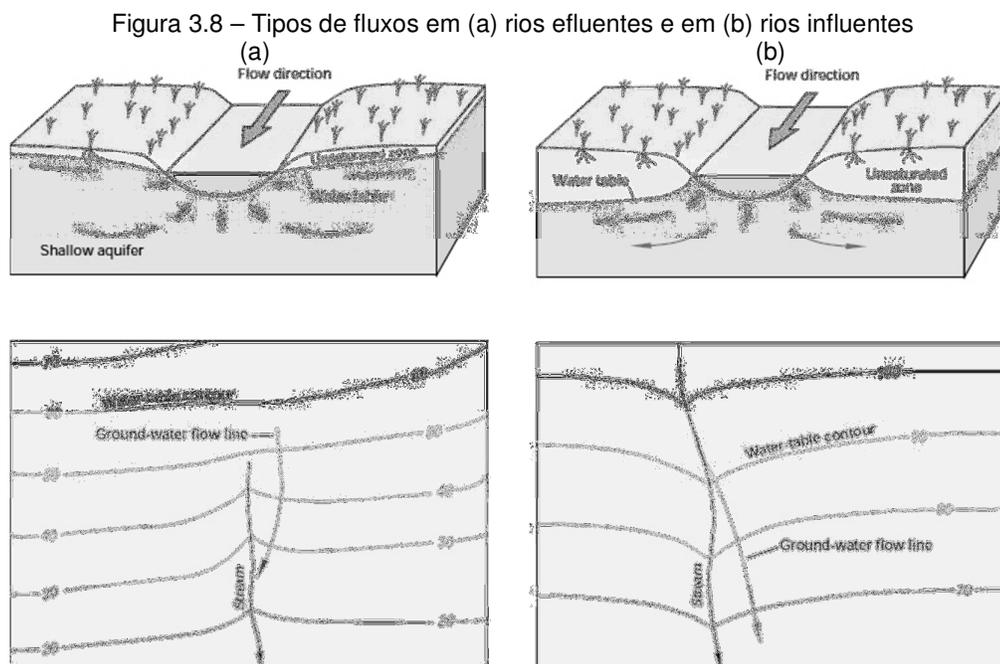
Fonte: Winter *et al.* (1998)

3.3.1. Tipos de interação rio-aquífero

Estando unidas no ciclo hidrológico, sua interface sucede por meio da infiltração, percolação e na ocorrência de nascentes (Manzione, 2015). Apesar de, usualmente, a descarga dos aquíferos sustentarem a vazão dos rios nas épocas de estiagens, em alguns casos, o oposto também pode acontecer.

Na interação entre rios e aquíferos, vale destacar uma região ecótona, que além de sua importância ecológica, é responsável pelas trocas entre as águas superficiais e as subterrâneas, a denominada zona hiporréica (Hancock *et al.*, 2002). O tamanho da zona hiporréica é definido pelas forças de interação entre as águas superficiais e subterrâneas, como também a porosidade dos sedimentos e a morfologia do canal (Dahm *et al.*, 1998, *apud* Hancock *et al.*, 2002).

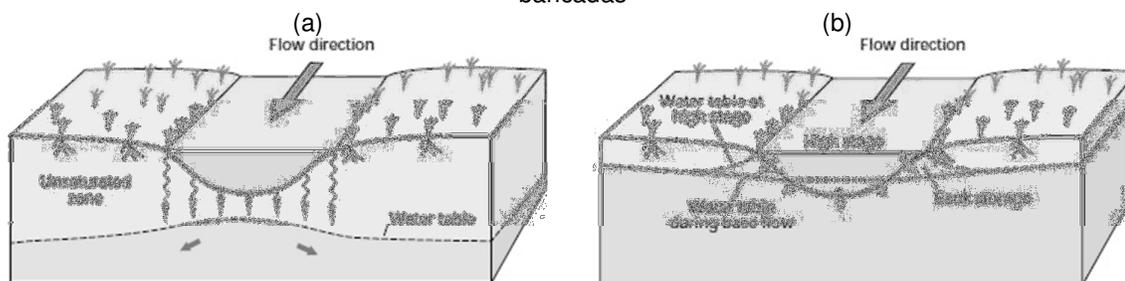
Neste âmbito, Winter *et al.* (1998) classifica os rios segundo as correntes de fluxo que resultam dessa interação. A Figura 3.8 representa duas situações distintas, sendo caracterizadas como rios efluentes (Fig. 3.8 - a) e rios influentes (Fig. 3.8 - b). Os rios efluentes correspondem àqueles que recebem uma descarga do aquífero para o canal fluvial, o direcionamento do fluxo é favorável ao rio. Por outro lado, os rios influentes são aqueles cujo o fluxo abastece o aquífero, ou seja, há perda de vazão.



Fonte: Winter *et al.* (1998)

Além desses, a Figura 3.9 retrata mais outros dois casos descritos por Winter *et al.* (1998). Na Figura 3.9 (a) tem-se uma ocorrência de rio desconectado. Tais rios são desassociados do aquífero por conta da zona não-saturada, todavia ainda ocorre infiltração do canal do rio para o lençol freático. Em áreas onde há presença de rios desconectados, a vazão de retirada de poços rasos próximos ao rio não afeta sua vazão fluvial (Winter *et al.*, 1998). Um outro caso (Fig. 3.9 - b) é quando ocorre o armazenamento em bancadas. Essa interação é susceptível a todos os rios e se dá quando há um rápido aumento do nível do rio implicando em transferência de água do rio para o aquífero. Sua ocorrência é causada por tempestades de chuva, liberação de água de reservatório á montante e rápido degelo (Winter *et al.*, 1998).

Figura 3.9 – Esquema de fluxo para os casos de rios desconectados e rios com reservação em bancadas



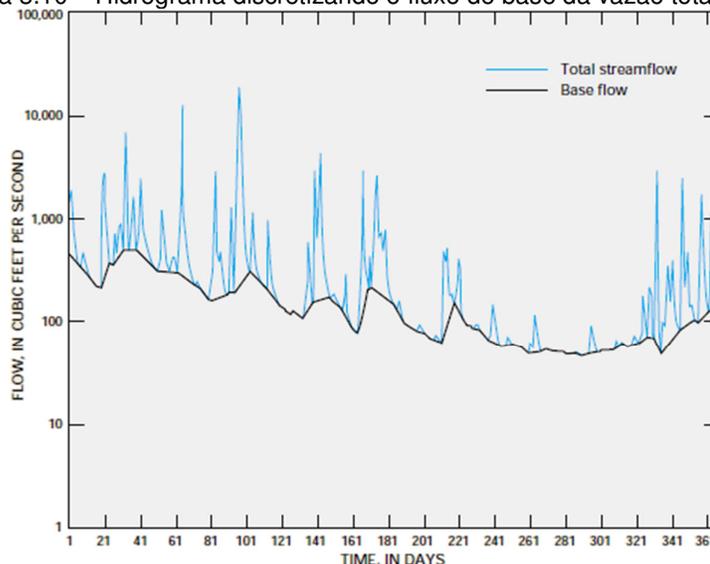
Fonte: Winter *et al.* (1998)

3.3.2. Métodos analíticos para quantificação do fluxo de base do rio

O fluxo de base constitui-se como a contribuição das águas subterrâneas na manutenção do regime fluvial (Karmann, 2000). De acordo com Winter *et al.* (1998), a maioria dos rios, considerando os diversos cenários fisiográficos e climáticos, possui suporte subterrâneo. Ainda nos casos em que há perda de água do rio para o aquífero, tal rio, durante algumas estações, poderá receber fluxo subterrâneo (Winter *et al.*, 1998). A variação da taxa de descarga subterrânea para o rio variará, então, de acordo com a geologia, a geomorfologia e o padrão de clima.

Neste contexto, é possível quantificar o fluxo de base do rio através da análise de hidrogramas. A Figura 3.10 exhibe um hidrograma anual discernindo o fluxo de base da vazão total do rio. Vale salientar que a diferença da vazão total do rio ao fluxo de base corresponde ao escoamento superficial em resposta aos eventos de precipitação (Karmann, 2000).

Figura 3.10 – Hidrograma discretizando o fluxo de base da vazão total do rio



Fonte: Winter *et al.* (1998)

Os métodos de separação do hidrograma mais conhecidos são: o método do mínimo local, o método do intervalo fixo e o método do intervalo móvel. Estes métodos integram o software estadunidense HYSEP (Sloto e Crouse, 1996), que é de domínio público, desenvolvido pelo Serviço Geológico dos EUA (U.S. Geological Survey). Além disso, esses métodos possibilitam calcular o índice do fluxo de base (BFI), que consiste da razão do volume do fluxo subterrâneo em relação ao volume total de água no rio.

O método do mínimo local realiza uma verificação diária das vazões dentro de uma escala temporal, que corresponde a $0,5(2N^* - 1)$ dias, isto é, metade de um intervalo menos 1 dia. Ele determinará a menor vazão do dia analisado considerando os valores antes e depois desse dia que estão dentro da faixa calculada. A menor de todas as vazões é então a mínima local e é conectada a outras mínimas adjacentes por interpolação linear (Sloto e Crouse, 1996).

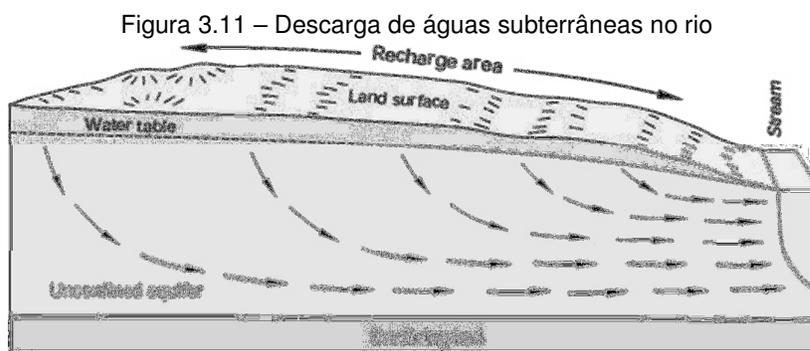
O método do intervalo fixo analisa as vazões dentro de um intervalo temporal de $2N^*$ e a menor vazão encontrada é atribuída como o fluxo de base daquele intervalo (Sloto e Crouse, 1996). Enquanto que, o método do intervalo móvel averigua as magnitudes das vazões dentro de metade de um intervalo menos 1 dia [$0,5(2N^* - 1)$ dias] e a menor vazão encontrada dentro dessa faixa, considerando os valores antes e depois, é atribuída como a vazão de base desse dia analisado (Sloto e Crouse, 1996).

3.4. Impactos antrópicos na interação das águas subterrâneas e superficiais

Visando atender suas demandas de abastecimento e modificar o meio ambiente ao seu favor, o ser humano explora, transforma e impacta. A água é o elemento essencial à vida e, segunda essa necessidade, o homem altera o meio buscando solucionar as problemáticas de vulnerabilidade e aumento de demanda populacional. Durante o período de 1970 a 1995, estima-se que foram perfurados cerca de 300 milhões de poços no mundo (UNESCO, 1992, *apud* Feitosa *et al.*, 2000). Tais obras resultaram em um abastecimento de água para mais de 50% da população do planeta e para, aproximadamente, 90 milhões de hectares de irrigação (Feitosa *et al.*, 2000). Atualmente, de acordo com o portal SIAGAS (Sistema de Águas Subterrâneas) da CPRM, há na Bahia um total de 12.679 poços (SIAGAS, 2018). Sendo estes os poços registrados.

Em vista de como sucede a interação rio-aquífero, é notável o impacto que pode ser gerado através de retiradas de poços nos canais fluviais e, por conseguinte, todo um ecossistema. Os efeitos de um poço retirando água pode ocasionar um impacto local no regime hidrológico, entretanto, vários poços captando água de um aquífero em uma vasta área podem ocasionar em consequências de escala regional (Winter *et al.*, 1998).

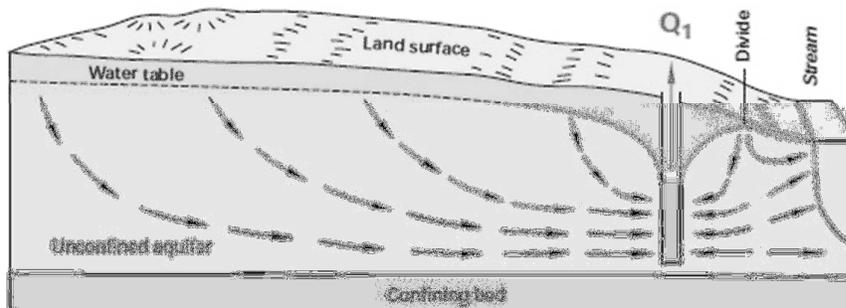
Winter *et al.* (1998) explica as alterações decorrentes no fluxo de água resultante da interação superficial/subterrânea, ao ser inserido um poço, em três estágios. O primeiro consiste no equilíbrio dinâmico, em que o poço não foi perfurado ainda e não há ocorrência de captação subterrânea. Nesse estado, a vazão do lençol freático é igual a descarga de água subterrânea para o rio (Figura 3.11).



Fonte: Winter *et al.* (1998)

Ao ser perfurado um poço, e havendo uma retirada contínua equivalente a uma vazão Q_1 , um novo estado de equilíbrio dinâmico será alcançado. Contudo, nesse cenário, a vazão de recarga subterrânea será igual ao abastecimento para o rio somado a retirada do poço. Dessa forma, parte da vazão que seria direcionada para o rio é interceptada pelo poço, e se estabelece uma linha de fluxo dividindo essas duas direções entre o poço e o rio (Figura 3.12).

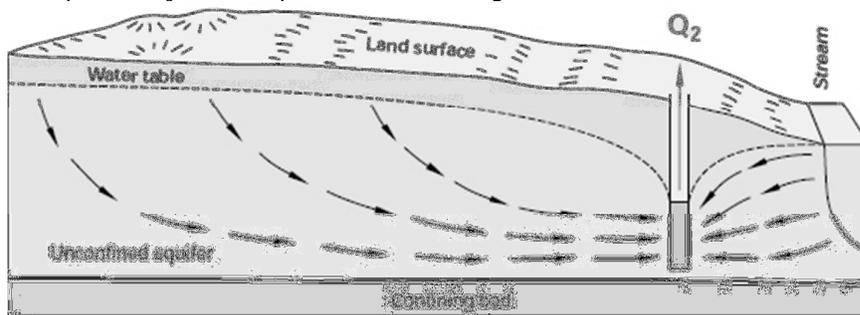
Figura 3.12 – Inserção e influência de um poço no fluxo subterrâneo a uma vazão Q_1



Fonte: Winter *et al.* (1998)

A terceira fase ilustra o caso de poço bombear água a uma taxa superior a Q_1 . Um novo equilíbrio será estabelecido após um longo período. Nesse estágio não existe a linha divisora de fluxos poço/rio, pois as retiradas no poço induzirão o movimento da água do rio para o aquífero (Figura 3.13). A condição hidrológica aqui é alterada de uma interação de descarga subterrânea para o rio a uma de recarga subterrânea saindo do rio (Winter *et al.*, 1998). Segundo Winter *et al.* (1998), tal situação, a longo prazo, ocasionará em uma redução do fluxo do rio que será equivalente a quantidade de água subterrânea bombeada pelo poço.

Figura 3.13 – Representação da resposta do fluxo de água ao aumento da vazão de retirada do poço



Fonte: Winter *et al.* (1998)

Para além dos impactos causados pela captação de água de poços, há outras atividades que possuem um impacto potencial às águas subterrâneas; algumas delas estão indicados na Tabela 3.3 segundo Hancock *et al.* (2002).

Tabela 3.3 – Atividades antrópicas e seu potencial impacto (direto ou indireto) às águas subterrâneas

Atividade	Impacto potencial
Construção de barragem	Criação de áreas sem fluxo à montante, inanição de sedimentos, barreiras no canal do rio e impedimento de migração da fauna
Canalização e represamento	Remoção de meandros do rio, que desacelera a água e permite o <i>downwelling</i> (decantação), e isolamento do rio às planícies de inundação
Regularização dos rios e extração de águas superficiais	Alteração das trocas hidrológicas naturais entre a zona hiporréica e os habitats ao redor
Extração de cascalho ou mineração nas planícies de inundação	Diminuição do lençol freático aluvial, e interrupção de fluxos parafluviais
Extração de cascalho, rochas ou minerais nos rios	Remoção direta da zona hiporréica, interrupção de fluxos de água, ressuspensão de silte, desestabilização do canal do rio
Valas e canais permeáveis de irrigação	Aumento do risco de contaminantes nas águas subterrâneas, perda de água subterrânea ou recarga de águas superficiais
Retirada de vegetação ripária para agricultura, floresta, e paisagismo urbano	Remoção de regulação ripária dos fluxos subterrâneos, aumento de radiação solar no rio ocasionando maior crescimento de algas e maiores temperaturas hiporréicas

Fonte: Hancock *et al.* (2002)

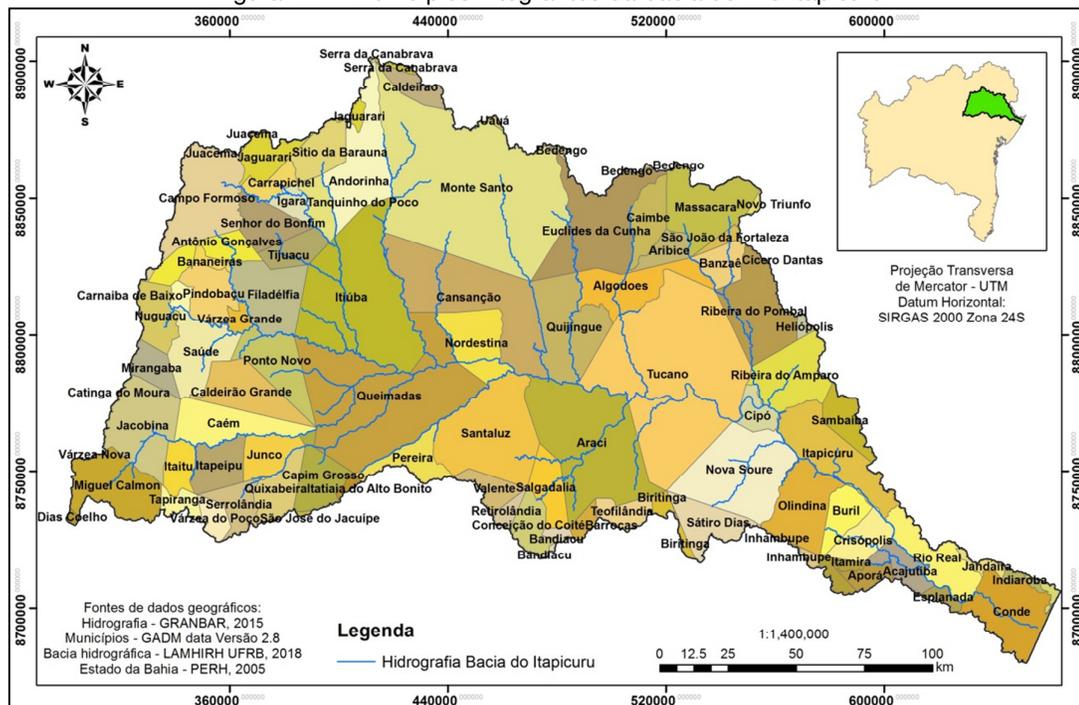
Neste sentido, a gestão integrada das águas é de valorosa importância e é uma questão de responsabilidade social e ambiental, pois as demandas pelo recurso hídrico continuam a aumentar ao longo dos anos, o que pode ocasionar cenários de maior vulnerabilidade e conflitos. Assim, em localidades de vulnerabilidade e baixos índices pluviométricos, a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, a preservação e o bom gerenciamento subterrâneo tornam-se imprescindíveis para a manutenção da qualidade e quantidade hídrica dos ecossistemas fluviais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Itapicuru está localizada inteiramente no território do estado da Bahia, tendo sua área total equivalente a 36.066 km², cerca de 6,0% do território da Bahia. O rio principal da bacia nasce a oeste, em Campo Formoso, e desagua no oceano Atlântico, no município do Conde (CPRM, 2013). Vale destacar os tributários Itapicuru-Açu, de nascente em Mirangaba, e o Itapicuru-Mirim, cuja nascente localiza-se em Miguel Calmon. Os municípios integrantes correspondem a um total de 55 (Figura 4.1). A economia da região é marcada pela agricultura de subsistência e a pecuária tradicional, além de possuir atividade mineradora (INEMA a, 2018). Segundo Mestrinho *et al.* (2004), a bacia do Rio Itapicuru já vem sofrendo impactos ambientais devido às atividades de uso da terra, crescimento desordenado, falta de infraestrutura e saneamento básico. Atrelado a isso, a bacia possui uma demanda de irrigação por água superior a 75% do total das reservas disponíveis.

Figura 4.1 – Municípios integrantes da bacia do Rio Itapicuru



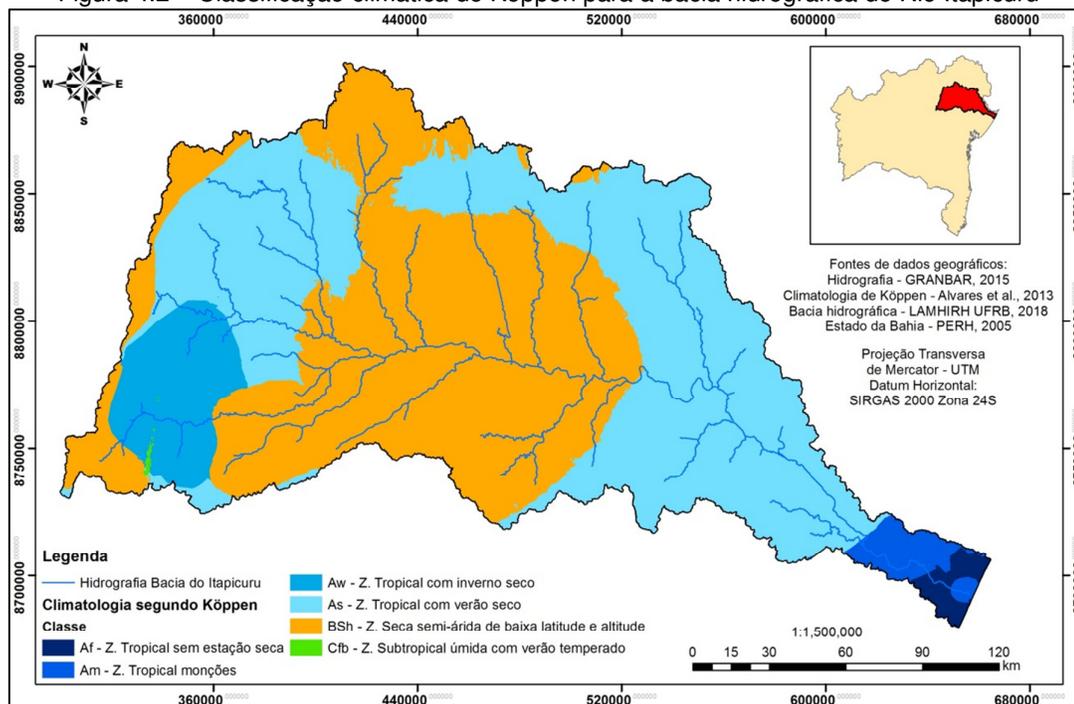
Elaboração: Próprio autor

4.1.1. Caracterização climática

De acordo com o INEMA (2018), 81% da área da bacia do Itapicuru é de clima semiárido com precipitação anual inferior a 700 mm. A Figura 4.2 exibe a classificação climatológica de Köppen (Alvares *et al.*, 2013). Verifica-se que a bacia do Rio Itapicuru abrange três zonas climáticas: a Zona Tropical, a Zona Seca e a Zona Subtropical Úmida. Dentro da bacia, as influências climáticas predominantes correspondem à zona seca semiárida de baixa latitude e altitude (BSh) e à zona tropical com verão seco (As), cobrindo uma extensão superior a 70% da bacia.

Nesta conjuntura, tem-se, para a zona BSh, uma precipitação total média anual variando entre 380 mm e 760 mm, evapotranspiração potencial anual acima dos níveis de precipitação anual e temperatura média anual acima de 18°C. No concernente às características da zona As, tem-se chuvas de inverno e temperatura do mês mais frio superior a 18°C (Alvares *et al.*, 2013).

Figura 4.2 – Classificação climática de Köppen para a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru

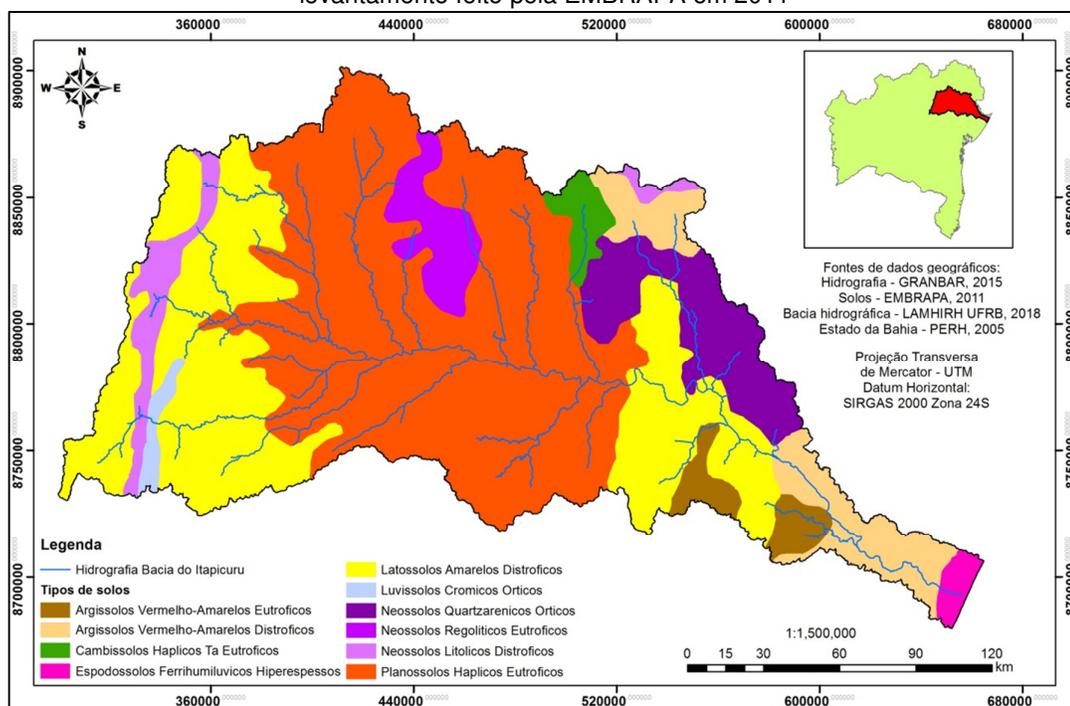


Elaboração: Próprio autor

4.1.2. Caracterização pedológica

De acordo com a EMBRAPA (2011), estão dispostos na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru 13 tipos de solos, sendo que na composição da primeira camada são contabilizados em 10 (Figura 4.3). Os solos predominantes na bacia são: Planossolos Háplicos Eutróficos, Latossolos Amarelos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos, Argissolos Vermelho-amarelos Distróficos e Argissolos Vermelho-amarelos Eutróficos.

Figura 4.3 – Tipos de solos presentes na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru de acordo com o levantamento feito pela EMBRAPA em 2011



Elaboração: Próprio autor

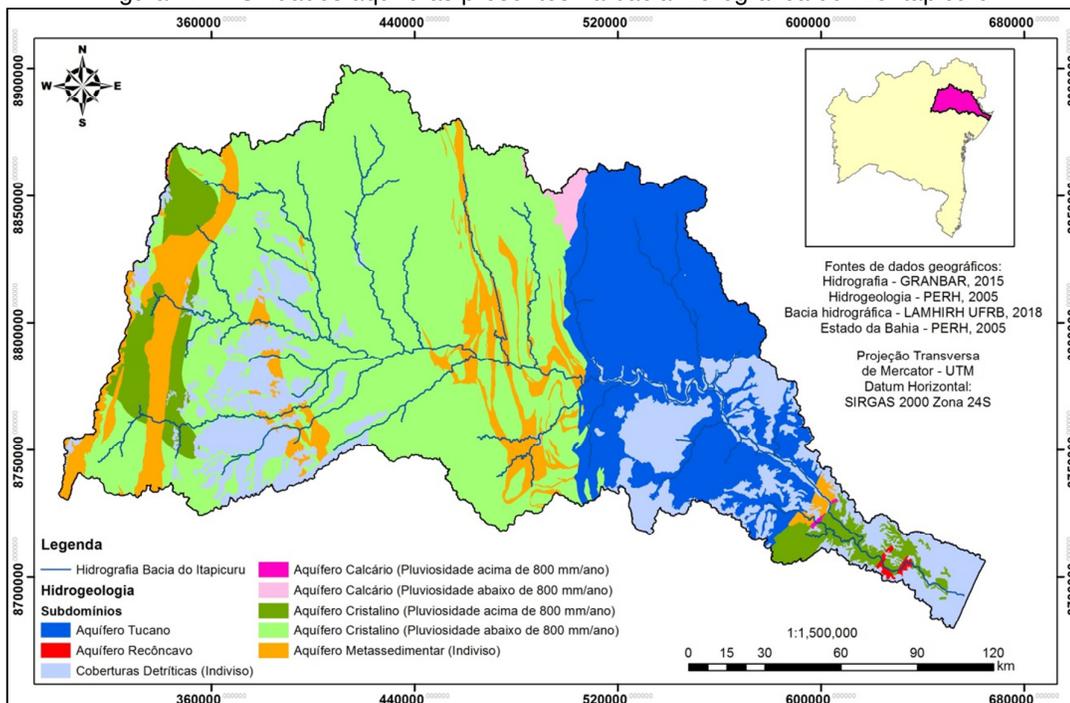
Os Planossolos Háplicos Eutróficos tratam-se de solos minerais de textura leve, horizonte adensado, com saturação elevada ($\geq 50\%$), permeabilidade lenta e drenagem interna imperfeita (Diniz et al., 2014; Monteiro Filho et al., 2007). Devido a sua drenagem imperfeita, a velocidade com que a água escoar é lenta, de modo que a permanência da água no solo é longa e o lençol freático alto. Nos casos de planossolos com drenagem classificada como ruim, a velocidade de escoamento da água é mais lenta ainda e o lençol freático está elevado, podendo estar na superfície ou próximo a ela (Monteiro Filho et al., 2007).

Os Latossolos Amarelos Distróficos consistem de solos profundos, perfis homogêneos, com saturação baixa (< 50%) e boa drenagem interna, contribuindo para a facilidade de infiltração do fluxo de água, todavia este escoamento não é veloz (Diniz et al., 2014; Monteiro Filho et al., 2007). Por outro lado, os Neossolos Quartzarênicos Órticos, caracterizados por sua textura arenosa, são excessivamente drenantes (Monteiro Filho et al., 2007). Neste caso, a água flui rapidamente e não permanece muito tempo no solo. E, nos casos dos Argissolos Vermelho-amarelos, sua textura é argilosa e sua drenagem interna varia de moderada a boa; o atributo Eutrófico expressa saturação elevada superior a 50%, e o Distrófico, inferior a 50%.

4.1.3. Caracterização hidrogeológica

Na bacia do Rio Itapicuru, destacam-se os subdomínios hidrogeológicos do aquífero Tucano e do aquífero cristalino (Figura 4.4). Nas regiões do alto e médio Itapicuru, majoritariamente, a formação aquífera é de domínio do embasamento cristalino, originária dos éons Proterozóico e Arqueano, com idade variando entre 1,6 e 3,2 bilhões de anos. Sua litologia da primeira camada compreende rochas originadas de metamorfismo regional e plutonismo, tendo predominância os gnaisses, os ortognaisses, os granitos e os anfibólitos (PERH-BA, 2005).

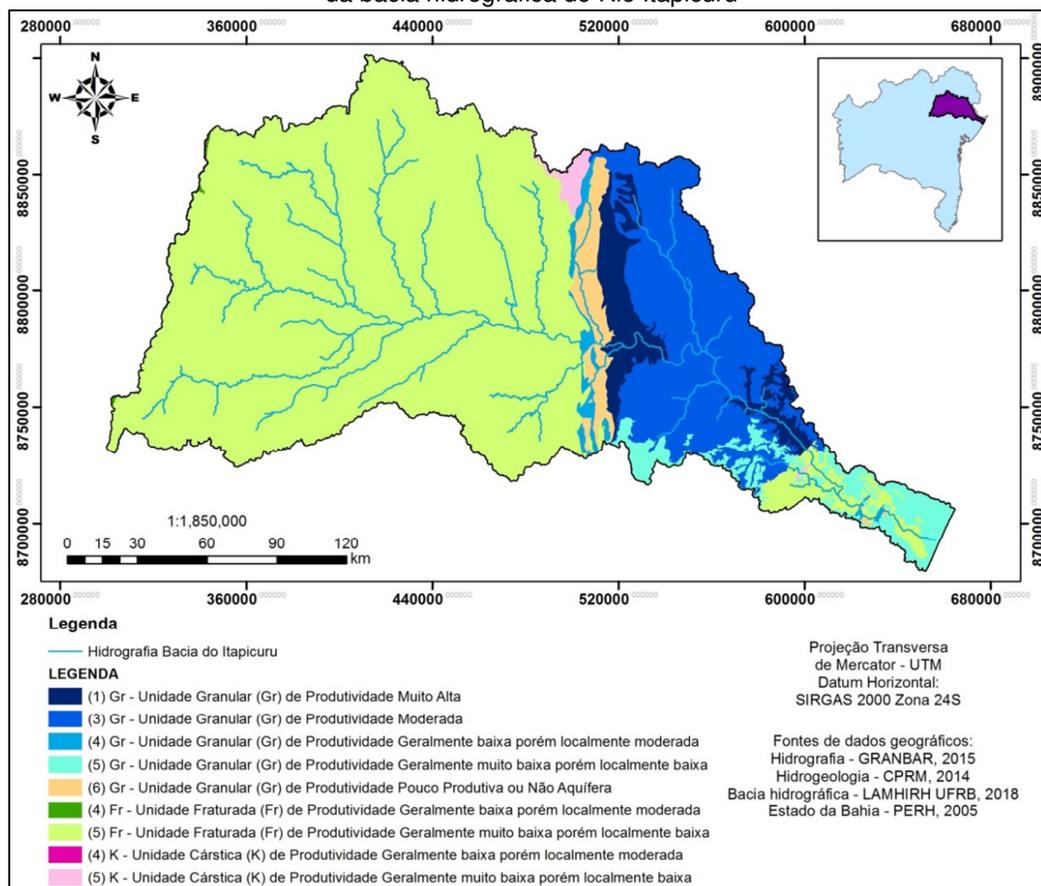
Figura 4.4 – Unidades aquíferas presentes na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru



Por outro lado, ao leste da bacia, nas regiões do sub-médio e baixo Itapicuru, há, majoritariamente, uma hidrogeologia de domínio sedimentar com o aquífero Tucano e as Coberturas Detriticas. O aquífero Tucano é originário das formações Marizal e São Sebastião, do éon Fanerozóico, datada de cerca de 150 milhões de anos, sendo a idade mais recente 97 milhões de anos. Sua litologia compreende as rochas sedimentares: arenitos, conglomerados, folhelhos e siltitos (PERH-BA, 2005). Sua conjuntura estratigráfica apresenta a formação Marizal como unidade aflorante, que recobre em parte a formação São Sebastião, unidade hidroestratigráfica subjacente (CPRM, 2014).

Referente às coberturas detriticas, sua formação ocorreu no mesmo éon do aquífero Tucano, todavia estas são constituições mais jovens, de aproximadamente 33,7 milhões de anos. Elas são de domínio das coberturas sedimentares compostas predominantemente por areia, arenito conglomerático, argila e argilito arenoso (PERH-BA, 2005). No tangente à produtividade hídrica das unidades estratigráficas da bacia do Itapicuru, a Figura 4.5 apresenta a classificação dessas unidades, resultado do estudo desenvolvido pela CPRM (2014).

Figura 4.5 – Mapa de caracterização da produtividade potencial hídrica das unidades estratigráficas da bacia hidrográfica do Rio Itapicuru



Elaboração: Próprio autor

Observa-se que as zonas de maior produtividade hídrica subterrânea são as do sub-médio e baixo Itapicuru. Isso é devido a geologia granular das bacias sedimentares localizadas nessa região. Por sua vez, a região à montante, o alto e o médio Itapicuru, é identificada, predominantemente, como unidade fraturada de produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa. É importante destacar também a área de transição do domínio cristalino para o sedimentar marcada por uma faixa de unidade granular pouco produtiva ou não aquífera, que pode influenciar na contribuição hídrica do fluxo subterrâneo à jusante dessa área.

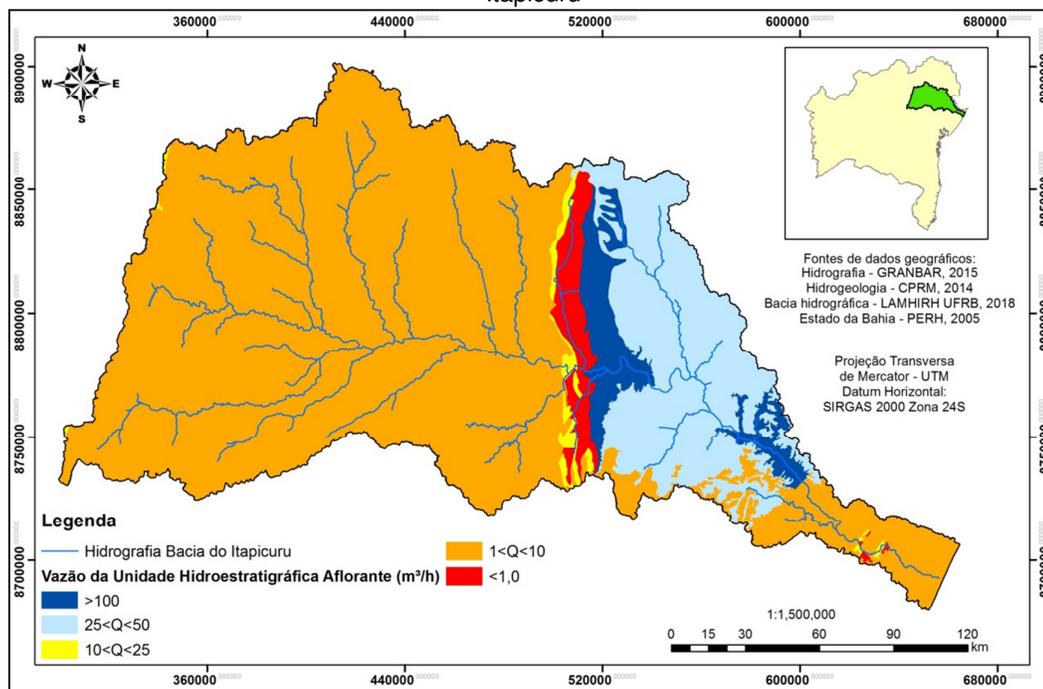
4.1.4. Disponibilidade hídrica do aquífero Tucano

As formações aquíferas abarcadas pelo aquífero Tucano constituem-se como as de maior produtividade na bacia hidrográfica do rio Itapicuru. As Figuras 4.6 e 4.7 consistem, respectivamente, da espacialização referente à produtividade das

vazões das unidades estratigráficas aflorantes e subjacentes de acordo com o monitoramento e classificação da CPRM (Diniz et al., 2014).

Da Figura 4.6, as zonas em azul, localizadas, predominantemente, no submédio Itapicuru, apresentam as maiores vazões aflorantes ($Q > 25 \text{ m}^3/\text{h}$). Essa região corresponde à Formação Marizal (área em azul claro) e à Formação São Sebastião (área em azul escuro). No que concerne à formação Marizal, sua extensão apresenta uma vazão aflorante classificada como de produtividade moderada ($25 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$), com transmissividade aflorante variando de $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ a $10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$, e condutividade hidráulica aflorante variando de 10^{-6} m/s a 10^{-5} m/s (Diniz et al., 2014).

Figura 4.6 – Mapa das vazões das unidades hidroestratigráficas aflorantes existentes na bacia do rio Itapicuru

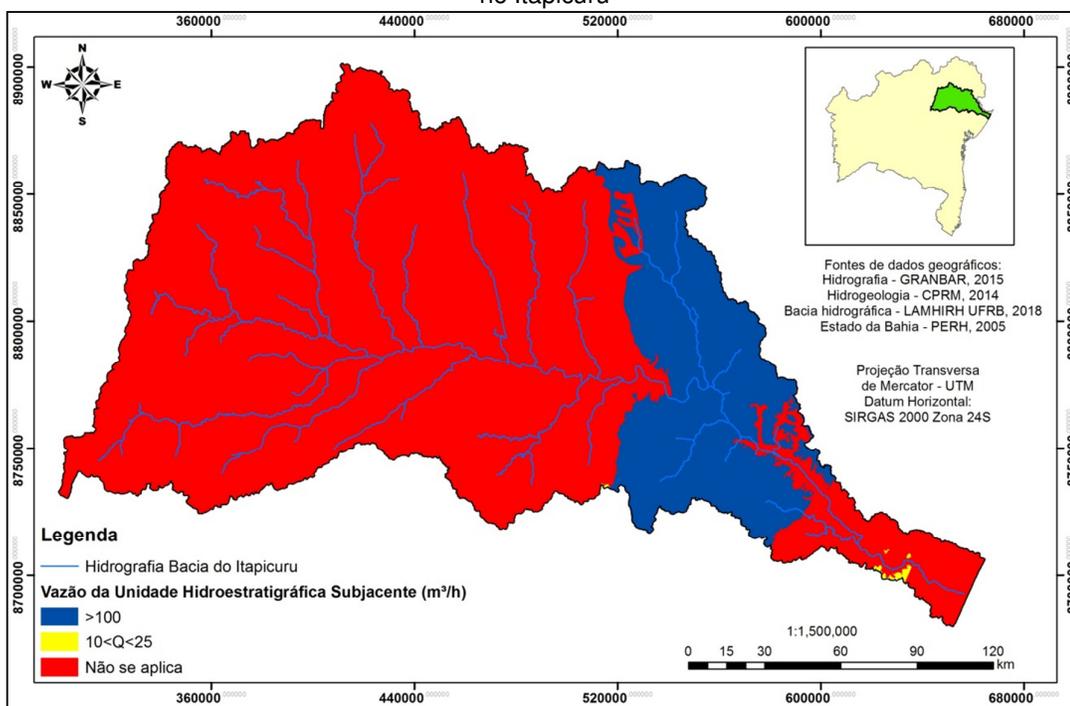


A Formação Marizal, cuja área total é de 18.797 km² (ANA, 2005), possui abrangência equivalente a 5.978,69 km² na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, compreendendo do submédio ao baixo. De acordo com Costa (1994, apud ANA, 2005), a espessura média dessa formação é de 200 m. Esta unidade aquífera apresenta boa produtividade nas conformações livre e confinada, sua reserva explotável é estimada em 7,2 m³/s, sendo sua reserva renovável de 36,0 m³/s (ANA, 2005). Na condição livre, a formação Marizal apresenta vazão média de 21,3 m³/h e capacidade específica de 2,127 m³/h/m; por sua vez, em condição confinada, sua

vazão média é de 15,1 m³/h e sua capacidade específica é equivalente a 2,004 m³/h/m (ANA, 2005).

A formação subjacente à formação Marizal é a São Sebastião (Figura 4.7), sendo a zona de maior produtividade hídrica subterrânea na bacia do rio Itapicuru, tendo sua vazão estimada a magnitudes superiores a 100 m³/h, classificada como de produtividade muito alta (Diniz et al., 2014). A transmissividade aflorante dessa formação está acima de 10⁻² m²/s e sua condutividade hidráulica superior a 10⁻⁴ m/s (Diniz et al., 2014).

Figura 4.7 – Mapa das vazões das unidades hidroestratigráficas subjacentes existentes na bacia do rio Itapicuru



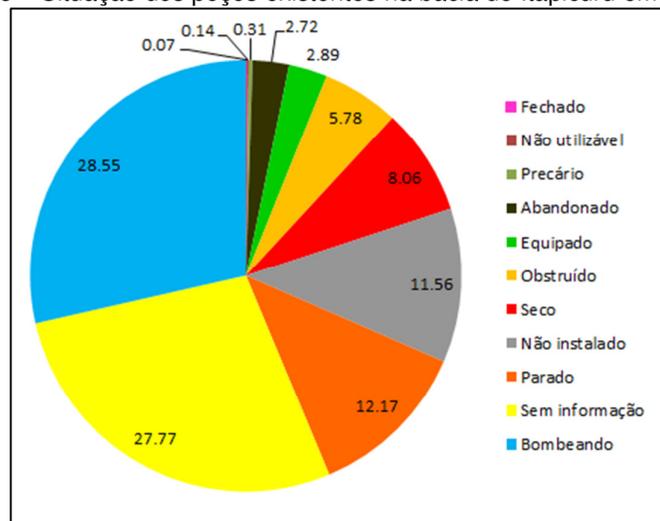
Elaboração: Próprio autor

De acordo com ANA (2005), a formação São Sebastião possui uma área de recarga de 6.783 km². Na bacia do Itapicuru, sua extensão é calculada em 1.001,95 km². Sua espessura é de 3.000 m (Costa, 1994, apud ANA, 2005), sendo classificado como de elevada produtividade nas condições livre e confinada. A reserva explotável estimada para essa formação é de 8,2 m³/s, que corresponde a 20% das reservas renováveis (ANA, 2005). Na condição livre, sua vazão média é de 23,7 m³/h e sua capacidade específica média é de 2,881 m³/h/m (ANA, 2005). Em sua condição confinada, tal formação apresenta vazão média equivalente a 40,4 m³/h e capacidade específica média igual a 2,367 m³/h/m (ANA, 2005).

4.1.5. Panorama dos poços

O Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM (2018) dispõe em sua base de dados registros de 3001 poços, em diferentes condições, situados na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru. A Figura 4.8 exibe o percentual referente a conjuntura atual dos poços. Nota-se que 28,55% consistem de poços que estão bombeando água do aquífero. Isso equivale a, aproximadamente, 857 poços em situação de bombeamento. Somado a este fato, segundo Mestrinho *et al.* (2002), a bacia possui um registro de mais de 1300 captações subterrâneas registradas na Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB). Prosseguindo para o segundo maior percentual, tem-se que 27,77% representa poços sem informação no que tange a sua situação/funcionamento. Ademais, 12,17% do total de poços estão parados, sem bombear, e cerca de 242 poços (8,06%) estão secos.

Figura 4.8 – Situação dos poços existentes na bacia do Itapicuru em percentual

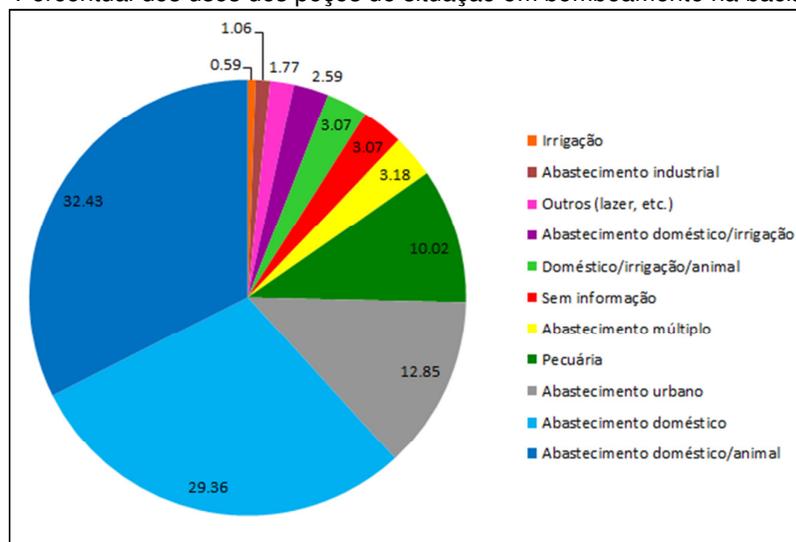


Fonte: Dados adquiridos no SIAGAS (2018)

Atendo-se aos poços que se encontram em situação de bombeamento na bacia do Rio Itapicuru, segundo dados do SIAGAS (2018), o número de poços destinados ao abastecimento doméstico e animal equivale a 32,43%, resultando como o uso majoritário. O abastecimento doméstico é o uso mais frequente no tocante aos poços em bombeamento desta bacia, o que totaliza um percentual de 70,63% desses poços destinados a esse uso – este percentual engloba as porcentagens de todos os casos em que o abastecimento doméstico está presente

(Figura 4.9). Segundo os registros do SIAGAS (2018), os usos menos frequentes para esses poços são: irrigação, abastecimento industrial e outros.

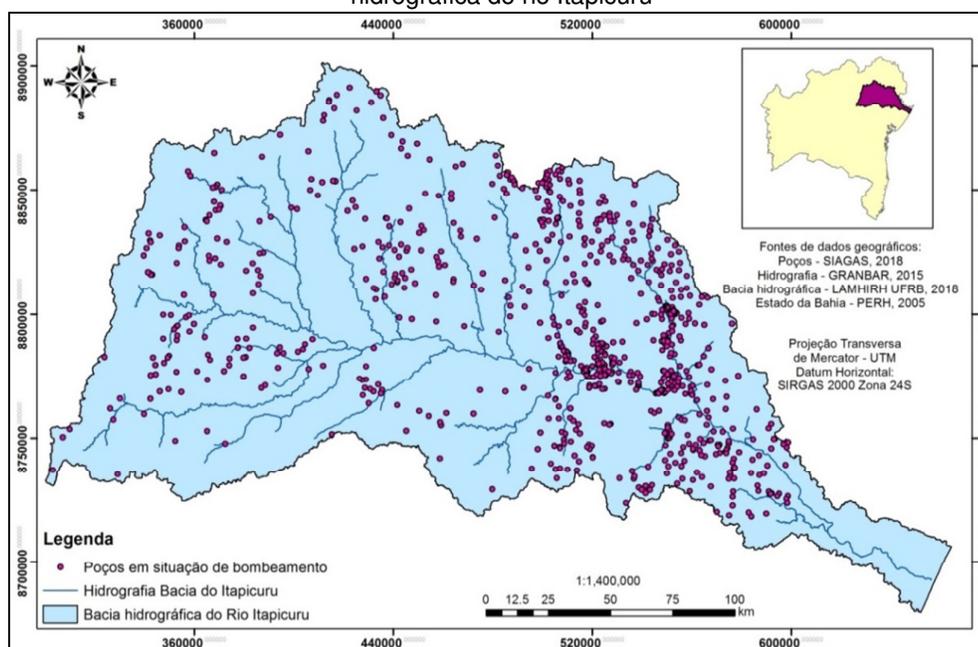
Figura 4.9 – Percentual dos usos dos poços de situação em bombeamento na bacia do Itapicuru



Fonte: Dados adquiridos no SIAGAS (2018)

A Figura 4.10 apresenta a disposição dos 3001 poços cadastrados no SIAGAS para a bacia do Rio Itapicuru. Nota-se uma maior concentração de poços na região sub-média da bacia em relação às demais. Isso se deve, possivelmente, à maior produtividade hídrica subterrânea dessa área, cuja hidrogeologia sedimentar permite um grande potencial de recarga e armazenamento nessa região.

Figura 4.10 – Localização dos poços registrados no SIAGAS em situação de bombeamento na bacia hidrográfica do rio Itapicuru



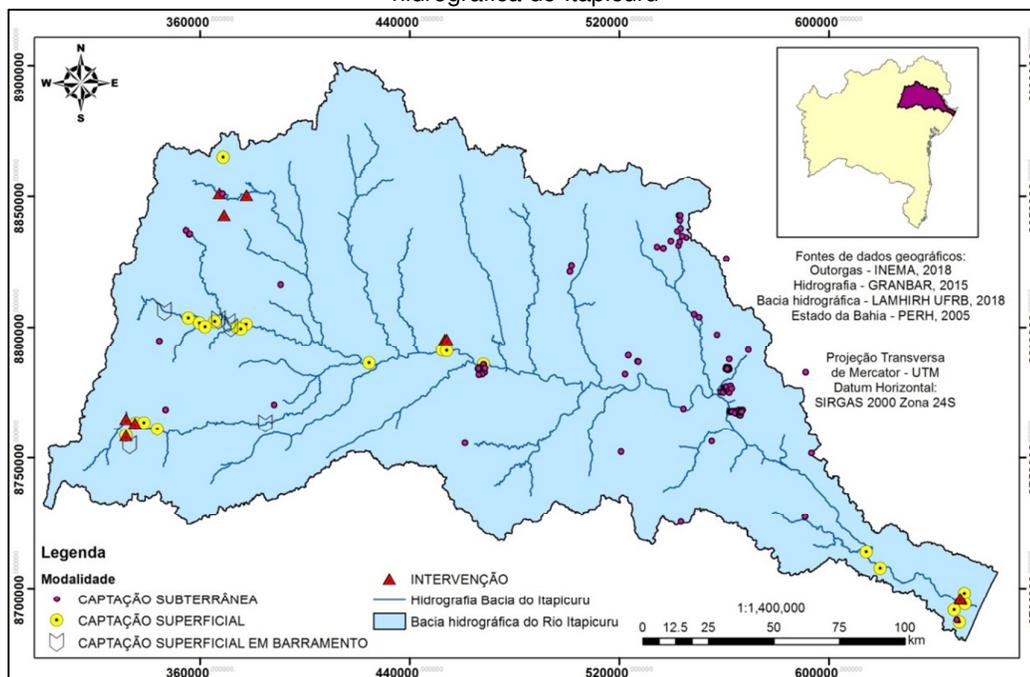
Elaboração: Próprio autor

4.1.6. Demandas e outorgas na bacia do rio Itapicuru

A respeito das outorgas de usos consuntivos de recursos hídricos da bacia do Rio Itapicuru (Figura 4.11), de acordo com os dados obtidos no INEMA 'b' (2018), elas totalizam: 128 outorgas de captação subterrânea, 23 outorgas de captação a fio d'água, 12 outorgas referentes à captação superficial em barramento, e 10 outorgas com a finalidade de intervenção. A soma das vazões outorgadas para captação subterrânea corresponde a 220.929,94 m³/dia; enquanto que, o total das vazões outorgadas para captação superficial equivale a 324.468,80 m³/dia, sem contar com as vazões de intervenção.

Segundo o INEMA (2018), no que se refere às outorgas de captação a fio d'água, uma vazão de 14.306,00 m³/dia é direcionada para o abastecimento humano, 118.225,50 m³/dia é liberada para a irrigação, e 11.590,00 m³/dia para o abastecimento industrial. Acerca das captações em barramento, 172.833,80 m³/dia é encaminhado para o abastecimento humano; 1.138,50 m³/dia é outorgado para a irrigação; 2.125,00 m³/dia para o abastecimento industrial; e, 4250,00 m³/dia para o abastecimento industrial e humano. As outorgas de captação subterrânea e de intervenção não tiveram suas finalidades especificadas.

Figura 4.11 – Localização dos pontos de outorgas de usos de acordo com o INEMA para a bacia hidrográfica do Itapicuru

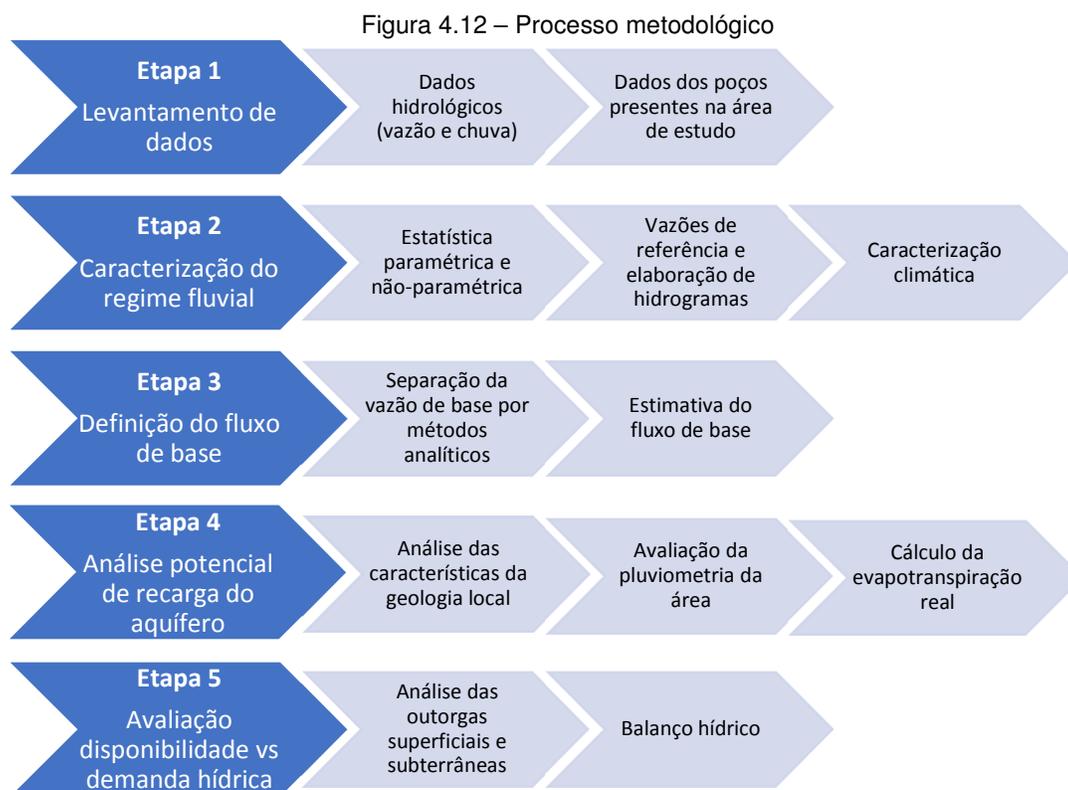


Elaboração: Próprio autor

Ao contrapor as informações dos poços cadastrados no SIAGAS (2018) com os dados de outorgas disponibilizados pelo INEMA (2018), verifica-se uma discrepância entre às demandas de retiradas (Figura 4.10) e às demandas outorgadas (Figura 4.11). A primeira informação sugere elevada pressão nos recursos hídricos devido às numerosas demandas, enquanto que a segunda não demonstra sinais de pressão ou de provável conflito por utilização dos recursos hídricos. Isso pode indicar que há uma grande quantidade de poços operando sem outorga ou com outorga vencida.

4.2. METODOLOGIA

O processo metodológico (Figura 4.12) estruturou-se em cinco etapas que permitiram entendimento da área de estudo nas vertentes climáticas, hidrológicas e hidrogeológicas, como também da gestão dos recursos hídricos.



Fonte: Próprio autor

Inicialmente, foi feito o levantamento de todos os dados que possibilitaram o andamento do estudo. O processo seguiu realizando o padrão de chuvas, que foi

caracterizado de acordo com cada zona climática presente na bacia do rio Itapicuru. O comportamento pluviométrico foi relacionado com o comportamento do regime hidrológico fluvial, de modo a entender e relacionar as mudanças que ocorreram ao longo do tempo e do espaço. Utilizou-se um software para realizar a separação da vazão de base (contribuição subterrânea) em relação a vazão disponível no rio. E, finalmente, após ter-se estimado a recarga potencial do aquífero pelo método do balanço de recarga e dispondo de informações da hidrogeologia local, foi realizado o balanço hídrico considerando a vazão superficial, a vazão de base, a reserva do aquífero e as demandas de usos consuntivos.

4.2.1. Levantamento e tratamento de dados

A priori, todas as informações necessárias para o estudo foram identificadas. Em seguida, o levantamento de dados foi desenvolvido. A Tabela 4.1 exibe o tipo do dado, as informações efetivamente utilizadas e suas respectivas fontes.

Tabela 4.1 – Base de dados utilizada para o estudo da interação rio-aquífero

Dado	Informação	Fonte
Fluviometria	Estações fluviométricas (Vazão, Cota e Resumo de descarga): 5046500 (Queimadas), 50520000 (Ponte Euclides da Cunha), 50540000 (Cipó) e 50595000 (Usina Altamira).	Hidroweb Séries Históricas - Agência Nacional de Águas: < http://www.snirh.gov.br/hidroweb >. (2018)
Pluviometria	Estações pluviométricas: 01038010, 01038016, 01039003, 01039005, 01039006, 01039008, 01039017, 01039019, 01039025, 01040010, 01040014, 01040025, 01040026, 01040027, 01137029, 01137039, 01137042, 01138001, 01138006, 01138014, 01138026, 01138027, 01139000, 01140000, 01140020, 01140022, 01140023, 01140032, 01140033.	Hidroweb Séries Históricas - Agência Nacional de Águas: < http://www.snirh.gov.br/hidroweb >. (2018)
Climatologia	Mapa da classificação climática de Köppen para o Brasil.	Alvares et al. (2013)
Pedologia	Mapa de Solos do Brasil na escala 1:5.000.000 segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, 2006).	Embrapa Solos - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2011).
Hidrogeologia	Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo; Domínios Hidrogeológicos.	CPRM - Serviço Geológico do Brasil (2014); Plano Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (2005).
Poços	Poços existentes na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.	SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas: < http://siagasweb.cprm.gov.br >.
Outorgas	Outorgas superficiais e subterrâneas da bacia hidrográfica do Rio Itapicuru.	INEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2018):

		Nota técnica 37/2018 referente aos usuários de recursos hídricos na bacia do rio Itapicuru Núcleo de Outorga da Diretoria de Regulação do INEMA (NOUT/DIRRE).
--	--	--

Ainda nessa etapa inicial, visando a caracterização da área de estudo e o conhecimento da disposição dos elementos de monitoramento na bacia, todos os dados foram geoprocessados. As localizações e as informações referentes às estações fluviométricas, às estações pluviométricas, aos poços cadastrados no SIAGAS e às outorgas dos usuários de recursos hídricos foram espacializadas. Para isso, toda a estrutura de dados geográficos foi padronizada para o sistema de coordenadas de referência oficial do Brasil: o UTM SIRGAS 2000.

De posse dos dados, foi feita a análise de consistência dos dados, análise do comportamento de normalidade das séries de vazão e verificação da disponibilidade dos registros através de diagrama de dados no software Hidro versão 1.3. A disponibilidade dos dados das séries históricas de vazão direcionou a determinação do período utilizado neste trabalho.

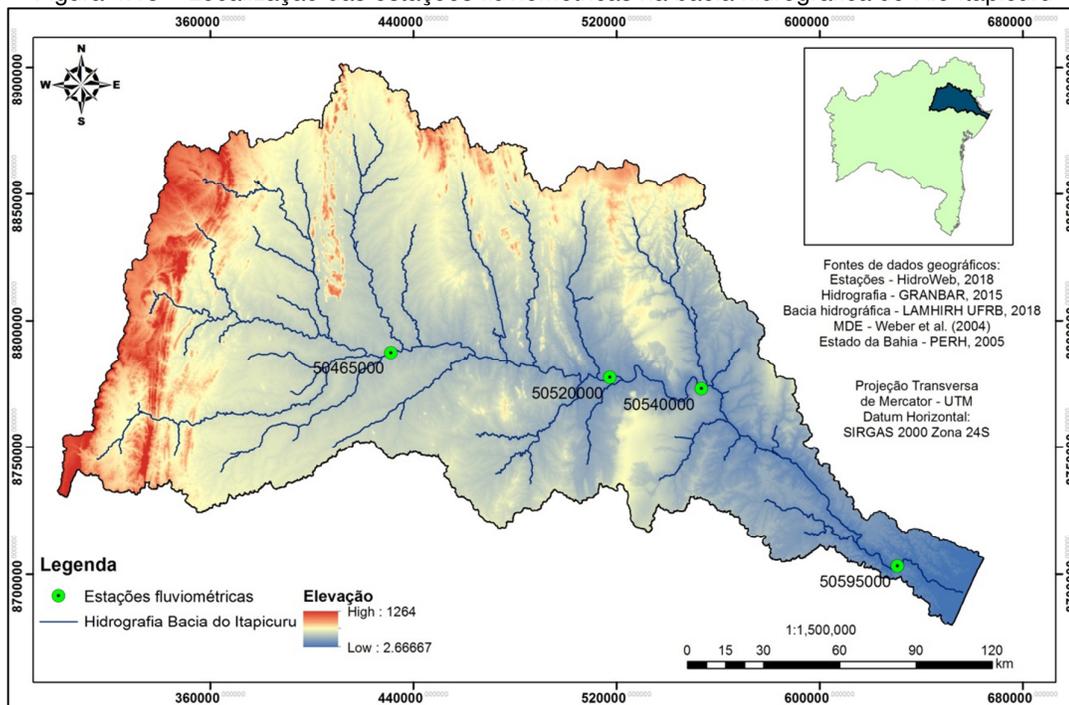
4.2.2. Caracterização do regime fluvial

Objetivando entender o comportamento do regime fluvial, alicerçado à premissa do aumento das demandas de usos dos recursos hídricos, modificações antrópicas na bacia e a dinâmica variante do clima, estabeleceu-se a caracterização do regime fluvial em um período antigo e em um período mais contemporâneo. Assim, foi selecionado o período de 48 anos de registros, utilizando o critério de divisão da serie histórica em dois períodos de mesmo número de anos e dessa forma adotando-se: o período de 1966 a 1989 para o mais antigo, e de 1994 a 2017 para o mais recente. Esses períodos foram os mesmos utilizados para avaliação do padrão de chuvas na área de estudo. Na utilização dos registros das séries históricas, foram priorizados os dados consistidos, na inexistência desses foram utilizados os dados brutos.

Para a caracterização do regime fluvial, foram utilizadas quatro estações localizadas no rio principal da bacia do rio Itapicuru (Figura 4.13). A estação

fluviométrica localizada no município de Queimadas (5046500), seção após a confluência dos rios Itapicuru-Mirim e Itapicuru-Açu; a estação 50520000 (Ponte Euclides da Cunha) situada no povoado de Jorinho em Tucano; a estação 50540000 de Cipó; e, a estação Usina Altamira (50595000) no município do Conde, localizada próximo a foz.

Figura 4.13 – Localização das estações fluviométricas na bacia hidrográfica do Rio Itapicuru



Elaboração: Próprio autor

Para cada uma das séries históricas disponíveis nessas estações fluviométricas, de modo a verificar o potencial hídrico e avaliar as características do regime de fluxo do corpo hídrico superficial nos aspectos espacial e temporal, aplicou-se estatística paramétrica com o auxílio do software *The Indicators of Hydrological Alteration* (Richter et al., 1998). Os aspectos analisados foram a magnitude e a sazonalidade, possibilitando estabelecer o comportamento hidrológico do rio Itapicuru e a identificação de características comuns de rios do semiárido. As análises não-paramétricas corresponderam aos percentis relativos às vazões de referência Q90, Q50 e Q5, para caracterização das vazões com magnitudes baixas, médias e altas ao longo do rio Itapicuru. Além disso, foram calculados as médias e os desvios das vazões dos meses de maior estiagem, visando entender a variação e a magnitude potencial da vazão de base de cada trecho.

Além disso, foi feita classificação anual referente à condição hidrológica no trecho monitorado do rio. Tal classificação considerou a média dos 24 (vinte e quatro) anos de cada período e definiu como “seco”, os anos de potencial hídrico abaixo da média, e como “úmido”, os anos cuja a média anual foi superior a dos 24 (vinte e quatro) anos. Então, classificação similar foi aplicada considerando as médias anuais de triênios (3 anos consecutivos), visando uma melhor identificação das mudanças das variáveis de fluxo magnitude e sazonalidade.

Definiu-se como: condição seca, aquele período de 3 (três) anos cuja a média das vazões estava abaixo da média dos 24 anos; condição úmida, o período de 3 (três) anos cuja a média das vazões estava acima da média dos 24 anos; e, condição regular, aqueles cuja a média das vazões apresentou dimensão aproximada com a média dos 24 anos. Para a avaliação, as condições seca e úmida selecionadas foram as mais extremas. A Tabela 4.2 traz a classificação dos triênios.

Tabela 4.2 – Classificação dos triênios de acordo com a condição de disponibilidade hídrica dos trechos monitorados no rio Itapicuru para os 48 anos da série histórica

Condição	Período antigo	Período Recente
Série de 24 anos	1966 a 1989	1994 a 2017
Triênio úmido	1969 a 1971	2003 a 2005
Triênio regular	1972 a 1974	1997 a 1999
Triênio seco	1975 a 1977	2012 a 2014

Tendo em vista, a relevância da precipitação na resposta hídrica fluvial dos rios de semiárido, como também para a recarga de aquíferos, o padrão de chuvas foi caracterizado. Neste sentido, aplicou-se o Método de Thiessen em relação a bacia hidrográfica para averiguar a área de influência dos postos pluviométricos. Vale ressaltar que as estações pluviométricas utilizadas no período antigo foram diferentes daquelas utilizadas no período mais recente devido à disponibilidade de dados (Tabela 4.3).

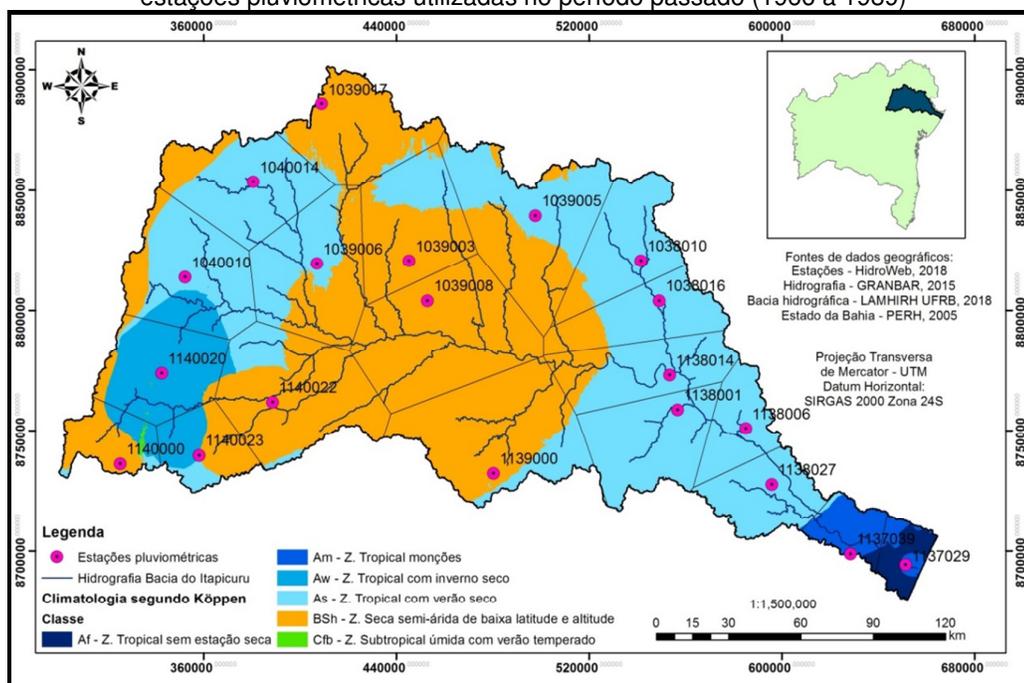
Tabela 4.3 – Estações pluviométricas utilizadas de acordo com a zona climatológica para cada período

Zona climática	Período antigo (1966 a 1989)	Período Recente (1994 a 2017)
Z. Tropical com inverno seco (Aw) e com verão seco (As) (Alto Itapicuru)	01039006, 01040010, 01040014, 01140000, 01140020, 01140023.	01040025, 01040026, 01040027, 01140000, 01140032.
Z. Seca semiárida de baixa altitude e latitude (BSh)	01039003, 01039008, 01039017, 01139000, 01140022.	01039019, 01039025, 01140033.

Z. Tropical com verão seco (As) (Submédio Itapicuru)	01038010, 01038016, 01039005, 01138001, 01138006, 01138014.	01138014, 01138026.
Z. Tropical sem estação seca (Af) e monções (Am)	01137029, 01137039, 01138027.	01137042.

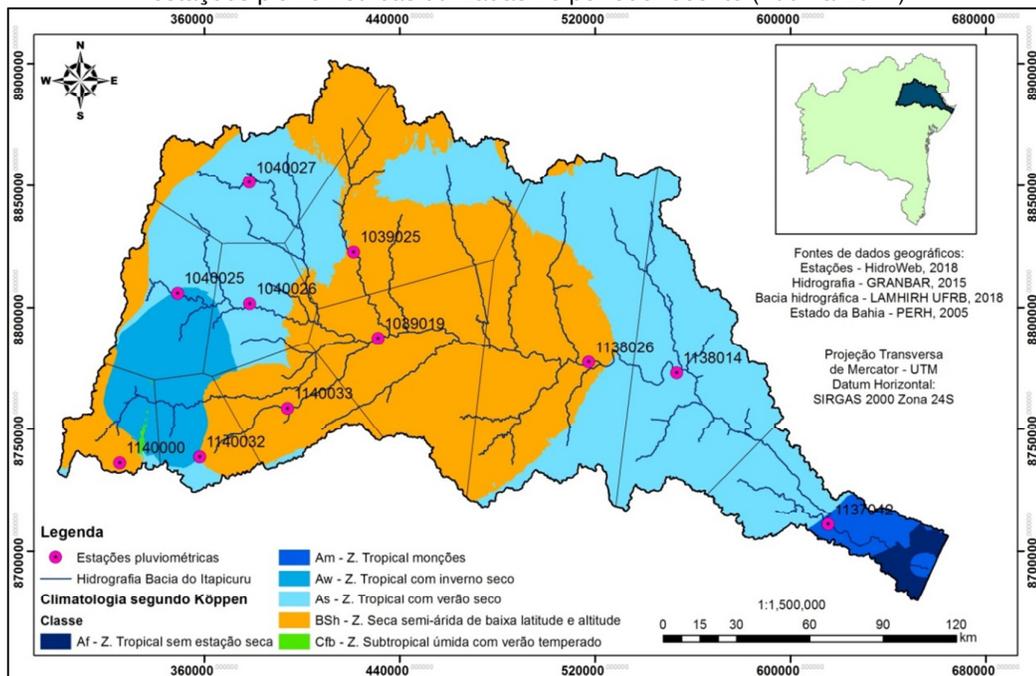
O padrão pluviométrico foi definido de acordo com a zona climática da classificação de Köppen para a bacia do Rio Itapicuru e a posição do posto pluviométrico (Figuras 4.14 e 4.15). Com os dados das estações pluviométricas foi aplicada a média ponderada e foram produzidos hietogramas em relação aos períodos das condições categorizadas (seca, úmida e regular). Vale ressaltar que os resultados serão apresentados considerando o ano hidrológico com início em outubro.

Figura 4.14 – Polígonos de Thiessen em relação a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru para as estações pluviométricas utilizadas no período passado (1966 a 1989)



Elaboração: Próprio autor

Figura 4.15 – Polígonos de Thiessen em relação a bacia hidrográfica do Rio Itapicuru para as estações pluviométricas utilizadas no período recente (1994 a 2017)



Elaboração: Próprio autor

4.2.3. Definição do fluxo de base

Visando a separação de fluxo, utilizou-se o módulo BFI + Versão 3.0 do software HydroOffice 2010 (Gregor, 2010). O BFI + Versão 3.0 engloba onze métodos diferentes de separação de fluxo, incluindo os três métodos de separação do hidrograma do software HYSEP (Sloto e Crouse, 1996). Assim, através do BFI +, foram aplicados, para os dois intervalos temporais de 24 anos, três métodos digitais gráficos: o mínimo local, o do intervalo fixo e o do intervalo móvel (Gregor, 2010, 2012 *apud* Idarto et al., 2016). Os resultados encontrados foram comparados e avaliados com estatística paramétrica e foi definido o método do mínimo local para os estudos de recarga do aquífero, por seu bom desempenho em estudos prévios (Risser et al., 2009). Tal ferramenta calcula também o índice de fluxo de base (BFI).

A separação de fluxo foi procedida para as duas séries históricas de 24 anos (passado e recente) nos trechos das estações fluviométricas tratadas nesse estudo. Para a análise do fluxo de base calculado, considerou-se a condição seca para o cenário mais antigo (1975 a 1977) em contraste com o recente (2012 a 2014), pois a vazão presente no rio nesses anos de maior estiagem é proveniente

majoritariamente pela contribuição do aquífero livre, o que permitirá uma verificação da magnitude dessa contribuição subterrânea nos trechos.

Hidrogramas das vazões diárias para os triênios classificados como seco foram confeccionados ilustrando a separação do fluxo superficial do subterrâneo, de modo a possibilitar uma melhor compreensão da magnitude, do comportamento e da contribuição do fluxo subterrâneo na vazão do corpo hídrico. Por fim, a média e o desvio do índice do fluxo de base (BFI) foram calculados considerando os dois períodos de 24 anos (antigo e recente).

4.2.4. Análise potencial de recarga do aquífero

O potencial de recarga do aquífero foi caracterizado através de dados secundários acerca das formações hidrogeológicas da área de estudo, considerando os parâmetros: área de recarga, espessura, reserva explotável, vazão, transmissividade, condutividade hidráulica e capacidade específica. Tal análise levará em conta as formações aflorantes e subjacentes da área compreendida pela bacia hidrográfica. Além disso, uma vez que as águas meteóricas constituem-se como recarga direta de aquíferos, serão realizados dois métodos de balanço de recarga aquífera: o método do balanço hidrogeológico (Equação 1), (Gaspar, 2006), e o, aqui denominado, método de recarga BFI (Equação 2), (Bortolin et al., 2016).

$$R = (P \cdot A) - (ET \cdot A) - E \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: R = recarga direta

P = precipitação

ET = evapotranspiração real

A = área

E = vazão total do rio

$$R = BFI \times (P - ET) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: R = recarga direta

BFI = índice do fluxo de base

P = precipitação

ET = evapotranspiração real

Os balanços serão aplicados para os triênios classificados como seco e úmido, visando avaliar o percentual da contribuição das águas meteóricas nas diferentes condições climáticas. Ademais, como a avaliação proposta é para a região do submédio e baixo, definiu-se que a aplicação dos métodos de balanço de recarga seria realizada apenas para a região do trecho da estação 50520000, devido às similaridades acerca da climatologia, geologia e hidrologia compartilhadas com o trecho da 50540000.

Para o método do balanço hidrogeológico (Equação 1), foram calculadas as precipitações mensais utilizando o método de Thiessen; a evapotranspiração real foi calculada por Hargreaves usando as normais climatológicas de temperatura máxima, mínima e média compensada, aplicando um coeficiente de correlação de 70%; e, para os dados de vazão, foram calculadas as vazões médias observadas na série histórica da estação 50520000 para os triênios. Para o método de recarga BFI (Equação 2), o processo para obter os valores da precipitação e da evapotranspiração real foram os mesmos, e foram calculadas as médias mensais dos índices do fluxo de base para os triênios.

4.2.5. Avaliação de disponibilidade *versus* demanda hídrica

Visando avaliar a disponibilidade hídrica fluvial frente ao atendimento às demandas de usos consuntivos, considerando também a interação rio-aquífero, foi desenvolvido um balanço hídrico. Este balanço hídrico considerou as demandas de usos superficiais e subterrâneas. As outorgas superficiais e subterrâneas de usos consuntivos para a bacia hidrográfica do rio Itapicuru foram conseguidas junto ao INEMA. Contudo, como a realidade de tais outorgas não indicou uma situação

alarmante na bacia, decidiu-se para essa avaliação trabalhar com um quadro crítico, aplicando o máximo para as outorgas superficiais indicado no Decreto n. 6.296/1997 do estado da Bahia – sendo este valor 80% da vazão de referência do corpo hídrico com permanência de 90% a nível diário, ou seja, 80% da Q90. Além disso, os cenários do balanço hídrico realizado foi levando em conta as situações de maior estiagem. Assim, ele foi aplicado para os triênios secos antigo e recente.

Para a demanda subterrânea, como não há uma legislação que especifique um valor máximo de exploração, considerou-se o exposto pela ANA (2005) que aponta a vazão de retirada potencial para a formação Marizal de 7,1 m³/s. Ademais, foi levado em conta a Instrução Normativa INGÁ n. 15/2010, que dispõe acerca da exploração das águas subterrâneas do aquífero Urucuia de domínio do estado da Bahia, em que estabelece um período máximo de bombeio de 18 h/dia. Destarte, para a avaliação, estabeleceu-se um quadro de demanda subterrânea de 50% da vazão de retirada potencial para a formação Marizal em um regime de bombeio de 18 h/dia. O resumo das variáveis do balanço, bem como suas referências, estão apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Variáveis integrantes do balanço hídrico

Variáveis	Dados	Tipo	Referência
Run-off	Média mensal	Separado/calculado	Série histórica
Vazão de base	Média mensal	Separado/calculado	Método mínimo local
Recarga do aquífero	Mensal	Calculada	Balanço hidrogeológico
Reserva explotável	7,2 m ³ /s	Formação Marizal	ANA (2005)
Demanda superficial	80% Q90	Máximo outorgável	Decreto n. 6.296/1997
	20% Q90	Vazão remanescente	-
Demanda subterrânea	50% 7,1 m ³ /s*	Regime de bombeamento de 18 h/dia**	* ANA (2005) ** Instrução Normativa INGÁ n. 15/2010

O balanço foi desenvolvido em escala mensal no Excel. Nele, as parcelas do escoamento superficial e do fluxo de base foram postas separadamente. Inseriu-se também a parcela de recarga direta das águas meteóricas – calculada no balanço hidrogeológico da etapa anterior –, a reserva explotável para a formação Marizal, por ser a formação aflorante na área de estudo, e as demandas superficial e

subterrânea estabelecidas na proposta supracitada para os triênios passado e recente na condição seca do trecho da estação fluviométrica 50520000.

O balanço também considerou uma vazão remanescente de 20% da Q90 e contabilizou a vazão incremental para a jusante. A vazão com 90% de permanência (Q90) foi calculada considerando os dados diários das séries históricas para o período de 24 anos passado (1966 a 1989). Este valor, por corresponder a um período com poucas intervenções (retratando um comportamento mais naturalizado do rio), foi, então, aplicado no balanço hídrico tanto para o triênio seco passado quanto para o triênio seco recente.

O esquema do balanço sucede com a lógica de que a demanda subterrânea será atendida constantemente, de acordo com o regime de atendimento, pela reserva explorável. Concomitantemente, a demanda superficial será suprida impreterivelmente pela parcela do escoamento superficial. Caso a vazão de demanda superficial requerida ultrapasse a magnitude do *run-off*, será retirada da vazão de base, e, havendo superação da magnitude da vazão de base, o atendimento será suprido pela reserva explorável.

Então, foram contabilizados os meses em que houve retirada apenas do fluxo de base e os meses em que foi necessário utilizar da reserva explorável. Além disso, contabilizou-se o percentual de retirada da reserva nesses meses considerando o atendimento de todas as demandas.

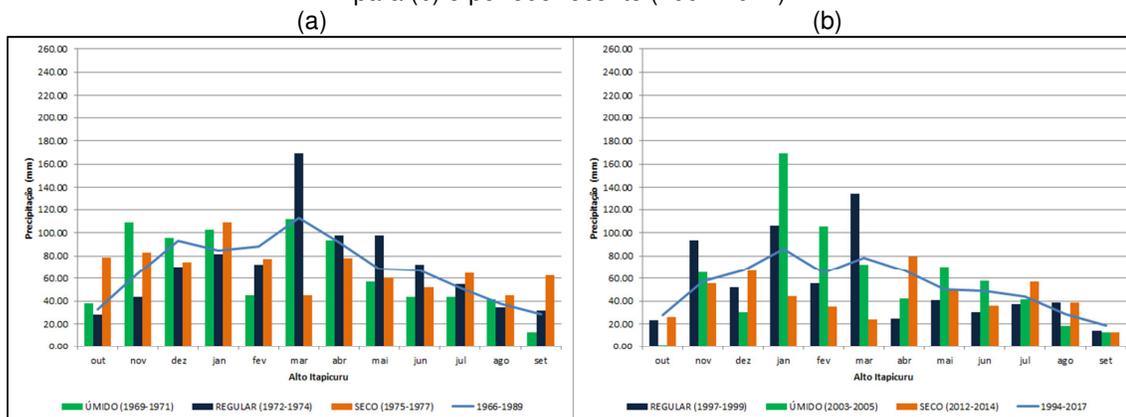
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização pluviométrica na bacia do rio Itapicuru

O comportamento pluviométrico foi realizado considerando as zonas climatológicas pela classificação de Köppen presentes na extensão da bacia hidrográfica do rio Itapicuru. Os hietogramas apresentados nessa seção trazem uma comparação do período antigo e o recente, como também as médias mensais de precipitação para as classificações trienais (úmido, regular, seco). Nas figuras 5.1 a 5.4, o verde representa o úmido, o azul é o regular, o laranja corresponde ao seco e a linha azul consiste das médias mensais para os períodos de 24 anos.

Marcado pela Zona Tropical com inverno seco (Aw) e com verão seco (As), conforme visto na caracterização da área, o Alto Itapicuru possui um potencial pluviométrico de 822,21 mm/ano (considerando o período de 1966 a 1989). Ao observar os hietogramas da Figura 5.1, para o período antigo, tem-se que os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e abril possuem baixa variação dos índices de chuvas. Tal comportamento é refletido na linha que representa a média do período, ilustrando um potencial pluviométrico mensal que varia de 80 mm a 110 mm de dezembro a abril. Em termos de magnitude destaca-se a chuva de março para o triênio regular de 1972-1974, cuja magnitude superou a média dos 24 anos para o mês em 50,62%.

Figura 5.1 – Padrão pluviométrico da região do Alto Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017)

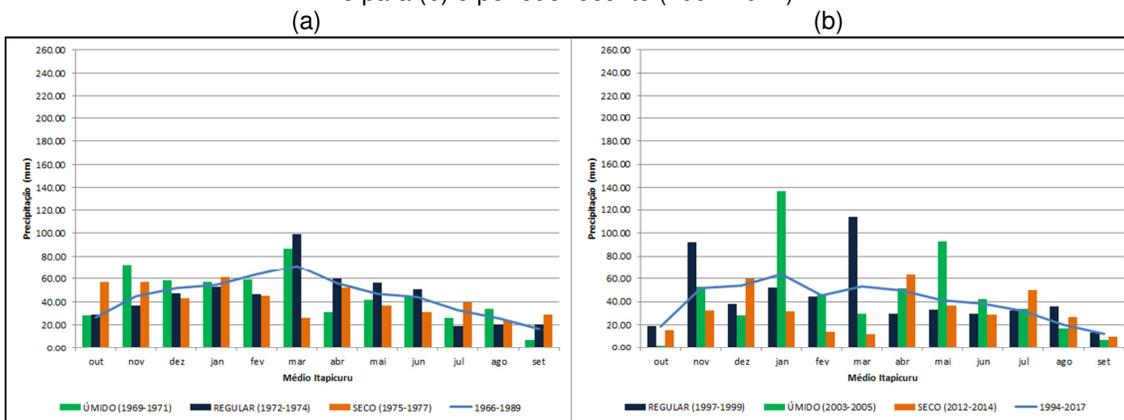


Fonte: Próprio autor

No que diz respeito ao período recente, verifica-se que a maior chuva ocorreu em janeiro para o triênio de 2003-2005 (úmido), atingindo por volta de 170 mm/mês, mesma magnitude da chuva de março do período passado. Ademais, é notável uma diminuição dos índices pluviométricos para o triênio seco (2012-2014), principalmente nos meses de outubro, janeiro e setembro, com uma taxa de redução da precipitação de, respectivamente, 66,88%, 59,32% e 79,76%. O total, para as médias mensais do período recente (1994-2017), foi de 640,52 mm/ano, exibindo um decrescimento da taxa pluviométrica de 22,10% em relação ao período antigo.

A Figura 5.2 ilustra os hietogramas referentes à região do Médio Itapicuru, cuja climatologia é de Zona Seca semiárida de baixa latitude e altitude (BSH). No hietograma relativo ao passado, há certa conformidade dos triênios com a média dos 24 anos (1966-1989), sendo o mês de março o de maior índice pluviométrico. Acerca do período mais recente (1994-2017), constata-se um cenário de maior escassez, apesar das chuvas acentuadas nos meses de novembro e março (1997-1999), e, janeiro e maio (2003-2005), que ultrapassaram, respectivamente, em 77,71%, 115,40%, 114,51% e 126,60% a média do período para esses meses. O total anual variou de 535,18 mm no passado para 481,41 mm para o quadro mais contemporâneo, computando um déficit pluviométrico de 10,05%.

Figura 5.2 – Padrão pluviométrico da região do Médio Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017)

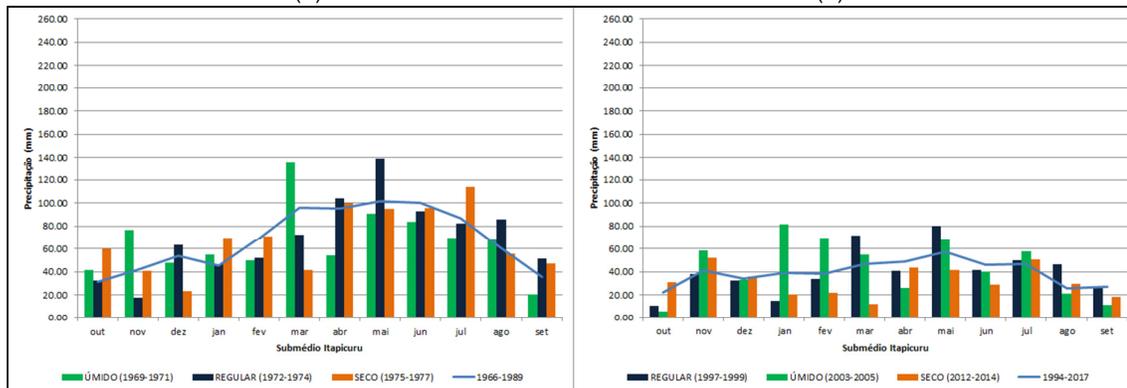


Fonte: Próprio autor

A Figura 5.3 retrata os quadros da pluviometria para o Submédio Itapicuru, que é contemplado por duas zonas climáticas, a Zona Seca Semiárida (BSH) e a Zona Tropical com verão seco (As). Do comportamento pluviométrico dessa região, averigua-se que, no passado, março dava início a um período de maior tendência de chuvas que se estendia até julho. Em contrapartida, no período recente, observa-se

uma mudança redutiva no potencial de precipitação para os meses de março a julho, verificando um decréscimo médio de 48,65% com variação de 3,51% do passado (1966-1989) para o período recente (1994-2017). Tal decréscimo sucedeu uma condição em que a sazonalidade da ocorrência de chuvas não é claramente notada (Figura 5.3 – b).

Figura 5.3 – Padrão pluviométrico da região do Submédio Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017)

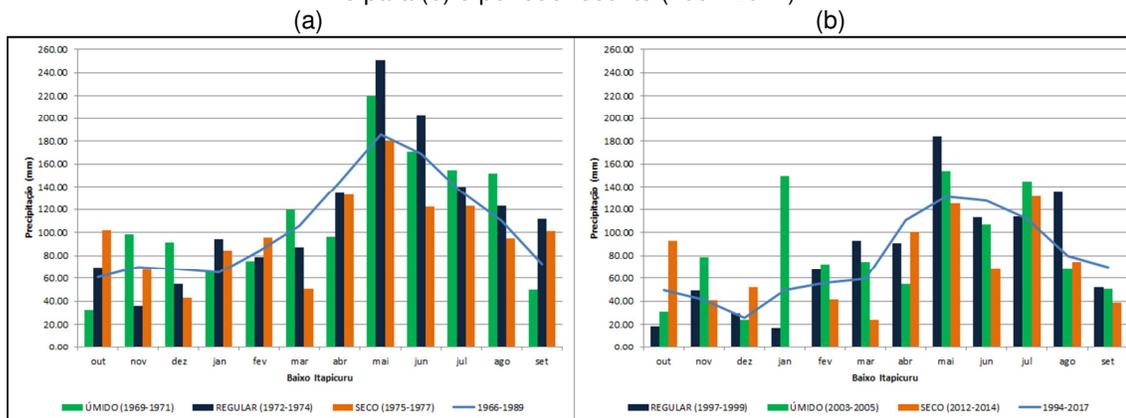


Fonte: Próprio autor

Além disso, é possível também que os dados referentes ao período recente não estejam tão representativos, uma vez que a cobertura de monitoramento das estações pluviométricas (ou seu funcionamento) para essa região da bacia foi escassa para esse período (1994-2017). O total anual precipitado para a média dos 24 anos passado foi de 817,29 mm, enquanto que para o período recente foi de 474,65 mm, contabilizando um déficit pluviométrico de 41,92%.

No que concerne a região do Baixo Itapicuru, cuja climatologia é de Zona Tropical sem estação seca (Af) e de monções (Am), a Figura 5.4 apresenta nos dois hietogramas uma correspondência sazonal, com ocorrência das chuvas de maior magnitude entre abril e julho. Nota-se também uma redução da chuva do mês de maior precipitação (maio) de cerca de 180 mm para, aproximadamente, 125 mm, com relação a média dos períodos de 24 anos.

Figura 5.4 – Padrão pluviométrico da região do Baixo Itapicuru para (a) o período antigo (1966-1989) e para (b) o período recente (1994-2017)



Fonte: Próprio autor

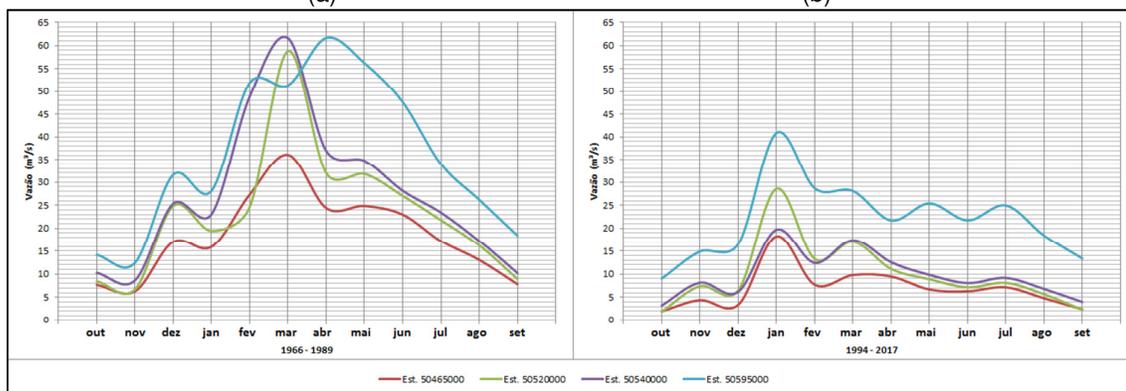
O nível pluviométrico do mês de menor precipitação, dezembro (1975-1977), triênio seco, foi por volta de 45 mm, em contraste com o janeiro do período recente com cerca de 5 mm para o triênio seco (2012-2014). O total anual médio para o período antigo foi de 1269,74 mm, já o total anual médio para o período recente foi de 912,94 mm, retratando uma redução em 28,10%.

5.2. Caracterização do regime fluvial do rio Itapicuru

Os hidrogramas das Figuras 5.5 a 5.8 estão organizados de modo a representar o comportamento do fluxo do rio de montante para a jusante e eles correspondem às quatro estações fluviométricas: 50465000 (Queimadas), 50520000 (Ponte Euclides da Cunha), 50540000 (Cipó) e 50595000 (Usina Altamira).

O comportamento do regime fluvial do rio Itapicuru sofreu acentuada modificação ao longo dos anos, como pode ser observado nos hidrogramas das vazões médias mensais para os períodos de 24 anos (Figura 5.5). No período mais antigo (1966-1989), quando possivelmente as características mais naturais da bacia eram ainda prevaletentes, nos trechos sub-médio e baixo, o alcance médio de magnitude das enchentes foi de cerca de 65,0 m³/s, e a ocorrência do período de cheias se deu entre os meses de fevereiro e maio, tendo sua cheia em março.

Figura 5.5 – Vazões médias mensais para (a) o período de 24 anos passado (1966 a 1989) e (b) o período de 24 anos mais recente (1994 a 2017)

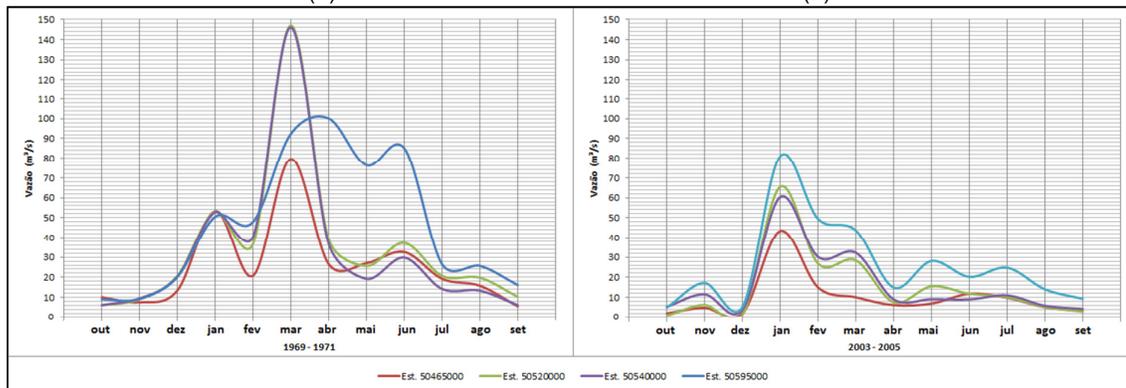


Fonte: Próprio autor

Dos registros mais recentes (1994-2017), houve uma antecipação da cheia de março para janeiro e uma diminuição de sua magnitude em 49,33% para a estação 50465000, em 51,39% para a estação 50520000, em 67,99% para a 50540000 e em 33,72% para a estação 50595000, considerando seu maior pico em abril para o período passado. Estes resultados exibem correspondência com o comportamento pluviométrico, uma vez que verificou-se que, no passado, março se caracterizada ou como o mês de maior índice de chuvas ou como o mês que iniciava o período de maior pluviosidade, com exceção da região próxima a foz do rio (Conde), que tal período começava em abril, o que justifica o pico da estação 50595000 ser em abril.

Considerando os períodos úmidos selecionados (1969-1971; 2003-2005), verifica-se, na Figura 5.6, que a sazonalidade ao longo do rio Itapicuru nos dois períodos de análise (antigo e recente) está em conformidade com a observada nas médias mensais para os 24 anos. Por outro lado, é possível averiguar que a dimensão da vazão média da cheia de março, para o período passado, é em torno do dobro da média de março para os 24 anos ($65 \text{ m}^3/\text{s}$), com exceção do trecho próximo a foz (estação 50595000) que apresentou um rebaixamento da vazão de enchente.

Figura 5.6 – Vazões médias mensais para o período classificado como úmido referente ao (a) passado (1969-1971) e à (b) condição mais recente (2003-2005)



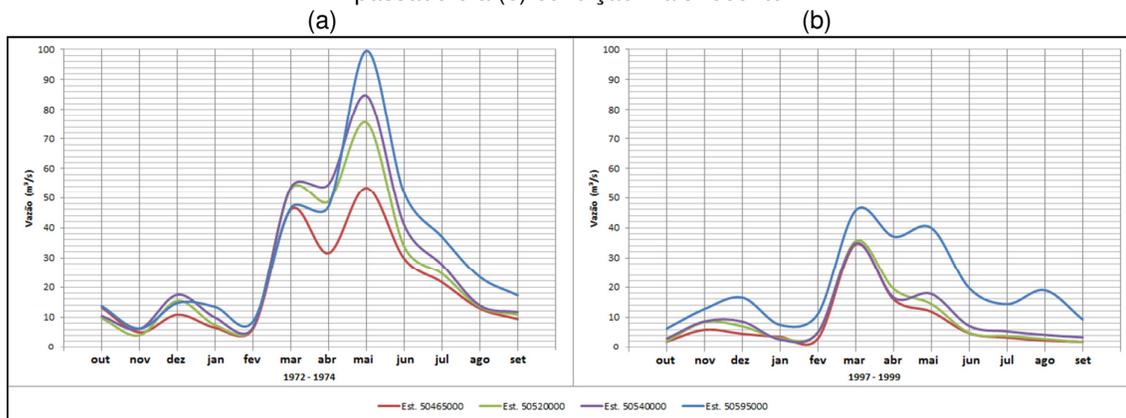
Fonte: Próprio autor

Ao observar os índices pluviométricos da região do baixo Itapicuru, onde a estação 50595000 está localizada, averigua-se que a continuação da magnitude da cheia de março até junho sucede devido ao acontecimento da estação chuvosa da região (abril a julho). Entretanto, no que concerne à atenuação da vazão máxima mensal (abril), o comportamento pluviométrico para o período úmido (1969-1971) não exibiu nenhuma anormalidade que descaracterizasse do padrão médio passado (1969-1989) ou que justificasse esse comportamento exibido no hidrograma da Figura 5.6-a.

Assim, é possível que tal diminuição seja devido ao tipo predominante de solo da área (Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico), conforme apresentado na Figura 4.3 de caracterização do solo, que possui uma boa drenagem interna e baixa saturação. Contudo, na condição úmida do período mais recente (2003-2005), esse trecho obedeceu ao mesmo padrão dos demais trechos, aumentando em magnitude, como é esperado especialmente. A vazão de enchente foi antecipada de março para janeiro, correspondendo ao mês mais chuvoso (janeiro) para o período úmido recente (2003-2005).

Acerca dos períodos classificados como regular (1972-1974; 1997-1999), a progressão espacial mostra-se coerente entre os dois períodos (Figura 5.7). Entretanto, a cheia de maio foi antecipada para março com um decréscimo de cerca de 50% de sua magnitude.

Figura 5.7 – Vazões médias mensais para o período classificado como regular referente ao (a) passado e à (b) condição mais recente

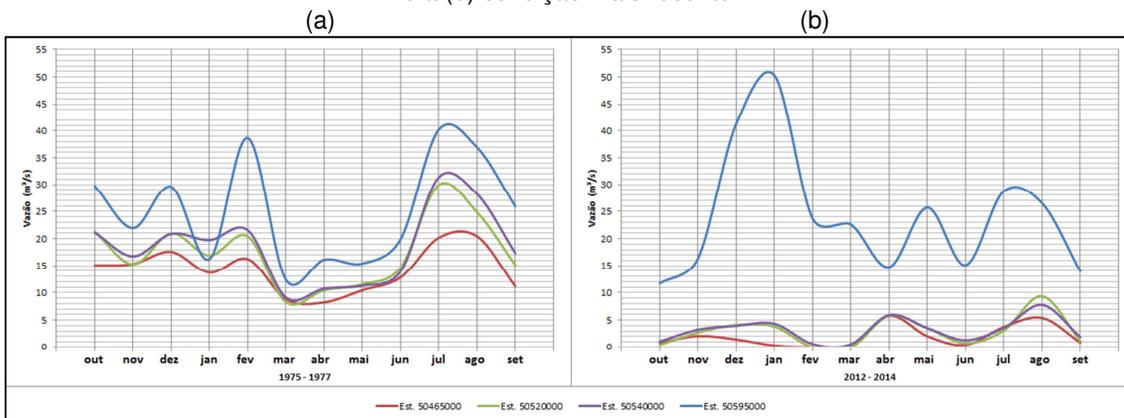


Fonte: Próprio autor

Ademais, há uma mudança de comportamento com relação ao verificado nas médias de 24 anos. Para o período antigo, a vazão de pico sofreu retardo de março para maio; por sua vez, para o período recente, a vazão de pico de janeiro sucedeu em março. Essa alteração pode ser explicada pelo padrão pluviométrico, uma vez que os maiores índices de precipitação sucederam entre março e junho para todas as zonas climáticas da bacia no período de 1972 a 1974 (regular passado), sendo maio o mês de maior precipitação nas áreas do Submédio e Baixo Itapicuru. Na condição regular recente (1997-1999), março foi o mês em que houve maior pluviosidade, corroborando para a vazão observada no referente mês.

No que tange aos períodos categorizados como secos (1975-1977; 2012-2014), a Figura 5.8 exhibe que a vazão de inundação foi decrescida de 40 m³/s para 10 m³/s, comparando os dois tempos. Na condição seca, verificou-se que o período de enchentes sucedeu entre Julho e Agosto nos dois triênios. Contudo, no período mais atual, nota-se um comportamento diferente da estação 50595000 (Conde), em que há um aumento de 209,08% na vazão de janeiro em relação ao período antigo (1975-1977). Tal estação não exibiu comportamento sazonal semelhante às demais estações à montante, apresentando o mês de janeiro como mês de maior vazão, enquanto que os demais trechos tiveram maiores vazões em abril e agosto. Entretanto, essa vazão de janeiro para a 50595000 não corresponde à resposta de chuva, uma vez que o padrão de chuvas do Baixo Itapicuru exibiu janeiro do triênio seco (2012-2014) como o mês menor precipitação (4,80 mm).

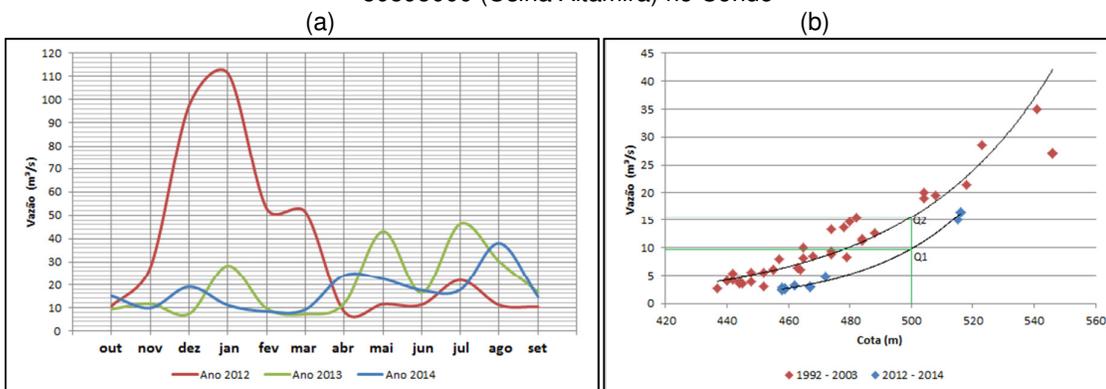
Figura 5.8 – Vazões médias mensais para o período classificado como seco referente ao (a) passado e à (b) condição mais recente



Fonte: Próprio autor

Para as demais estações fluviométricas, os anos de 2012, 2013 e 2014 foram os de menores vazões registradas. Não obstante, o trecho do Conde não indica influência da seca desse período. Esse comportamento destaca-se e necessita de análise mais criteriosa para verificação da representatividade das informações. Ao avaliar os hidrogramas de médias mensais desses anos separadamente (Figura 5.9-a), constata-se uma inconformidade no ano de 2012, que tendenciou as médias mensais do período no hidrograma da Figura 5.8. Desse modo, buscou-se avaliar a curva-chave (Figura 5.9-b), que revelou mudança para os dados mais atuais que ainda não foram validados. Assim, devido à inconsistência por conta da não-validação da curva-chave para o período recente, decidiu-se excluir o trecho da estação 50595000 das análises e avaliações subsequentes.

Figura 5.9 – (a) Vazões médias mensais e (b) curvas-chave para o trecho da estação fluviométrica 50595000 (Usina Altamira) no Conde



Fonte: Próprio autor

5.3. Avaliação das vazões mensais extremas e das vazões de referência

A Tabela 5.1 apresenta os valores das médias de vazões para o mês mais seco identificado em cada período. Verifica-se que para o trecho da estação 50465000 (Queimadas), há uma grande variação (expressa pelo desvio padrão) da média das magnitudes de vazão, principalmente para o tempo passado da série de 24 anos e para o triênio úmido. Essa variação alta, para a série de 24 anos, foi observada também nos demais trechos e pode ser justificada por se tratar de uma longa série de dados. Contudo, no tocante ao período úmido, as demais estações não apresentaram um desvio-padrão elevado. Isso pode ser justificado pela geologia da área em que as estações 50520000 (Tucano) e 50540000 (Cipó) estão localizados, uma vez que estas estão situadas em uma bacia sedimentar que possui solos de boa drenagem interna, o que facilita a infiltração de água no solo. Assim a alta variação do trecho da 50465000 pode ser explicada pela baixa infiltração e à intermitência das contribuições à montante, posto que tal trecho é confluência dos tributários Itapicuru-Mirim e Itapicuru-Açu.

Tabela 5.1 – Comparativo das vazões médias (m³/s) do mês de maior estiagem para os períodos estudados ao longo dos trechos do rio principal da bacia do Itapicuru

Trecho	50465000		50520000		50540000	
	Passado	Recente	Passado	Recente	Passado	Recente
24 anos	6,29 ± 6,55	1,97 ± 1,48	6,70 ± 6,16	1,94 ± 2,43	8,65 ± 6,37	3,25 ± 3,30
Úmido	10,12 ± 10,94	2,01 ± 0,11	6,12 ± 1,55	1,25 ± 0,81	6,18 ± 1,72	3,88 ± 1,83
Regular	5,00 ± 1,35	1,97 ± 0,97	4,07 ± 1,67	2,16 ± 2,15	6,16 ± 1,69	2,96 ± 1,09
Seco	8,81 ± 1,43	0,00 ± 0,00	8,29 ± 2,48	0,00 ± 0,01	9,13 ± 1,07	0,60 ± 0,32

Observa-se uma diminuição de em média 50% para o período regular, no tocante as mudanças do passado para o tempo recente, com baixa variação. Além disso, averigua-se uma redução significativa de cerca de 100% das vazões para todos os trechos considerando a condição seca, ao comparar o período passado com o recente. Tal alteração é refletida nas vazões de permanência de cada trecho (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Vazões de referência dos trechos para os períodos passado e recente

Vazão de referência	Q90 (m ³ /s)		Q50 (m ³ /s)		Q 5 (m ³ /s)	
	Passado	Recente	Passado	Recente	Passado	Recente
50465000	1,412	0,000	6,717	2,154	63,900	25,160
50520000	1,600	0,000	9,040	1,851	78,900	33,870
50540000	3,300	0,644	12,300	2,885	101,000	27,130

Da Tabela 5.2, averigua-se um decréscimo ao longo do tempo para todos os trechos. As vazões com 5% de permanência reduziram em magnitude 60,63%, 57,07% e 73,14%, respectivamente, para os trechos das estações 50465000, 50520000 e 50540000. As vazões com duração de 50% retornaram um diminuição de 67,93% (50465000), 79,52% (50520000) e 76,54% (50540000). No tangente às vazões de 90% de permanência, verificou-se um decréscimo de 100% para os trechos das estações 50465000 e 50520000 e de 80,48% para a estação 50540000. Nesta perspectiva, visto que a disponibilidade hídrica superficial tem diminuído, tais alterações implicarão em conflitos pelo recurso hídrico e trarão, conseqüentemente, uma maior exploração das reservas subterrâneas.

5.4. Definição do fluxo de base

O resumo estatístico da separação do fluxo de base da vazão total do rio, utilizando os métodos mínimo local, intervalo fixo e intervalo móvel, está apresentado nas Tabelas 5.3 e 5.4. Constatou-se que os trechos localizados na bacia sedimentar (50520000 e 50540000) são os que possuem maior magnitude do fluxo de base, cujo comportamento revelou crescimento de montante a jusante. Ademais, verificou-se também uma alta variação, que pode ser justificada pelos meses de alta taxa pluviométrica, em que ocorre a contribuição das águas meteóricas na recarga local do aquífero livre na zona de interação rio-aquífero.

Tabela 5.3 – Resumo estatístico dos resultados da aplicação dos métodos analíticos de separação do hidrograma para obtenção do fluxo de base para o período passado (1966-1989)

Estação		50465000		50520000		50540000		
Estatística		Média ± desvio	Mediana	Média ± desvio	Mediana	Média ± desvio	Mediana	
Vazão observada (m ³ /s)		17,43 ± 39,00	6,72	23,90 ± 67,91	9,04	29,55 ± 74,24	12,30	
Método	Mínimo local	Fluxo de base (m ³ /s)	7,22 ± 9,80	4,17	9,92 ± 11,72	6,10	12,68 ± 11,88	9,31
	Intervalo fixo	Fluxo de base (m ³ /s)	11,97 ± 23,59	5,46	16,04 ± 38,61	7,50	21,08 ± 45,36	10,90
	Intervalo móvel	Fluxo de base (m ³ /s)	14,23 ± 30,28	6,08	19,12 ± 51,12	8,16	24,50 ± 57,35	11,69

Ao comparar os três métodos de separação, verifica-se que o mínimo local apresentou os menores valores. Enquanto que os demais métodos resultaram em

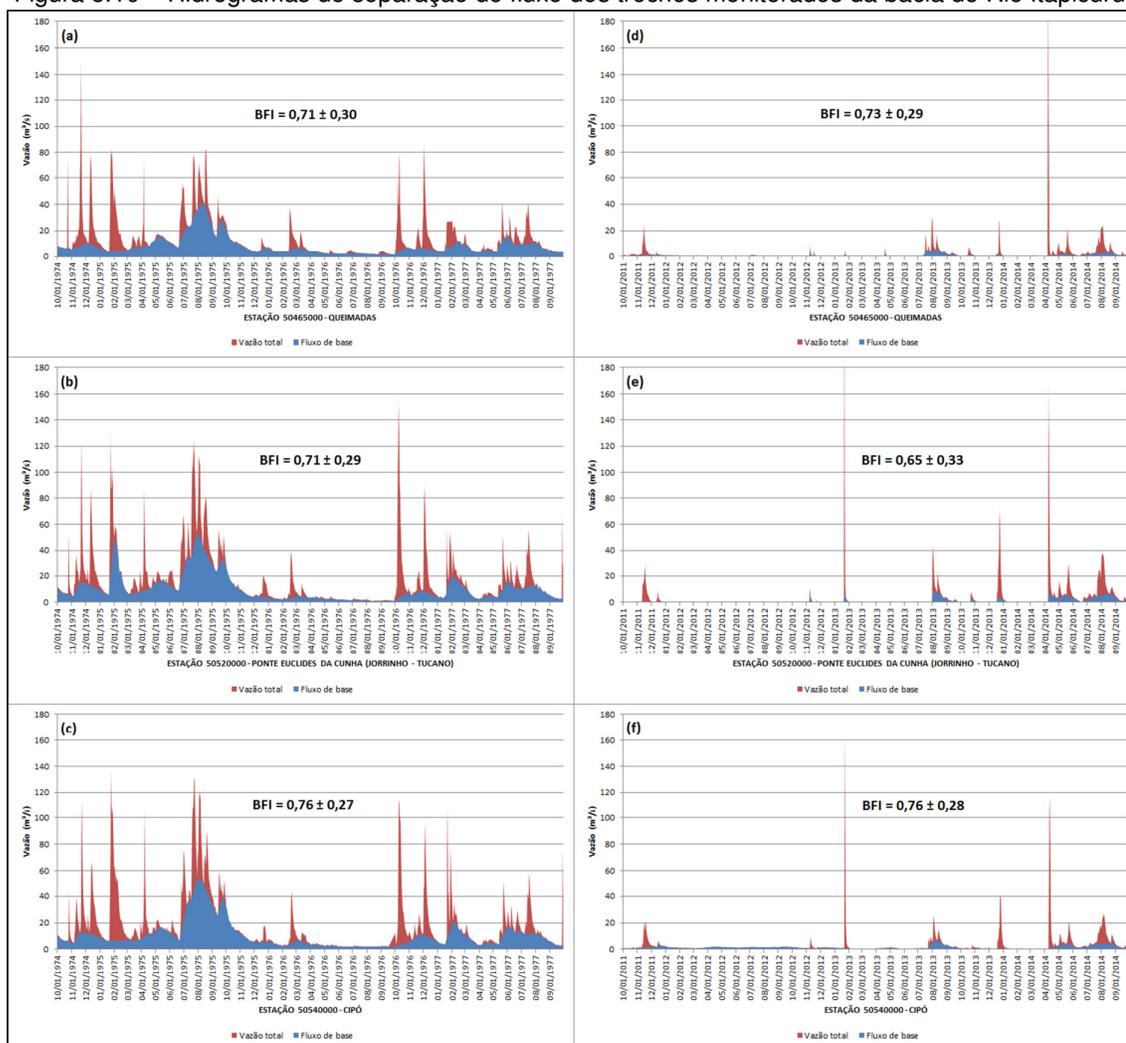
valores mais altos para o fluxo de base, principalmente o método do intervalo móvel, que pode ter superestimado a contribuição do fluxo de base. Além disso, as medianas do fluxo de base apresentaram valores de magnitude próxima a das medianas das vazões observadas, principalmente no período recente (1994 a 2017). Tais valores implicam, teoricamente, que a vazão que permanece no rio, para esse período recente, é, em sua predominância, proveniente da contribuição subterrânea.

Tabela 5.4 – Resumo estatístico dos resultados da aplicação dos métodos analíticos de separação do hidrograma para obtenção do fluxo de base para o período recente (1994-2017)

Estação		50465000		50520000		50540000		
Estatística		Média ± desvio	Mediana	Média ± desvio	Mediana	Média ± desvio	Mediana	
Vazão observada (m³/s)		7,24 ± 26,88	2,15	9,48 ± 37,39	1,85	8,84 ± 32,57	2,89	
Método	Mínimo local	Fluxo de base (m³/s)	2,73 ± 4,53	1,87	3,08 ± 6,63	1,17	3,48 ± 4,27	2,11
	Intervalo fixo	Fluxo de base (m³/s)	4,28 ± 11,32	1,92	5,40 ± 16,26	1,36	5,69 ± 14,06	2,55
	Intervalo móvel	Fluxo de base (m³/s)	5,32 ± 17,38	2,03	6,96 ± 25,68	1,57	6,99 ± 23,70	2,67

A Figura 5.10 exibe a separação de fluxo considerando os períodos secos passado e recente em ordem de progressão espacial de montante a jusante, de modo a possibilitar um melhor entendimento da contribuição do fluxo de base na disponibilidade hídrica fluvial. Além disso, a figura exibe a média de 24 anos dos valores dos índices do fluxo de base (BFI) para cada trecho em cada período. Quanto mais próximo o BFI for de 1 significa alta correlação/contribuição do fluxo de base na vazão total do rio. Por outro lado, quão menor for o valor do BFI, menor é a contribuição subterrânea no fluxo total do corpo hídrico.

Figura 5.10 – Hidrogramas de separação de fluxo dos trechos monitorados da bacia do Rio Itapicuru



Fonte: Próprio autor

No cenário passado (Figura 5.10 - a, b, c), averigua-se um comportamento similar dos três trechos, que resultou em um BFI igual para os trechos das estações 50465000 e 50520000, e um BFI próximo para o trecho da estação 50540000, sugerindo considerável contribuição subterrânea. No cenário mais recente (Figura 5.10 - d, e, f), contudo, apresentando um período mais severo de seca, tem-se um aumento do BFI na estação 50465000 (Queimadas), uma diminuição do BFI para o trecho da estação 50520000 (Tucano) e uma permanência do BFI para o trecho da estação 50540000 (Cipó).

No que concerne ao valor do BFI para a estação 50465000, uma vez que esse trecho está situado em unidade fraturada de produtividade geralmente muito baixa, porém localmente baixa (Figura 4.5), possivelmente, tal valor de BFI não

esteja representativo. No trecho da estação 50520000, verificou-se uma diminuição que pode estar relacionada ao aumento da exploração subterrânea, considerando que, majoritariamente, os poços que estão em funcionamento concentram-se nessa região (Figura 4.8), assim pode ter havido uma diminuição do nível do lençol freático. Por outro lado, no trecho de Cipó (50540000), constata-se permanência da relação fluxo de base e fluxo total, não revelando alterações marcantes para tal correlação. Na Figura 5.10, no período recente, onde as estações 50465000 e 50520000 mostraram fluxo nulo (ano hidrológico de 2012), o trecho da estação 50540000 apresentou vazão média de $2,01 \pm 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$ com BFI correspondente de $0,88 \pm 0,20$, significando que nesse ano o fluxo presente no rio foi predominantemente da contribuição interativa do aquífero com o rio.

5.5. Potencial de recarga direta do aquífero

Avaliando o balanço de recarga direta para o aquífero, tendo sido aplicado os métodos referentes às equações 1 e 2 com relação ao trecho localizado no submédio Itapicuru (Estação 50520000), verificou-se que houve contribuição das águas meteóricas na recarga para os triênios do período passado seco e úmido, e para o período recente houve recarga apenas no úmido. As Tabelas 5.5 a 5.7 trazem os percentuais das parcelas da precipitação total do mês que contribuíram com a recarga do aquífero livre para os dois métodos aplicados.

No triênio seco (1975 a 1977), (Tabela 5.5), tem-se como meses de maior recarga junho e julho de 1975. Em 1986, houve recarga, segundo o balanço, apenas em outubro. E, em 1977, a maior recarga sucedeu no mês de maio de acordo com os dois métodos. Portanto, para o método do balanço hidrogeológico, em 1975 houve uma recarga de 252,67 mm; em 1976, a recarga foi de 1,05 mm; e, em 1977, ocorreu uma recarga de 97,23 mm. Por outro lado, pelo método do balanço de recarga BFI, a recarga contabilizada para o ano de 1975 foi de 192,52 mm; para 1972, foi 3,20 mm; e, para o ano de 1977, foi de 72,25 mm.

Tabela 5.5 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio seco passado (1975-1977)

Método	Balanço hidrogeológico	Balanço de recarga BFI
Abril/1975	34,14%	23,06%
Mai/1975	15,96%	16,51%
Junho/1975	51,91%	37,63%
Julho/1975	49,48%	38,42%
Agosto/1975	-	1,88%
Outubro/1976	0,81%	2,47%
Abril/1977	5,07%	4,78%
Mai/1977	39,90%	29,13%
Julho/1977	26,30%	19,30%

O balanço para o triênio úmido referente ao passado (1969 a 1971), resultou como 1969 o ano de maior recarga nos meses de março, maio e junho (Tabela 5.6). Para o método do balanço hidrogeológico, em 1969, a contribuição pluviométrica na recarga foi de 190,38 mm; no ano subsequente a recarga foi de 7,13 mm, ocorrendo somente em julho; e em 1971, foi estimada uma recarga de 0,95 mm. Para o método de recarga BFI, em 1969, a recarga equivaleu a 92,82 mm; em 1970, a recarga direta foi estimada em 8,99 mm; e em 1971, estimou-se 4,04 mm.

Tabela 5.6 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio úmido passado (1969-1971)

Método	Balanço hidrogeológico	Balanço de recarga BFI
Março/1969	30,87%	27,78%
Mai/1969	31,47%	33,44%
Junho/1969	34,91%	31,60%
Julho/1970	7,92%	8,99%
Mai/1971	1,01%	3,29%
Junho/1971	-	0,75%

Tratando do triênio úmido recente (2003 a 2005) – Tabela 5.7 –, verifica-se que o ano de maior recarga foi 2004, destacando o mês de janeiro. Concernente aos valores de recarga direta anuais, de acordo com o método do balanço hidrogeológico, para o ano de 2003, estimou-se uma recarga de 27,31 mm; em 2004, a recarga direta calculada foi de 55,19 mm; e em 2005, foi de 9,48 mm. Os resultados para o método de recarga BFI estimaram, para 2003, 8,98 mm; para 2004, 16,04 mm; e, para 2005, 9,36 mm.

Tabela 5.7 – Percentual da precipitação total mensal que contribuiu para a recarga do aquífero no triênio úmido recente (2003-2005)

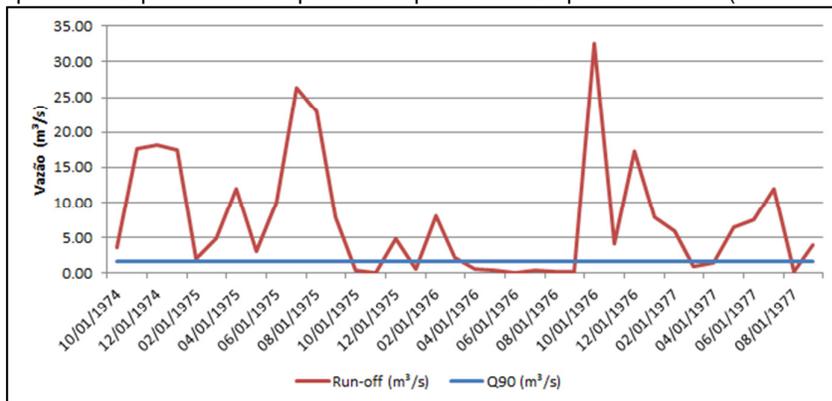
Método	Balanco hidrogeológico	Balanco de recarga BFI
Julho/2003	12,42%	5,71%
Novembro/2003	11,85%	3,27%
Janeiro/2004	20,37%	11,15%
Fevereiro/2004	8,95%	4,89%
Mai/2005	9,49%	9,36%

5.6. Avaliação de disponibilidade em frente às demandas hídricas

O balanço hídrico visa avaliar a disponibilidade hídrica fluvial no atendimento às demandas hídricas. O trecho avaliado foi o da estação fluviométrica 50520000, localizada no município de Tucano, na porção do submédio Itapicuru. Vale lembrar que, uma vez que as demandas subterrâneas são saciadas diretamente da reserva explotável, o balanço avaliará as falhas que sucederam para atender as demandas superficiais, quando foi necessário utilizar da vazão de base e quando houve necessidade de exploração da reserva explotável do aquífero.

Para o período passado (Figura 5.11), verifica-se que, em 66,67% do tempo, a vazão proveniente do escoamento superficial conseguiu atender as demandas superficiais (80% da Q90 + vazão remanescente) sem falhas, isto é, sem retirar da vazão base ou utilizar da reserva explotável. Nessa situação, em 10 meses (27,78% do tempo) foi necessário a utilização do fluxo de base, e, somente em 2 meses (5,56% do tempo) foi explotado da reserva explotável do aquífero.

Figura 5.11 – Comparação da demanda hídrica exigida pela vazão de referência (80%Q90, máxima outorgável, somado a 20%Q90, vazão remanescente) tendo em vista a parcela do escoamento superficial disponível no corpo hídrico para o triênio passado seco (1975-1977)



Fonte: Próprio autor

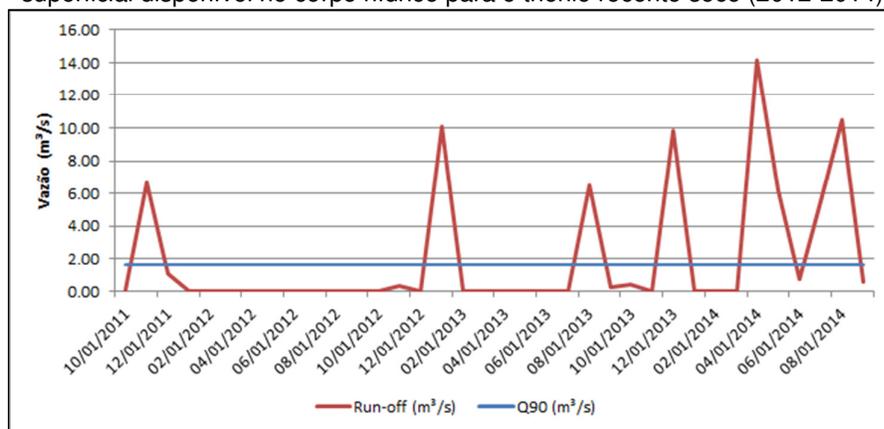
Considerando todas as demandas, superficiais e subterrâneas, os meses de utilização da reserva explotável equivaleram a um percentual explotado de 41,02% em agosto de 1976, que equivale a 2,95 m³/s; e, no mês de setembro de 1976, foram 38,16% do total da reserva explotável, equivalendo a 2,75 m³/s. Nos meses em que houve recarga direta do aquífero livre, não houve falhas no atendimento. Nesse período, a vazão incremental de contribuição a jusante foi de 15,90 ± 15,24 m³/s. A Tabela 5.8 exibe um resumo do balanço hídrico de maio de 1976 a dezembro de 1976, ilustrando as três situações possíveis para possibilitar o atendimento. Os balanços completos estão dispostos no Apêndice.

Tabela 5.8 – Resumo da situação do balanço hídrico mensal para o triênio passado seco (1975-1977) considerando os meses de maio e dezembro

Período	Vol superf (m ³)	Vol base (m ³)	Reserva explotável (m ³)	Demanda superficial (m ³)	Dem. subterrânea (m ³)	Situação do balanço
05/1976	958,872.77	6,240,323.61	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Tirou da base
06/1976	115,948.80	4,774,982.40	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Tirou da base
07/1976	901,068.39	4,629,451.35	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Tirou da base
08/1976	594,195.10	2,854,516.65	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Tirou da reserva
09/1976	636,840.00	3,356,366.40	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Tirou da reserva
10/1976	85,754,508.39	12,592,005.68	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Run-off atendeu
11/1976	10,828,915.20	17,948,347.20	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Run-off atendeu
12/1976	45,717,319.74	16,611,110.71	18,973,440.00	3,373,056.00	843,264.00	Run-off atendeu

No que concerne ao período recente (2012 a 2014), em que sucedeu uma seca severa, apresenta-se o hidrograma do balanço hídrico na Figura 5.12. Notoriamente, em muitos meses, não foi possível atender as demandas superficiais. Contabilizou-se que apenas em 22,22% do triênio, as demandas superficiais puderam ser atendidas sem necessitar retirar de outra parcela. Em 5,56% do tempo, apenas a água referente à vazão de base foi utilizada. E, em 72,22% (26 meses), quando a vazão de base não supriu as demandas, foi explotada da reserva do aquífero.

Figura 5.12 – Comparação da demanda hídrica exigida pela vazão de referência (80%Q90, máxima outorgável, somado a 20%Q90, vazão remanescente) tendo em vista a parcela do escoamento superficial disponível no corpo hídrico para o triênio recente seco (2012-2014)



Fonte: Próprio autor

Considerando todas as demandas, o percentual máximo de utilização da reserva explotável foi de 59,20% (4,26 m³/s). Tal valor correspondeu aos meses de vazão nula no corpo hídrico. A vazão incremental calculada no balanço para a jusante foi de $2,30 \pm 4,49$ m³/s.

6. CONCLUSÕES

O regime fluvial do rio Itapicuru foi caracterizado para dois períodos de 24 anos, um antigo e um passado, que indicou alterações em seu comportamento nas variáveis de fluxo magnitude e sazonalidade. No período passado, as altas vazões sucediam entre fevereiro e maio para todos os trechos ao longo do rio Itapicuru. No período mais recente, houve decréscimo médio da magnitude das maiores enchentes em 50,61%, considerando todos os trechos estudados, além de uma antecipação de sua ocorrência para janeiro.

Verificou-se que os aquíferos presentes nas regiões do submédio e baixo trecho tem produtividade variando de muito alta a moderada. A formação Marizal possuindo uma reserva explotável de 7,2 m³/s e a formação São Sebastião apresentando 8,2 m³/s. De acordo com ANA (2005), ambas formações possuem boa e alta produtividade, respectivamente, tanto nas condições livre e confinada. O balanço de recarga hidrogeológica apresentou potencial de recarga direta para o aquífero livre especialmente entre os meses de maio a junho, contribuindo nesses meses para a reserva do aquífero.

A separação de fluxo revelou um índice de fluxo de base (BFI) acima de 0,60 para os trechos estudados, significando considerável relação ente a contribuição subterrânea nos trechos para a disponibilidade hídrica fluvial, principalmente nos trechos da unidade granular. Ainda que em frente as alterações sofridas na bacia hidrográfica e os fenômenos climáticos, o índice de fluxo de base do trecho da 50540000 (Cipó) permaneceu com um BFI médio para longo período de 0,76, possuindo vazão no rio proveniente da contribuição subterrânea enquanto os trechos à montante apresentaram fluxo nulo.

A avaliação do balanço hídrico, considerando a demanda superficial como a máxima outorgável pelo Decreto n. 6.296/1997 e uma demanda subterrânea de 50% da vazão de retirada potencial para a Formação Marizal (7,1 m³/s), possibilitou ilustrar o funcionamento da interação do fluxo de água nas matrizes superficial e subterrânea para o trecho em estudo. Ademais, ao comparar os dois períodos (passado e recente) em condição seca para o mesmo quadro de demanda por água, verificou-se a necessidade de exploração de 4,26 m³/s (59,20% da reserva explotável do aquífero) em 72,22% do tempo do triênio recente (2012-2014) para atender todas as demandas, superficial e subterrânea.

Nesta perspectiva, apesar das outorgas de demandas disponibilizadas pelo INEMA (2018) não representarem uma situação de conflito na bacia, o entendimento da dinâmica hídrica na interação rio-aquífero avaliado reitera a necessidade de uma gestão integrada com maior controle e fiscalização de modo a garantir sustentabilidade ecossistêmica e segurança hídrica e social. Destarte, ressalta-se a necessidade de dados robustos de outorgas válidas e de disponibilização de dados das séries históricas do monitoramento de poços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACWORTH, R.I. Surface water and groundwater: understanding the importance of their connections. *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 56, n1, p. 1-2, 2009.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas. Cadernos de Recursos Hídricos – Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília, Distrito Federal. 2005. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BAALOUSHA, H.M. Characterisation of groundwater–surface water interaction using field measurements and numerical modelling: a case study from the Ruataniwha Basin, Hawke's Bay, New Zealand. *Applied Water Science: Management and Infrastructure*, [DOI 10.1007/s13201-012-0028-3], 2012.

BAHIA. Decreto n. 6.296, de 21 de março de 1997. *Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências*. 1997.

BAHIA. Instrução Normativa INGÁ Nº 15, de 18-03-2010. *Dispõe sobre procedimentos administrativos e critérios técnicos para perfuração de poços tubulares para fins de exploração de água subterrânea no aquífero Urucuia de domínio do Estado da Bahia*. 2010.

BORTOLIN, T.A.; REGINATO, P.A.R.; SCHNEIDER, V.E. Estimativa de recarga pelo método do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica com ocorrência de aquíferos fraturados. In *Anais: XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2016, Campinas, São Paulo*. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28759>>. Acesso em: 08 ago. 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 04 mar. 2018.

CPRM – Serviço geológico Brasileiro. Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 50 – Bacias dos rios Itapicuru, Vaza Barris, Real, Inhambupe, Pojuca, Sergipe, Japarutuba, Subaúma e Jacuípe. Recife. 2013.

CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. Mapa Hidrogeológico do Brasil. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

DINIZ, J.A.O.; MONTEIRO, A.B.; SILVA, R.C., PAULA, T.L.F. Manual de cartografia hidrogeológica. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Recife, 2014.

FLECKENSTEIN, J.H.; KRAUSE, S.; HANNAH, D.M.; BOANO, F. Groundwater-surface water interactions: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics. *Advances in Water Resources*, v. 33, p. 1291-1295, 2010.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2000. 391 p.

FREEZE, A.R.; CHERRY, J.A. Águas Subterrâneas. São Paulo: Everton de Oliveria, p. 698, 2017.

GARDNER, K.M. The importance of surface water/groundwater interactions. Environmental Protection Agency, 1999.

GASPAR, M.T.P. Sistema Aquífero Urucuia: Caracterização regional e propostas de gestão. Tese de doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 2006.

HANCOCK, P.J. Human Impacts on the Stream–Groundwater Exchange Zone. *Environmental Management*, v. 29, n. 6, p. 763-781, 2002.

HIRATA, R.; ZOBBI, J.; OLIVEIRA, F. Águas subterrâneas: reserva estratégica ou emergencial. In: Bicudo, C.; Tundisi, J.; Scheuenstuhl, M. (Org.) *Águas do Brasil: análises estratégicas*. 1. Ed. São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 144-164, 2010.

IDARTO; NOVITA, E.; WAHYUNINGSIH, S. Preliminary Study on Baseflow Separation at Watersheds in East Java Regions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, v. 9, p. 538-550, 2016.

INEMA a – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia. Comitê de Bacia Hidrográfica Itapicuru. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

INEMA b – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia. Nota Técnica nº 37/2018, referentes aos Usuários de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Itapicuru. Núcleo de Outorga da Diretoria de Regulação do INEMA (NOUT/DIRRE). 2018.

KARMANN, I.; TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: *Decifrando a terra* [S.l: s.n.], 2000.

MADUREIRA FILHO, J.B.; ATENCIO, D.; MCREATH, I.; et al. Minerais e rochas: constituintes da terra sólida. In: *Decifrando a terra* [S.l: s.n.], 2000.

MANZIONE, R.L. Águas Subterrâneas: Conceitos e aplicações sob uma visão multidisciplinar. Edição 1. Paco Editorial, 2015. 388 p.

MATHER, J.D.; TORRENS, H.S.; LUCAS, K.J. Joseph Lucas (1846-1927) – Victorian polymath and a key figure in the development of British hydrogeology. In: 200 Years of British Hydrogeology, Geological Society of London, v. 225, 2004.

MESTRINHO, S.S.P.; LUZ, J.A.G. Análise exploratória espacial e temporal dos dados de poços tubulares da bacia do Rio Itapicuru, Bahia. In Anais: XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004, Cuiabá. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23319/15411>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

MONTEIRO FILHO, Manual Técnico de Pedologia. 2 ed. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 2007. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

RICHTER, B.; BAUMGARTNER, J.V., BRAUN D.P.; POWELL, J. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. Regul. Rivers: Res. Mgmt., v. 14, p. 329-340, 1998.

RISSER, D.W.; GBUREK, W.J.; FOLMAR, G.J. Comparison of recharge estimates at a small watershed in east-central Pennsylvania, USA. Hydrogeology Journal, v. 17, p. 287-298, 2009.

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. CPRM – Serviço Geológico Brasileiro. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>>. Acesso em: 09 jan. 2018.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2007.

SLOTO, R.A.; CROUSE, M.Y. HYSEP: a computer program for stream flow hydrograph separation and analysis. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigation Report, Reston, Virginia, 96-4040, 46 pp. 1996.

SOPHOCLEOUS, M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrology Journal, v. 10, p. 52-67, 2002.

TODD, D.K. Hidrologia de Águas Subterrâneas. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1967. 319 p.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2007. 943 p.

WINTER, T.C.; HARVEY, J.W.; FRANKE, O.L.; ALLEY, W.M. Ground Water and Surface Water A Single Resource. U.S. Geological Survey, Circular 1139, Denver, Colorado, 1998.

APÊNDICES

Dem. Superficial (m³)	Dem. Remanescente (m³)	Dem. Subterrânea (m³)	BH subt. (m³)	BH superf. (m³)	SITUAÇÃO	BH total (m³)
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	23,823,908.13	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	71,208,374.40	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	75,154,203.87	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	80,002,121.81	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	70,628,065.71	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	26,854,388.13	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	53,942,544.00	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	43,285,285.16	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	54,963,244.80	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	164,955,019.35	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	163,909,440.00	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	92,267,136.00	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	37,774,316.90	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	12,544,430.40	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	19,793,752.26	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	4,512,142.45	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	25,261,572.41	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	12,381,189.68	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	5,727,168.00	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	2,982,876.39	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	674,611.20	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	1,314,199.74	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-767,608.26	Tirou da reserva	11,189,611.74
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-223,113.60	Tirou da reserva	11,734,106.40
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	94,130,194.06	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	24,560,942.40	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	58,112,110.45	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	36,442,265.81	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	53,023,988.57	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	13,669,037.42	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	10,353,700.80	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	32,391,708.39	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	47,872,800.00	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	57,668,376.77	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	20,586,012.39	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	15,344,769.60	Não tirou da base	Não tirou da reserva

V incremental (m³)	Q incremental (m³/s)	Q total (m³/s)	% Qinc/Qt	%reserva exp. utilizada	Q exp. utilizada (m³/s)
23,823,908.13	9.04	10.64	84.96		
71,208,374.40	27.02	28.62	94.41		
75,154,203.87	28.52	30.12	94.69		
80,002,121.81	30.36	31.96	94.99		
70,628,065.71	26.80	28.40	94.37		
26,854,388.13	10.19	11.79	86.43		
53,942,544.00	20.47	22.07	92.75		
43,285,285.16	16.43	18.03	91.12		
54,963,244.80	20.86	22.46	92.88		
164,955,019.35	62.60	64.20	97.51		
163,909,440.00	62.20	63.80	97.49		
92,267,136.00	35.01	36.61	95.63		
37,774,316.90	14.33	15.93	89.96		
12,544,430.40	4.76	6.36	74.84		
19,793,752.26	7.51	9.11	82.44		
4,512,142.45	1.71	3.31	51.69		
25,261,572.41	9.59	11.19	85.70		
12,381,189.68	4.70	6.30	74.60		
5,727,168.00	2.17	3.77	57.60		
2,982,876.39	1.13	2.73	41.43		
674,611.20	0.26	1.86	13.79		
1,314,199.74	0.50	2.10	23.76		
0.00	0.00	1.31	0.00	41.02	2.95
0.00	0.00	1.52	0.00	38.16	2.75
94,130,194.06	35.72	37.32	95.71		
24,560,942.40	9.32	10.92	85.35		
58,112,110.45	22.05	23.65	93.24		
36,442,265.81	13.83	15.43	89.63		
53,023,988.57	20.12	21.72	92.63		
13,669,037.42	5.19	6.79	76.43		
10,353,700.80	3.93	5.53	71.06		
32,391,708.39	12.29	13.89	88.48		
47,872,800.00	18.17	19.77	91.91		
57,668,376.77	21.88	23.48	93.19		
20,586,012.39	7.81	9.41	83.00		
15,344,769.60	5.82	7.42	78.45		
MÉDIA	15.90				
DESVIO	15.24				

Balço hídrico período recente seco (2012-2014)

Período	Q superficial (m³/s)	Q base (m³/s)	V superficial (m³)	V base (m³)	Recarga da chuva (m³)	Reserva explotável (m³)	Reserva resultante (m³)
10/01/2011	0.09	0.08	246,433.70	207,330.74	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
11/01/2011	6.65	0.18	17,522,323.20	462,038.40	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
12/01/2011	1.03	0.23	2,703,001.15	608,034.15	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
01/01/2012	0.00	0.01	0.00	21,251.61	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
02/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
03/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
04/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
05/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
06/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
07/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
08/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
09/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
10/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
11/01/2012	0.32	0.76	834,480.00	1,999,853.28	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
12/01/2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
01/01/2013	10.06	0.92	26,521,162.84	2,433,819.72	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
02/01/2013	0.00	0.01	0.00	37,081.03	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
03/01/2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
04/01/2013	0.00	0.06	0.00	161,625.60	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
05/01/2013	0.00	0.00	0.00	11,900.90	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
06/01/2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
07/01/2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
08/01/2013	6.50	5.58	17,132,965.32	14,691,495.02	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
09/01/2013	0.25	1.12	671,817.89	2,947,682.02	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
10/01/2013	0.44	0.37	1,168,899.43	980,670.86	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
11/01/2013	0.00	0.28	0.00	730,653.12	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
12/01/2013	9.85	1.24	25,964,370.58	3,259,997.42	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
01/01/2014	0.00	0.44	0.00	1,150,392.31	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
02/01/2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
03/01/2014	0.00	0.06	0.00	150,036.39	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
04/01/2014	14.17	3.22	37,352,203.20	8,490,614.40	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
05/01/2014	6.15	4.49	16,195,344.15	11,830,177.86	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
06/01/2014	0.75	1.54	1,969,109.28	4,053,543.70	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
07/01/2014	5.53	3.77	14,584,386.89	9,945,754.84	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
08/01/2014	10.47	5.56	27,578,473.08	14,657,662.45	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
09/01/2014	0.57	1.63	1,507,070.88	4,306,900.61	0.00	18,973,440.00	11,957,220.00
Rexplot. (m³/s)	7.2						
Q90 (m³/s)	1.60						
Qpot.ret. (m³/s)	7.10						
BH total	O que sobrou na reserva						

Dem. Superficial (m³)	Dem. Remanescente (m³)	Dem. Subterrânea (m³)	BH subt. (m³)	BH superf. (m³)	SITUAÇÃO	BH total (m³)
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-3,762,555.56	Tirou da reserva	8,194,664.44
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	13,768,041.60	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-905,284.71	Tirou da reserva	11,051,935.29
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,195,068.39	Tirou da reserva	7,762,151.61
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-1,381,986.72	Tirou da reserva	10,575,233.28
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	24,738,662.55	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,179,238.97	Tirou da reserva	7,777,981.03
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,054,694.40	Tirou da reserva	7,902,525.60
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,204,419.10	Tirou da reserva	7,752,800.90
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	27,608,140.34	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-596,820.10	Tirou da reserva	11,360,399.90
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-2,066,749.71	Tirou da reserva	9,890,470.29
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-3,485,666.88	Tirou da reserva	8,471,553.12
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	25,008,048.00	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-3,065,927.69	Tirou da reserva	8,891,292.31
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,216,320.00	Tirou da reserva	7,740,900.00
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	-4,066,283.61	Tirou da reserva	7,890,936.39
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	41,626,497.60	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	23,809,202.01	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	1,806,332.98	Tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	20,313,821.73	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	38,019,815.54	Não tirou da base	Não tirou da reserva
3,373,056.00	843,264.00	7,016,220.00	11,957,220.00	1,597,651.49	Tirou da base	Não tirou da reserva

V incremental (m³)	Q incremental (m³/s)	Q total (m³/s)	% Qinc/Qt	%reserva exp. utilizada	Q exp. utilizada (m³/s)
0.00	0.00	0.17	0.00	56.81	4.09
13,768,041.60	5.22	6.82	76.56		
0.00	0.00	1.26	0.00	41.75	3.01
0.00	0.00	0.01	0.00	59.09	4.25
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	1.08	0.00	44.26	3.19
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
24,738,662.55	9.39	10.99	85.44		
0.00	0.00	0.01	0.00	59.01	4.25
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.06	0.00	58.35	4.20
0.00	0.00	0.00	0.00	59.14	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
27,608,140.34	10.48	12.08	86.75		
0.00	0.00	1.37	0.00	40.12	2.89
0.00	0.00	0.82	0.00	47.87	3.45
0.00	0.00	0.28	0.00	55.35	3.99
25,008,048.00	9.49	11.09	85.57		
0.00	0.00	0.44	0.00	53.14	3.83
0.00	0.00	0.00		59.20	4.26
0.00	0.00	0.06	0.00	58.41	4.21
41,626,497.60	15.80	17.40	90.80		
23,809,202.01	9.04	10.64	84.96		
1,806,332.98	0.69	2.29	29.99		
20,313,821.73	7.71	9.31	82.81		
38,019,815.54	14.43	16.03	90.02		
1,597,651.49	0.61	2.21	27.48		
MÉDIA	2.30				
DESVIO	4.49				