

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BALANÇO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO – BA

RODOLFO NOVAIS NOGUEIRA

**BARREIRAS-BA
OUTUBRO-2017**

RODOLFO NOVAIS NOGUEIRA

BALANÇO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO – BA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral

BARREIRAS-BA

OUTUBRO-2017

Universidade Federal do Oeste da Bahia - Bibliotecas UFOB

N935 Nogueira, Rodolfo Novais.
Balço hídrico na bacia hidrográfrica do Rio de Janeiro –Ba/Rodolfo Novais
Nogueira. – Barreiras- Ba, 2017.

47f.: il. color.; 29,7 cm.

Impresso.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil (bacharelado) – Universidade Federal do Oeste Bahia, Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, 2017.

1. Bacia hidrográfrica. 2 . Rio de Janeiro – Região Oeste/ Ba. 3. balanço hídrico. I. Amaral, Luís Gustavo Henriques do. II. Título.

CDD – 551.483

RODOLFO NOVAIS NOGUEIRA

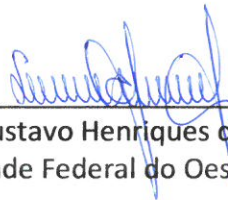
BALANÇO HÍDRICO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DE JANEIRO – BA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

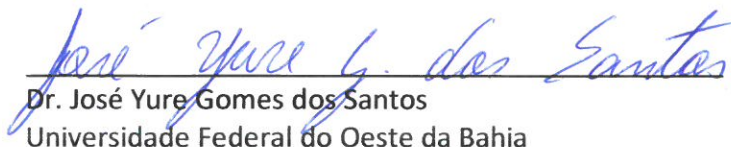
Aprovada em 04 de outubro de 2017.

Banca Examinadora

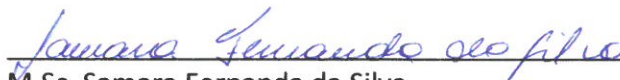
Orientador:



Dr. Luís Gustavo Henriques do Amaral
Universidade Federal do Oeste da Bahia



Dr. José Yure Gomes dos Santos
Universidade Federal do Oeste da Bahia



M.Sc. Samara Fernanda da Silva
Universidade Federal do Oeste da Bahia

*Aos meus pais, Fenelon Leite e Líbia Novais
por todo carinho e compreensão*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me acompanhar, passo a passo, ao longo de toda essa jornada, me dando sabedoria e forças e me guiando sempre para seguir o melhor caminho.

Aos meus amados pais, Fenelon Leite Nogueira e Líbia Maria Novais Nogueira, por tudo que tem me proporcionado nessa vida. Pelo amor, carinho e dedicação que foram essenciais para seguir todo esse percurso e enfrentar todas as dificuldades encontradas até chegar aqui. Vocês são o motivo de tudo! Obrigado pai e mãe, tenham certeza que reconheço tudo que me proporcionaram e continuam me proporcionando. Sem vocês eu não teria conseguido chegar em lugar nenhum.

Agradeço ao meu irmão que, apesar de todos os atritos, sempre esteve comigo em todas as horas que precisei e estarei com ele sempre.

Agradecimento carinhoso a Pamela, por todo carinho, amor e paciência. Obrigado por entender todas as vezes que precisei me ausentar em prol do meu estudo.

A minha família e amigos que estiveram presentes e contribuíram de alguma forma para o sucesso desse trabalho. Obrigado por estarem sempre dispostos a me ajudarem quando precisei e por compreenderem a minha ausência na luta diária.

A todos os amigos e colegas que a UFOB me proporcionou, em especial aos amigos, Rafael, Ícaro, PH (Pedro Henrique), Netinho (José Guedes) Danillo, Michael, Sharingan (Lucas Ribeiro), Pedro Itacarambi, Otávio, Tácio e Vitor, pelos momentos de felicidade e alegria. Sem dúvidas vocês contribuíram bastante ao longo dessa jornada.

A Henrique Vasconcelos, pelo incentivo e vontade de ajudar todas as vezes que precisei.

Ao meu orientador, Luís Gustavo Henriques do Amaral, por todo o empenho e disponibilidade demonstrado ao longo do processo de elaboração desse trabalho. Pelos conselhos que deu e sugestões que fez em relação a elaboração do presente trabalho.

Agradeço ao monitor Edimar Dias, por todo apoio e auxílio na utilização do software de geoprocessamento e geração dos produtos. Ao professor José Yure, pelo apoio, sugestões e auxílios fornecidos durante a elaboração do presente trabalho.

A empresa Construtiva Brasil pela oportunidade de aperfeiçoamento, na prática, de tudo que aprendi em sala de aula ao logo dessa minha jornada. Em Especial ao

engenheiro Daniel Cesar e ao mestre de obras Wilmar Fernandes. Obrigado por todos os conselhos e ensinamentos.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

Sub-bacia do rio Grande, a bacia hidrográfica do rio de Janeiro localiza-se no extremo oeste do estado da Bahia e possui papel representativo em termos turísticos e econômicos na região. Motivada pela implantação de projetos de modernização da agricultura no estado, nas décadas de 1980 e 1990, a expansão agropecuária mudou totalmente a forma de ocupação do solo. Essas modificações podem causar alterações significativas no regime hídrico da bacia. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi caracterizar o balanço hídrico da bacia do rio de Janeiro. Para tanto, foi realizada a caracterização fisiográfica da bacia, a análise e tratamento de dados de precipitação e vazão e, além disso, obteve-se as variáveis anuais do balanço hídrico para a região. A bacia, em geral, possui uma forma alongada o que a torna pouco susceptível a inundações, apresenta uma rede de drenagem de ordem três e uma má densidade de drenagem. O relevo apresenta uma variação altimétrica de 442 m com uma declividade variando de 0 a 98%. Observou-se que a vazão diminuiu 14,3% e a precipitação no mesmo período diminuiu 24,1%. Dessa forma, verifica-se que, apesar de não ocorrer de forma proporcional, a redução na vazão do rio de Janeiro está relacionada com a redução nos totais precipitados na bacia.

Palavras-chave: precipitação; vazão; coeficiente de escoamento; análise fisiográfica; alterações hidrológicas.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Bacia do rio Grande e bacia do rio de Janeiro: uso e ocupação do solo	12
2.2 Bacia hidrográfica: definição, formas de delimitação e características	16
2.3 Ciclo hidrológico.....	18
2.3.1 Escoamento em uma bacia e fatores intervenientes	19
2.4 Alterações no uso do solo e sua influência sobre o ciclo hidrológico	22
2.5 Alterações no regime de precipitações e mudanças climáticas	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Delimitação da bacia hidrográfica do rio de Janeiro	25
3.2 Caracterização fisiográfica da Bacia do rio de Janeiro.....	26
3.3 Obtenção dos dados hidrológicos – precipitação e vazão.....	26
3.4 Quantificação das variáveis do balanço hídrico.....	28
3.5 Análise do comportamento das variáveis hidrológicas	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 Caracterização fisiográfica	30
4.2 Precipitação na bacia hidrográfica do rio de Janeiro.....	34
4.3 Vazão na bacia hidrográfica do rio de Janeiro	37
4.4 Balanço hídrico.....	38
5. CONCLUSÃO	42
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Municípios da região Oeste da Bahia.	13
Figura 2 – Localização da Bacia do rio Grande em relação à Bacia do rio São Francisco ...	14
Figura 3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio de Janeiro.	15
Figura 4 – Representação esquemática dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.	19
Figura 5 - Mapa de localização das estações pluviométricas e fluviométricas selecionadas.	27
Figura 6 – Mapa de ordem dos cursos d’água.	32
Figura 7 – Mapa altimétrico da bacia do rio de Janeiro.	33
Figura 8 – Mapa de declividade da bacia do rio de Janeiro.	34
Figura 9 – Área de contribuição das estações pluviométricas.	35
Figura 10 – Precipitação média mensal na bacia no período de 1977 a 2006.	36
Figura 11 – Precipitação total anual na bacia do rio de Janeiro e nas estações selecionadas para os anos hidrológicos de 1977/1978 a 2005/2006.	37
Figura 12 – Variação da vazão média mensal na bacia do rio de Janeiro e nas estações selecionadas, no período de 1977 a 2006.	38
Figura 13 – Comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo da bacia do rio de Janeiro para o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações pluviométricas com séries históricas de no mínimo 30 anos de dados.	27
Tabela 2 – Estações fluviométricas com séries históricas de no mínimo 30 anos de dados	28
Tabela 3 – Características fisiográficas da bacia do rio de Janeiro.	30
Tabela 4 – Valores de coeficiente de compacidade e fator de forma apresentados em outras bacias hidrográficas.....	31
Tabela 5 – Classificação dos valores de densidade de drenagem.....	32
Tabela 6 – Valores anuais do balanço hídrico para o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006.	39

1. INTRODUÇÃO

As preocupações com o uso da água aumentam a cada dia, uma vez que a demanda por água cresce à medida que a população aumenta, e as aspirações dos indivíduos aumentam. Por outro lado, enquanto as demandas crescem, o volume de água doce na superfície da terra é relativamente fixo, motivo pelo qual certas regiões pelo mundo já enfrentam situações de escassez. O Brasil ostenta o ranking dos países mais ricos em água, embora existam problemas diversos relacionados à qualidade da água e à distribuição espacial e temporal (COLLISCHONN & DORNELLES, 2015).

No Nordeste do Brasil, a região Oeste do Estado da Bahia se destaca pela disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Segundo Moreira e Silva (2010), a bacia hidrográfica do rio Grande, localizada nessa região, é a segunda bacia em importância para a formação das vazões do rio São Francisco. Conforme Gaspar (2007), o Sistema Aquífero Urucuia, principal manancial subterrâneo da Região Oeste da Bahia, tem grande importância pela sua função de regulador das vazões dos afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco.

O processo de expansão agropecuária na Região Oeste da Bahia se deu nas décadas de 1980 e 1990, transformando a região na principal fronteira agrícola do Estado, que se tornou um grande produtor nacional de soja, milho, algodão, café e frutas (MENDONÇA, 2006). Essa expansão acarretou profundas mudanças no uso e na ocupação do solo na bacia do rio Grande, ocasionando uma intensa exploração dos recursos hídricos (RODRIGUES, 2013).

Para Rocha (2010), é reconhecido que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana e a utilização da água do lençol freático para abastecimento e irrigação, entre outras intervenções do homem no meio ambiente, somados geram um efeito cumulativo e contribuem para alterações no ciclo hidrológico e, conseqüentemente, no regime hidrológico dos rios.

A supressão do cerrado para implantação das lavouras e a crescente utilização de sistemas de captação de água superficial e subterrânea para irrigação dos cultivos têm gerado diversos questionamentos acerca do impacto dessas intervenções sobre as vazões dos rios que formam a bacia do rio Grande.

Na bacia do rio Grande, a sub-bacia do rio de Janeiro tem significativa importância turística e econômica. Segundo Brandolff (2016), essa sub-bacia foi a única dentre as

pertencentes à bacia do rio Grande que apresentou, nos últimos anos, aumento na variabilidade anual das vazões médias. Santos (2017) identificou alterações importantes no regime de vazões do rio de Janeiro a partir da década de 1990, principalmente nas vazões mínimas, e concluiu que essas alterações podem estar relacionadas ao uso e ocupação do solo na bacia. Contudo, a autora não avaliou o comportamento da precipitação no mesmo período, havendo necessidade de se verificar se também há alterações no regime de precipitação na bacia, de modo que se possa entender com mais clareza quais elementos influenciaram nessas alterações de vazão.

Dessa forma, este trabalho foi desenvolvido para testar a hipótese de que as alterações no regime de vazões do rio de Janeiro estão relacionadas com prováveis alterações no regime de precipitação na bacia.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho é caracterizar o regime hidrológico da bacia do rio de Janeiro – Bahia. Os objetivos específicos são: (i) caracterizar fisiograficamente a bacia hidrográfica em estudo; (ii) quantificar as variáveis do balanço hídrico; e (iii) analisar o comportamento dessas variáveis no tempo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

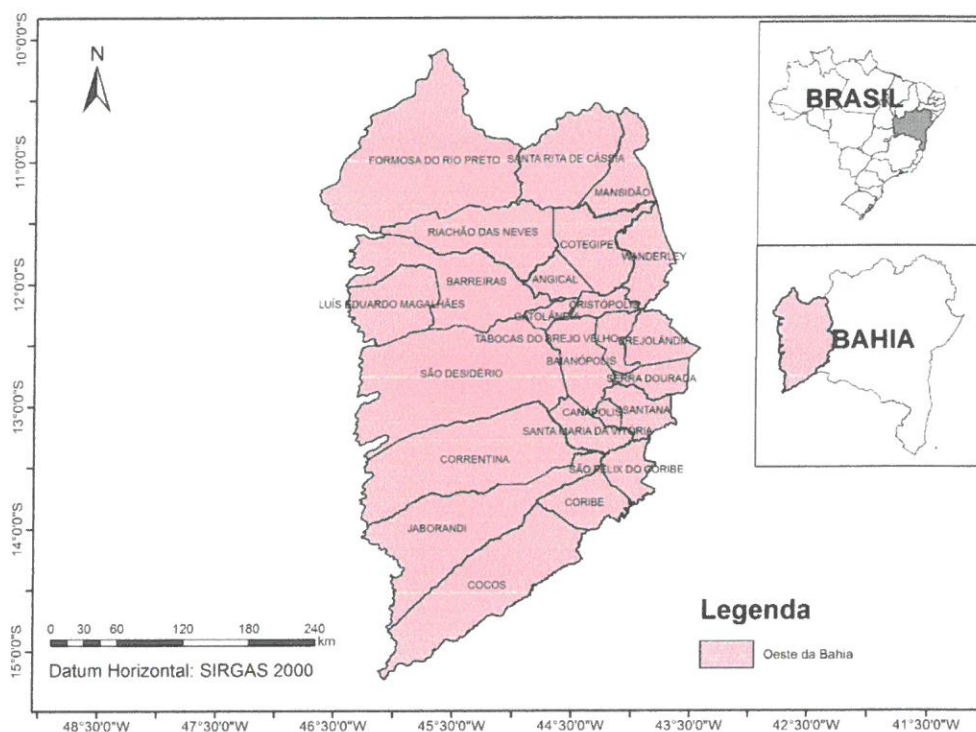
2.1 Bacia do rio Grande e bacia do rio de Janeiro: uso e ocupação do solo

O estado da Bahia é dividido em 15 regiões econômicas. Dentre elas, o Oeste se destaca por apresentar papel significativo na economia do país e por ocupar cerca de 20% de todo o território do estado. De acordo com a UPB – União dos Municípios da Bahia (2016), com pouco mais de um terço de toda a riqueza agrícola da Bahia concentrado na região Oeste, ela representa uma das que mais crescem e desenvolvem a economia do estado. Em porcentagem, 34,2% do PIB (produto interno bruto) agrícola do estado é gerado no Extremo Oeste Baiano, principalmente por meio das culturas de soja, algodão e milho.

Essa Região é composta pelos municípios de Angical, Baianópolis, Barreiras, Brejolândia, Canápolis, Catolândia, Cocos, Coribe, Correntina, Cotegipe, Cristópolis, Formosa do rio Preto, Jaborandi, Luís Eduardo Magalhães, Mansidão, Riachão das Neves,

Santa Maria da Vitória, Santa Rita de Cássia, Santana, São Desidério, São Feliz do Coribe, Serra Dourada, Tabocas do Brejo Velho e Wanderley (Figura 1). O Oeste, segundo Reis (2014), possui uma distinção e destaque de alguns municípios quando comparados aos demais no quesito produtividade. Levando em consideração o critério de maior produção da moderna agricultura criou-se a denominação de região agroexportadora do Oeste Baiano, composta pelos municípios de Barreiras, Correntina, Formosa do rio Preto, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, configurando-se, assim, no conjunto dos principais municípios agroexportadores do agronegócio de grãos na Bahia.

Figura 1 – Municípios da região Oeste da Bahia.



Fonte: Própria.

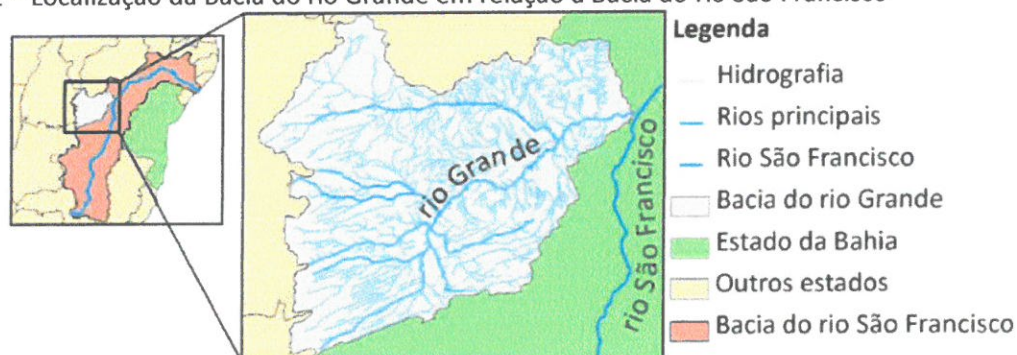
Todo esse progresso teve início, conforme Reis (2014), a partir da implantação do projeto de modernização da agricultura na Bahia, nos finais da década de 1970 e início da década de 1980 do século XX, acarretando uma acelerada expansão e ocupação das terras da região Oeste do estado. Nos anos 70, a participação do Estado teve grande relevância, por meio da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco), da SUDENE/FINOR (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Fundo

de Investimentos do Nordeste) e de programas como PRODECER (Programa de Desenvolvimento dos Cerrados) (ALVES, 1999). Deu-se então início ao processo de expansão das fronteiras agrícolas e introdução da cultura do grão na região.

Arelado a todo esse desenvolvimento e expansão agropecuária ocorreram profundas modificações no que se refere ao uso e ocupação do solo.

Conforme Moreira e Silva (2010), A bacia do rio Grande (Figura 2) ostenta a segunda posição no ranking de importância na contribuição das vazões do rio São Francisco e possui um relevo favorável para a agricultura, o que evidencia seu grande papel para o crescimento hidroenergético, responsável pelo rápido crescimento agrícola do Oeste Baiano. Hoje, a região é a fatia com maior expressividade no agronegócio da Bahia, com matriz produtiva diversificada, tecnologia e qualidade (ALMEIDA & MOREIRA, 2014).

Figura 2 – Localização da Bacia do rio Grande em relação à Bacia do rio São Francisco

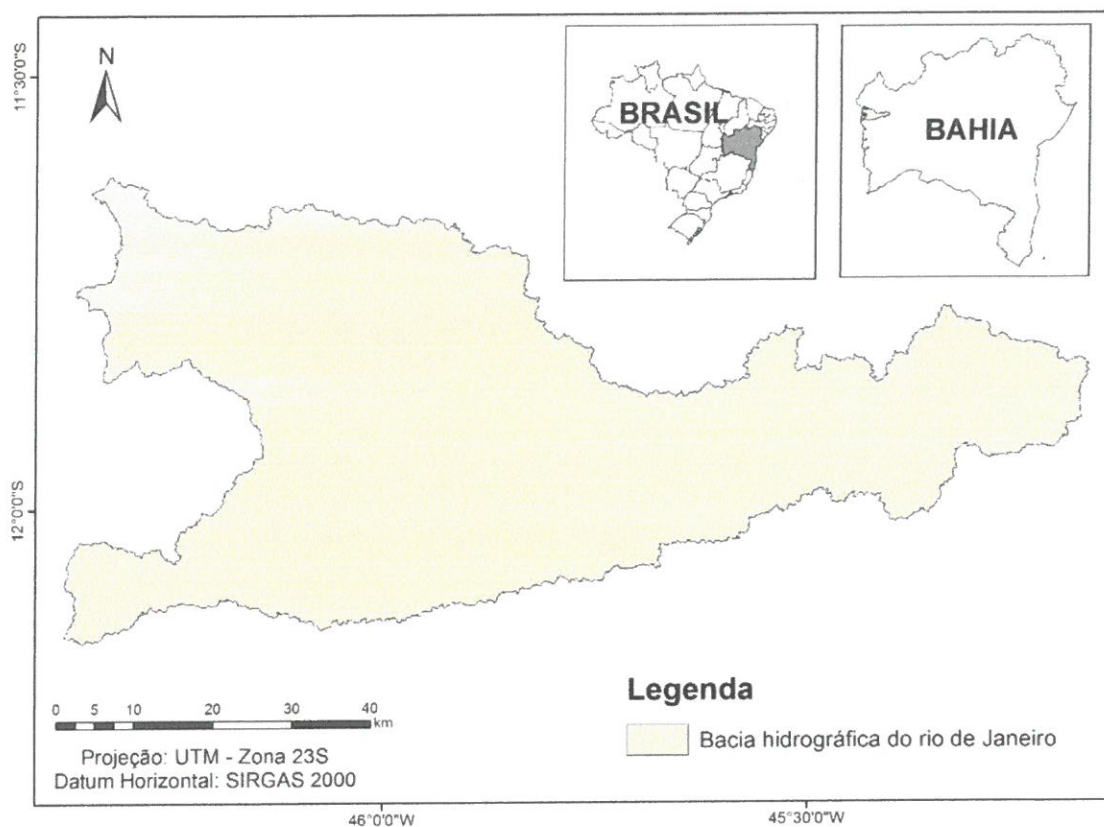


Fonte: ALMEIDA & MOREIRA, 2014.

Nesse cenário temos como sub-bacia de grande importância, em termos econômicos e turísticos da região, a bacia do rio de Janeiro. Com área de aproximadamente 3.813,53 km², está localizada entre os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, sendo sub-bacia hidrográfica da bacia do rio Branco, afluente do rio Grande. Segundo Brandolff (2016) a sub-bacia do rio de Janeiro foi a única dentre as que pertence à bacia do rio Grande- que apresentou, nos últimos anos, aumento da variabilidade anual das vazões médias.

A bacia do rio de Janeiro localiza-se na região do extremo oeste da Bahia e distribui-se entre os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães. Possui extensão territorial compreendida entre as coordenadas 11°30'0''S e 12°30'0''S e 45°0'0''W e 46°30'0''W, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio de Janeiro.



Fonte: Própria.

A sub-bacia em questão apresenta como curso principal de sua rede hidrográfica o rio de Janeiro, que nasce próximo a Serra dos Gerais, divisa entre os Estados da Bahia e do Tocantins. Tendo como principais afluentes o rio Limpo, o riacho do Entrudo, o rio Sanguessuga, o rio de Balsas, o rio dos Cachorros/Ponta D'água, o rio Galho do Gentil e o córrego Balsinha (CRA, 2002 *apud* SANTOS, 2017).

É importante ressaltar que a bacia do rio de Janeiro possui em grande parte de sua extensão uma APA (Área de Preservação Ambiental) criada pelo Governo do Estado da Bahia em 1993, por meio do decreto Estadual nº 2.185, e ampliada por meio do Decreto Estadual nº 7.971 de 2001. Possuindo 351.300 ha, abrange os municípios de Barreiras e Luís Eduardo Magalhães, estendendo-se ao longo do rio de Janeiro. A APA do rio de Janeiro visa garantir a qualidade ambiental do ecossistema cerrado, protegendo a bacia do rio de Janeiro, por meio de compartilhamentos dos seus usos e a ocupação do território com base nas suas características ambientais.

2.2 Bacia hidrográfica: definição, formas de delimitação e características

Segundo Tucci (1997), bacia hidrográfica é uma área natural de captação de água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída, formada por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem composta por cursos de água que confluem até resultar em um único leito no seu exutório. Para Collischonn e Dornelles (2015) uma bacia hidrográfica é definida por um curso de água, um ponto ou seção transversal desse curso de água, que pode ser chamado de exutório, e por informações de relevo. E é por meio das informações de relevo que é possível identificar os divisores de água.

Os divisores de águas são caracterizado por ser o local onde a área de uma bacia se separa da área das demais. É a linha de separação que divide as precipitações que incidem em bacias vizinhas e o escoamento superficial resultante para um ou outro sistema fluvial (VILLELA & MATTOS, 1975). Com isso, somente depois do conhecimento de todos os pontos divisores de água de uma bacia é que se torna possível a sua delimitação.

Os processos de delimitação de bacias hidrográficas podem ser manuais ou computadorizados. Quando se utilizam computadores, o relevo é representado de uma forma digital ou numérica. De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), existem três formas principais de representar o relevo em um computador. A primeira forma consiste na reprodução do relevo utilizando-se linhas digitalizadas representando as curvas de nível. Outra forma é representar o relevo por meio de faces triangulares inclinadas formadas a partir de três pontos conhecidos. E a terceira forma de armazenar dados topográficos, denominada MDE (Modelo Digital de Elevação), consiste em se obter uma grade ou matriz em que cada elemento contém um valor que corresponde à altitude local.

Existem diversas maneiras de se obter dados para a elaboração de um MDE, podendo ser: a partir da digitalização e interpolação de mapas em papel, em levantamentos topográficos de campo, por meio de dados altimétricos adquiridos de GPS ou por meio de sensores remotos fixados em aviões ou satélites (MARTINS, 2010). De todas as maneiras, o que se busca é automatizar o processo visando uma maior eficiência e confiabilidade na obtenção dos dados e das características das bacias.

As características de uma bacia hidrográfica são elementos muito importantes para o seu comportamento hidrológico. Segundo Villela e Mattos (1975), existe uma estreita

correspondência entre o regime hidrológico de uma bacia e suas características físicas, sendo, portanto de grande utilidade prática o conhecimento destes elementos, os quais serão descritos a seguir:

- **Área da bacia hidrográfica:** é a característica fundamental para definir a potencialidade de uma bacia. Para Villela e Mattos (1975) é a área plana de uma bacia (projeção horizontal) compreendida entre os seus divisores topográficos, sendo esta característica o elemento básico para o cálculo das outras características físicas;
- **Perímetro da bacia:** é compreendido como o comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas da bacia (TONELLO, 2005).
- **Declividade:** A declividade dos terrenos de uma bacia é responsável pelo controle de boa parte da velocidade que se dá o escoamento superficial, interferindo, portanto, no tempo que a água da chuva leva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias. Influencia diretamente na magnitude dos picos de enchente, na maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos, entre outros aspectos (VILLELA & MATOS, 1975).
- **Amplitude altimétrica:** é a diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo de uma bacia;
- **Forma da Bacia:** a forma da bacia é a característica que visa relacionar a resposta que a bacia dar à determinada chuva com o seu formato. Segundo Collischonn e Dornelles (2015), caso todos os demais fatores que influenciam no comportamento de uma bacia fossem iguais (solos, geologia, declividade, etc), as bacias que possuem um formato mais alongado teriam respostas mais lentas às chuvas do que bacias de formato menos alongado. Assim como, bacias com o formato mais circular tenderiam a causar uma natural concentração temporal do escoamento superficial, pois a tendência é que os escoamentos de grande número de afluentes cheguem mais ou menos ao mesmo tempo no exutório;
- **Densidade de Drenagem:** é a divisão entre a soma dos comprimentos de todos os cursos d'água contidos dentro de uma bacia e área da bacia;

- **Ordem dos cursos de água:** é a classificação hierárquica da rede de drenagem de uma bacia, em que segundo Strahler (1957 apud Cardoso et al., 2006), canais sem atributos são classificados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam a partir da confluência de dois ou mais canais de primeira ordem. Sendo os de terceira ordem os canais que se originam da confluência de dois ou mais canais de segunda ordem, podendo receber também canais de primeira ordem, e assim sucessivamente.
- **Coefficiente de compactidade:** é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia;
- **Fator de forma:** o fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Segundo Villela e Mattos (1975), o fator de forma é uma outra característica importante para definir a menor ou maior tendência para enchentes de uma bacia. Uma bacia com baixo fator de forma é menos susceptível a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma;
- **Tempo de concentração:** é definido como o tempo de viagem da gota de água da chuva que atinge o ponto mais remoto da bacia, desde o início do seu escoamento, até o momento que atinge o seu exutório. Conforme Collischonn e Dornelles (2015), embora possa ser medido através de métodos baseados em traçadores radioativos ou químicos, o tempo de concentração é comumente estimado a partir da análise de características geomorfológicas da bacia hidrográfica.

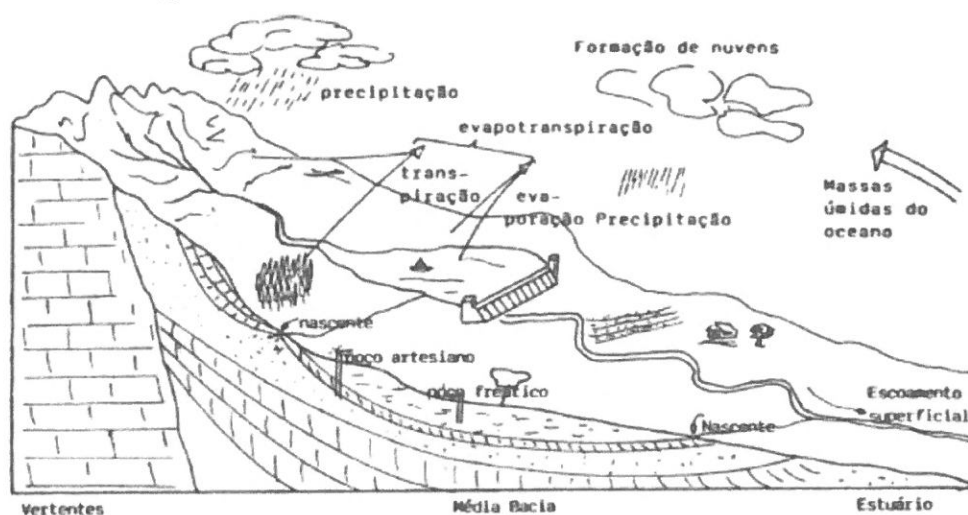
2.3 Ciclo hidrológico

A energia solar é fator fundamental no acionamento do ciclo da água. É por meio dessa energia que ocorre o processo de evaporação da superfície do mar e da superfície terrestre. Essa água evaporada, que entra no sistema de circulação geral da atmosfera, possibilita a ocorrência do processo de precipitação (TUCCI, 2003).

Segundo Lima (2008), o ciclo hidrológico não possui início nem fim. A água dos oceanos e da superfície continental evapora-se e se torna parte da atmosfera. Por sua vez, a umidade atmosférica precipita-se tanto nos oceanos como nos continentes. Nesses,

a água precipitada pode ser interceptada pela vegetação, escoar pela superfície dos terrenos ou infiltrar-se no solo, de onde pode ser também absorvida pelas plantas, formando assim todo um ciclo que envolve vários processos hidrológicos: evaporação, precipitação, interceptação, transpiração, infiltração, percolação, escoamento superficial, etc, como pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.



Fonte: LIMA, 2008.

2.3.1 Escoamento em uma bacia e fatores intervenientes

O escoamento em uma bacia pode ser classificado em superficial, subsuperficial e subterrâneo. O escoamento superficial representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais. Já o escoamento subsuperficial é definido como sendo o fluxo que se dá junto às raízes da cobertura vegetal. Por fim, o escoamento subterrâneo é o fluxo devido à contribuição do aquífero. Em geral, o escoamento subsuperficial é desconsiderado por apresentar pouca relevância quantitativa em relação aos demais, sendo o seu valor acrescido ao escoamento superficial ou subterrâneo (TUCCI, 1993).

O escoamento subterrâneo é um parâmetro de difícil estimativa. A aplicação de diferentes métodos conduz a valores diversos (DOMENICO & SCHWARTZ, 1990). Entretanto, possui um papel fundamental no regime de vazões de um rio, principalmente nas vazões mínimas, pois é o que garante a vazão no rio durante o período de estiagem.

Segundo Monte-Mor (2012), o escoamento superficial está diretamente relacionado com as precipitações atmosféricas, podendo ser imediato ou ocorrer apenas depois de algum tempo do início da precipitação. Neste caso, corresponde ao atraso do tempo necessário para a saturação do terreno.

Existem diversos fatores que influenciam no escoamento superficial. Dentre eles, a quantidade, a intensidade e a duração da precipitação, a cobertura e as condições de uso do solo, a evapotranspiração, a área, forma e declividade da bacia, as condições superficiais, o tipo de solo, a topografia, as redes de drenagem e as obras hidráulicas presentes na bacia, entre outros.

Em geral, o escoamento superficial de uma bacia, que se deseja conhecer, é fruto da chuva precipitada em toda a sua área de influência, capaz ou não de produzir enchente no seu curso d'água. Para determinação desse escoamento existe diversos métodos, como o método racional, o método do hidrograma unitário, o método do hidrograma sintético, etc. (BARBOSA JÚNIOR, 2016).

As vazões em uma bacia hidrográfica resultam de uma complexa interação entre os diversos processos de armazenamento e transporte do ciclo hidrológico. A ocorrência de precipitação sobre uma bacia está diretamente relacionada com a capacidade de infiltração do solo. Com o aumento do conteúdo de água no solo e, conseqüentemente, o decréscimo da sua capacidade de infiltração, ocorre a concentração do excesso de água em depressões do terreno. Com a continuidade da chuva, o excesso de água, em relação a capacidade máxima de armazenamento em depressões, tende a escoar em forma de lâminas de escoamento superficial em direção aos pontos de menores elevações do terreno. Tal escoamento superficial, resultado da chamada precipitação efetiva sobre a bacia, é o que possui maior velocidade de transporte entre todos os elementos que compõem as vazões nos cursos d'águas (HELLER & PÁDUA, 2006).

A alteração da precipitação apresenta impactos diferenciados em relação à vazão da bacia hidrográfica. Tucci (2002), investigando as alterações das vazões na bacia do rio Verde Pequeno, observou que para anos com valores extremos (inundação e secas) a resposta da bacia se ampliava com relação a variação adimensional da precipitação. Isso se dá por haver proporcionalidade na relação entre os valores de precipitação e os de vazão. Nos anos com maiores umidades o aumento de precipitação produz maior aumento da vazão uma vez que ocorre nesse período uma menor taxa de infiltração e

uma diminuição da evapotranspiração pelo aumento da chuva, aumentando assim proporcionalmente mais o escoamento. Em contrapartida, nos anos secos, a redução de precipitação e aumento da evapotranspiração reduz em maior intensidade a vazão.

2.3.2 Balanço hídrico e coeficiente de escoamento de longo prazo

Para Collischonn e Dornelles (2015), balanço hídrico é o balanço de entrada e saída de uma bacia, tendo como principal entrada a precipitação e como saída a evapotranspiração e o escoamento. Segundo o qual, faz-se necessário que seja satisfeita a equação:

$$\frac{dV}{dt} = P - ET - Q \quad (1)$$

ou, em que um intervalo de tempo finito:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = P - ET - Q \quad (2)$$

onde:

ΔV	=	variação do volume de água armazenado na bacia (m^3);
Δt	=	intervalo de tempo considerado (s);
P	=	precipitação ($m^3 s^{-1}$);
Q	=	Escoamento ($m^3 s^{-1}$); e
ET	=	evapotranspiração em ($m^3 s^{-1}$),

Ainda segundo Collischonn e Dornelles (2015), em intervalos de tempos muito longos, vários anos, a variação do armazenamento pode ser desprezada na maioria das bacias, e a equação pode ser reescrita em unidades de $mm \cdot ano^{-1}$, o que é feito dividindo volumes pela área da bacia. Sendo assim, a equação de balanço hídrico para períodos longos é a equação 3:

$$P = ET + Q \quad (3)$$

em que:

P	=	precipitação ($mm \text{ ano}^{-1}$);
ET	=	evapotranspiração ($mm \text{ ano}^{-1}$); e
Q	=	escoamento ($mm \text{ ano}^{-1}$).

O coeficiente de escoamento de longo prazo (C) representa o percentual da chuva que se transforma em escoamento. Dado pela razão entre o escoamento médio anual da bacia ($mm \text{ ano}^{-1}$) e a precipitação média anual sobre a bacia ($mm \text{ ano}^{-1}$), tem,

teoricamente, valores entre 0 e 1. Na prática, para a maioria das bacias, os valores vão de 0,05 a 0,5 (COLLISCHONN & TASSI, 2008). Representado pela equação 4:

$$C = \frac{Q}{P} \quad (4)$$

em que:

- C = coeficiente de escoamento médio adimensional;
- P = precipitação média anual sobre a bacia (mm ano^{-1});
- Q = escoamento médio anual da bacia (mm ano^{-1}).

2.4 Alterações no uso do solo e sua influência sobre o ciclo hidrológico

Segundo Rocha (2010), com todos os avanços na tecnologia e crescente disseminação de informações, é reconhecido que o desflorestamento, as práticas de uso da terra agrícola e urbana, a utilização da água do lençol freático para abastecimento e irrigação, entre outras intervenções do homem no meio ambiente, somados geram um efeito cumulativo e têm contribuído para alterações no ciclo hidrológico e consequentemente no regime hidrológico dos rios.

Desde o primórdio das civilizações o homem utiliza o solo para suas práticas diárias de sobrevivência. Com o passar do tempo e a modernização da sociedade o processo de exploração da natureza, em geral, vem se intensificando. Atrelado a essa modificação estão as alterações nos ciclos naturais.

No ciclo hidrológico, alterações nas características do solo podem refletir proporcionalmente em todo o processo. Mudanças como diminuição da capacidade do solo de absorver as chuvas, devido a prováveis mudanças no uso da terra, poderia afetar a distribuição de água por todos os trajetos naturais, tais como, fluxo dos rios, depósitos lacustres e vazão para os oceanos (DREW, 2010).

Segundo Rocha (2010), a perda da cobertura arbórea, em curto prazo, reduz a perda de água do solo por transpiração, já que as raízes profundas das árvores são arrancadas, bem como provoca elevação no escoamento superficial das águas, uma vez que a antiga manta amortecedora de folhas caídas foi substituída pela terra nua, provocando, provavelmente aumento no fluxo direto da água para os rios.

O processo de urbanização altera drasticamente o solo com a remoção da cobertura vegetal e, comumente, a impermeabilização da superfície, afetando diretamente o fluxo de água dos rios e depósitos subterrâneos. Situação semelhante ocorre com as atividades

agrícolas que, a depender da cultura cultivada, contribuem proporcionalmente nas alterações hidrológicas. De acordo com Drew (2010), o processo de interceptação da chuva pelas folhas das plantas varia de acordo com a densidade da vegetação e as espécies vegetais. Uma cultura de cereais, por exemplo, que possui estrutura dominante vertical, intercepta menos água do que um batatal, porque as batatas possuem estrutura horizontal, esparramada, com folhas largas. De mesmo modo, uma floresta tende a interceptar mais água do que a terra cultivada ou as pastagens.

2.5 Alterações no regime de precipitações e mudanças climáticas

A precipitação é entendida como sendo toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície da terra. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada, e neve são formas distintas da precipitação. Diferenciadas apenas pelo estado em que a água se encontra (TUCCI, 1993).

Segundo Collischonn e Dornelles (2015) os principais tipos de chuvas são: frontais, convectivas e orográficas. As frontais ocorrem quando se encontram duas grandes massas de ar, de diferentes temperaturas e umidade. As chuvas convectivas são geradas pelo aquecimento de massas de ar, relativamente pequenas, que estão em contato direto com a superfície quente dos continentes e oceanos. Já, as chuvas orográficas ocorrem em regiões onde um grande obstáculo do relevo, como uma cordilheira ou serra muito alta, impede a passagem de ventos quentes e úmidos, que sopram do mar, obrigando o ar a subir para níveis mais altos da atmosfera.

O clima possui como determinante fundamental a entrada de radiação solar, que impulsiona os mecanismos da atmosfera. A temperatura, padrões de pressão, vento e precipitação são os elementos fundamentais que o constituem (DREW, 2010). Segundo o IPCC (2007, *apud* Adam & Collischonn, 2013), mudança climática está definida como as mudanças de clima no tempo devido à variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas entre outras, com destaque para a emissão de gases relacionados ao efeito estufa).

De acordo com Adam e Collischonn (2013), as alterações climáticas podem gerar significativos impactos sobre o regime hidrológico. Podendo, entre outros, gerar aumento de cheias, secas, erosão, deterioração da qualidade das águas e diversidade dos ecossistemas.

Apesar de possuir natureza ambiental, as mudanças climáticas constituem um problema complexo, com consequências em todas as esferas da existência. Produzem impactos sobre questões globais, tais como pobreza, desenvolvimento econômico, crescimento populacional, desenvolvimento sustentável e gestão de recursos. É por meio da água, o primeiro e mais forte meio, que a população sentirá os efeitos da mudança do clima, levando em consideração as prováveis alterações nos padrões de precipitação e escoamento dos rios. Sendo assim, as populações mais pobres são as mais vulneráveis, pois se encontram, já atualmente, em condições de maior exposição à escassez hídrica, quer por questões geográficas, quer pela ausência de saneamento (ANA, 2016).

Ainda de acordo com a ANA (2016), o ciclo hidrológico possui vínculo direto com as mudanças de temperatura da atmosfera e com o balanço de radiação. Deste modo, com a elevação da temperatura do planeta, espera-se, entre outras consequências, alterações nos padrões da precipitação (aumento da intensidade e da variabilidade da precipitação), o que poderá afetar significativamente a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios, quer negativamente, quer positivamente. Em suma, além de alterações nas disponibilidades médias, os eventos hidrológicos críticos, secas e enchentes, poderão tornar-se mais frequentes.

As alterações nos padrões da precipitação são acarretadas por diversos fatores, dentre os quais se destacam os naturais: temperatura, dinâmica de massas de ar, insolação, maritimidade, continuidade, cobertura vegetal, formas de relevo e posição geográfica; e de fatores humanos: desmatamento, concentração em núcleos urbanos, emissão de gases que aumentam o efeito estufa e denudação do solo (EWALD, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Delimitação da bacia hidrográfica do rio de Janeiro

O processo de delimitação da bacia hidrográfica do rio de Janeiro foi efetuado com técnicas de SIG (Sistema de Informação Geográfica) e Sensoriamento Remoto, com auxílio do software *ArcGIS 10.4.1* e a extensão *Archidro tools*, que dispõe de ferramentas para a delimitação automática de bacias hidrográficas. Para tanto, utilizou-se imagens de radar da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*).

As imagens resultantes da missão SRTM, com resolução espacial de 30 metros, foram obtidas gratuitamente através do site da *United States Geological Survey (USGS, 2017)*. Os passos realizados para a geração do MDE e a delimitação da bacia hidrográfica do rio de Janeiro são apresentados a seguir:

- Criação de um mosaico de imagens, tendo em vista que a área de interesse se localizava em mais de uma imagem SRTM;
- Recorte de área de interesse, para diminuir a quantidade de dados a serem processados, eliminando dados desnecessários;
- Transformação de Datum e sistema de projeção: o sistema geodésico de referência utilizado neste trabalho foi o SIRGAS 2000 e a projeção utilizada foi a UTM. Sendo assim, fez-se necessária a alteração do sistema de origem para o sistema de interesse;
- Correção das discontinuidades existentes entre células afetadas e a sua vizinhança, conhecidas como depressões espúrias;
- Definição das direções de fluxo, dada pela relação de escoamento entre determinada célula e as células vizinhas;
- Determinação da área acumulada, por meio da concentração, em cada célula, da interferência do fluxo de montante;
- Geração da rede de drenagem sintética. Nessa etapa, a rede de drenagem gerada foi comparada com a rede de drenagem disponibilizada pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA), na escala 1:100.000 (GEOBAHIA, 2017).
- Definição do exutório da bacia, para onde converge todo o fluxo gerado na bacia;

- Delimitação da bacia; e
- Conversão de dados tipo raster (em forma de matriz, composta por linhas e colunas) para vetor (formado por um conjunto de vetores referenciados).

3.2 Caracterização fisiográfica da Bacia do rio de Janeiro

De posse da delimitação da área da bacia, os parâmetros escolhidos para a sua caracterização fisiográfica foram os seguintes: área, perímetro, fator de forma, coeficiente de compacidade, ordem dos cursos d'água, altimetria e declividade.

A área e o perímetro da bacia foram determinados automaticamente por meio das ferramentas disponíveis no aplicativo ArcMap, logo após a delimitação da bacia.

O fato de forma (Kf) foi determinado utilizando a equação a seguir (VILLELA & MATTOS, 1975):

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (5)$$

em que:

Kf	=	fator de forma (adimensional);
A	=	área de drenagem (km ²); e
L	=	comprimento do eixo da bacia (km).

O cálculo do coeficiente de compacidade foi realizado a partir da equação 6 (VILLELA & MATTOS, 1975):

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (6)$$

em que:

Kc	=	coeficiente de compacidade (adimensional);
A	=	área de drenagem (km ²);
P	=	perímetro (km).

Na determinação da ordem dos cursos d'água, tomou-se como base a classificação de Strahler (1957 *apud* Cardoso *et al.*, 2006). Os mapas de declividade e altimetria também foram gerados a partir do MDE da bacia, por meio do software ArcGis 10.4.1.

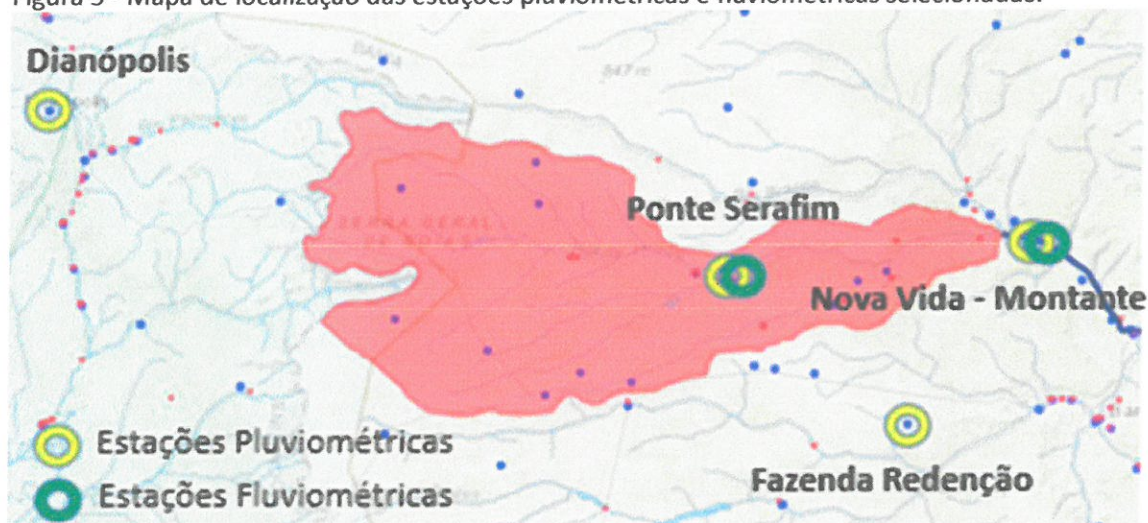
3.3 Obtenção dos dados hidrológicos – precipitação e vazão

As observações diárias de precipitação e vazão foram obtidas por meio da base de dados do Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB, de responsabilidade da

Agencia Nacional de Águas (ANA, 2017). Na seleção das estações pluviométricas e fluviométricas, levou-se em consideração a distribuição espacial das estações, sendo selecionadas aquelas que estavam dentro da bacia do rio de Janeiro ou na sua proximidade.

As estações selecionadas (Figura 5) foram as que apresentavam séries históricas de no mínimo 30 anos contínuos com dados consistentes e com o mínimo de falhas possíveis. O resultado foi um intervalo de estudo compreendido entre 01/01/1977 a 31/12/2006. A seleção resultou em um conjunto de dados de quatro estações pluviométricas (Tabela 1) e duas fluviométricas (Tabela 2).

Figura 5 - Mapa de localização das estações pluviométricas e fluviométricas selecionadas.



Fonte: adaptado de HIDROWEB (2017).

Tabela 1 – Estações pluviométricas com séries históricas de no mínimo 30 anos de dados.

Código	Nome	Município	Responsável	Operador
1145013	PONTE SERAFIM – MONTANTE - BA	Barreiras	ANA	CPRM
1145014	NOVA VIDA – MONTANTE - BA	Barreiras	ANA	CPRM
1245004	FAZENDA REDENÇÃO - BA	Barreiras	ANA	CPRM
1146000	DIANÓPOLIS - TO	Dianópolis	ANA	CPRM

Fonte: Própria.

Tabela 2 – Estações fluviométricas com séries históricas de no mínimo 30 anos de dados

Código	Nome	Município	Responsável	Operador
46590000	NOVA VIDA – MONTANTE - BA	Barreiras	ANA	CPRM
46570000	PONTE SERAFIM – MONTANTE - BA	Barreiras	ANA	CPRM

Fonte: Própria.

3.4 Quantificação das variáveis do balanço hídrico

Os dados de vazão e precipitação obtidos foram tratados e organizados, realizando-se, inicialmente, o preenchimento de algumas falhas pontuais nas séries de dados das estações. Para tanto, utilizou-se o método de regressão linear, correlacionando-se os dados da estação com falhas com os dados de uma estação vizinha (TUCCI, 1993). A estação escolhida para a realização da correlação foi aquela que apresentou o maior coeficiente de determinação para a equação de regressão.

Em seguida, aplicou-se o método dos Polígonos de Thiessen para a determinação das precipitações médias mensais e anuais. As áreas de influência de cada estação foram obtidas com o auxílio do software ArcMap 10.4.1. Com isso, o cálculo das precipitações médias foi determinado pela equação 7 (ARANTES, 2008):

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \bar{P}_i}{A} \quad (7)$$

em que:

- \bar{P} = precipitação média na bacia (mm);
- \bar{P}_i = precipitação média no posto i (mm);
- A_i = área do respectivo polígono, dentro da bacia (km²); e
- A = área total da bacia (km²).

A partir da obtenção da área de influência de cada estação, verificou-se que a estação 1245004 (Fazenda Redenção) não apresentava área de influência dentro da bacia do rio de Janeiro, sendo, portanto, desconsiderada nos cálculos da precipitação média da bacia.

Obtidas as precipitações médias mensais na bacia, definiu-se, por meio de análise gráfica, o ano hidrológico utilizado como base para as análises subsequentes. Em seguida,

No processo de determinação da vazão média de longo prazo, devido à inexistência de monitoramento fluviométrico no exutório da bacia do rio de Janeiro, aplicou-se um método de regionalização de vazões, utilizando-se as vazões médias mensais das estações 46590000 (Nova Vida - Montante) e 46570000 (Ponte Serafim - Montante). As áreas de drenagem correspondentes a essas estações foram obtidas automaticamente por meio das ferramentas disponíveis no software ArcMap. A regionalização foi realizada pelo método baseado na interpolação linear, por meio da seguinte equação (AMORIM *et al.*, 2005):

$$Q_z = Q_m + \left(\frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (8)$$

em que:

Q_z	=	vazão na seção de interesse ($m^3 s^{-1}$);
Q_m	=	vazão no posto de montante ($m^3 s^{-1}$);
Q_j	=	vazão no posto de jusante ($m^3 s^{-1}$);
A_z	=	área de drenagem na seção de interesse (km^2);
A_m	=	área de drenagem do posto de montante (km^2);
A_j	=	área de drenagem do posto de jusante (km^2).

Cabe ressaltar que a estação montante e a estação jusante ao exutório foram 46570000 (Ponte Serafim - Montante) e 46590000 (Nova Vida - Montante) respectivamente.

Obtidas as vazões médias mensais no exutório da bacia do rio de Janeiro, foi possível obter as vazões médias anuais, com base no ano hidrológico definido. A partir das vazões médias anuais, obtiveram-se as lâminas totais escoadas anualmente por meio da seguinte equação:

$$Q = 31.536 \frac{q}{A} \quad (9)$$

em que:

Q	=	escoamento médio anual da bacia ($mm \text{ ano}^{-1}$);
q	=	vazão média anual ($m^3 s^{-1}$);
A	=	área total da bacia (km^2).

De posse dos totais anuais escoados e precipitados, calculou-se a evapotranspiração anual na bacia por meio de balanço hídrico simplificado, utilizando-se a equação 3.

De posse dos totais anuais escoados e precipitados, calculou-se a evapotranspiração anual na bacia por meio de balanço hídrico simplificado, utilizando-se a equação 3. Também foi calculado o coeficiente de escoamento de longo prazo da bacia, utilizando-se a equação (4).

3.5 Análise do comportamento das variáveis hidrológicas

Para se realizar a análise do comportamento da precipitação, do escoamento e da evapotranspiração médios anuais na bacia do rio de Janeiro, bem como do coeficiente de escoamento de longo prazo, foram ajustadas equações de regressão de primeiro grau aos dados.

A tendência de redução ou aumento nos valores das variáveis com o tempo foi analisada com base no coeficiente angular das retas ajustadas. Com as equações obtidas, também foram calculadas as variações percentuais nos valores dessas variáveis com o tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização fisiográfica

As características fisiográficas da bacia do rio de Janeiro são dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 – Características fisiográficas da bacia do rio de Janeiro.

Características Fisiográficas	Valor
Área (km ²)	3.813,53
Perímetro (km)	595,32
Comprimento axial (km)	135,16
Comprimento total (km)	664,46
Coeficiente de compacidade - K_c^*	2,70
Fator de forma - K_f^*	0,21
Ordem dos cursos d'água	3,00
Densidade de drenagem - D_d (km km ⁻²)	0,17

*adimensional

Fonte: Própria.

Com uma área de aproximadamente 3.813,53 km² e perímetro de 595,32 km, a bacia apresentou coeficiente de compacidade (*Kc*) igual a 2,70, o que sugere que a bacia não é sujeita a enchentes em anos normais de precipitação, pois o valor encontrado para o coeficiente se afasta da unidade. Segundo Villela e Matos (1975), um coeficiente mínimo igual a 1,0 corresponde a uma bacia circular, a qual possui uma maior probabilidade a enchentes, à medida que esse índice se afasta da unidade a bacia se caracteriza com forma mais alongada, menos sujeita a enchentes.

O valor obtido para o fator de forma (*Kf*) foi de 0,21, o que reforça a ideia de que a bacia é pouco suscetível a enchentes. Segundo Villela e Matos (1975), assim como o coeficiente de compacidade, o fator de forma constitui outro índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia, sendo uma bacia com um fator de forma baixo menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com fator de forma maior.

Na Tabela 4 é possível observar que assim como a bacia do rio de Janeiro, as bacias do ribeirão do Lobo (São Paulo), rio de Ondas (Bahia), rio Santa Maria do Doce (Espírito Santo) e rio Angelim (Espírito Santo), apresentam forma alongada, *Kc* maiores que 1 e *Kf* menores que 1. Esses resultados reforçam o indicado por esses índices para a bacia do rio de Janeiro, ou seja, que a bacia é pouco suscetível a enchentes.

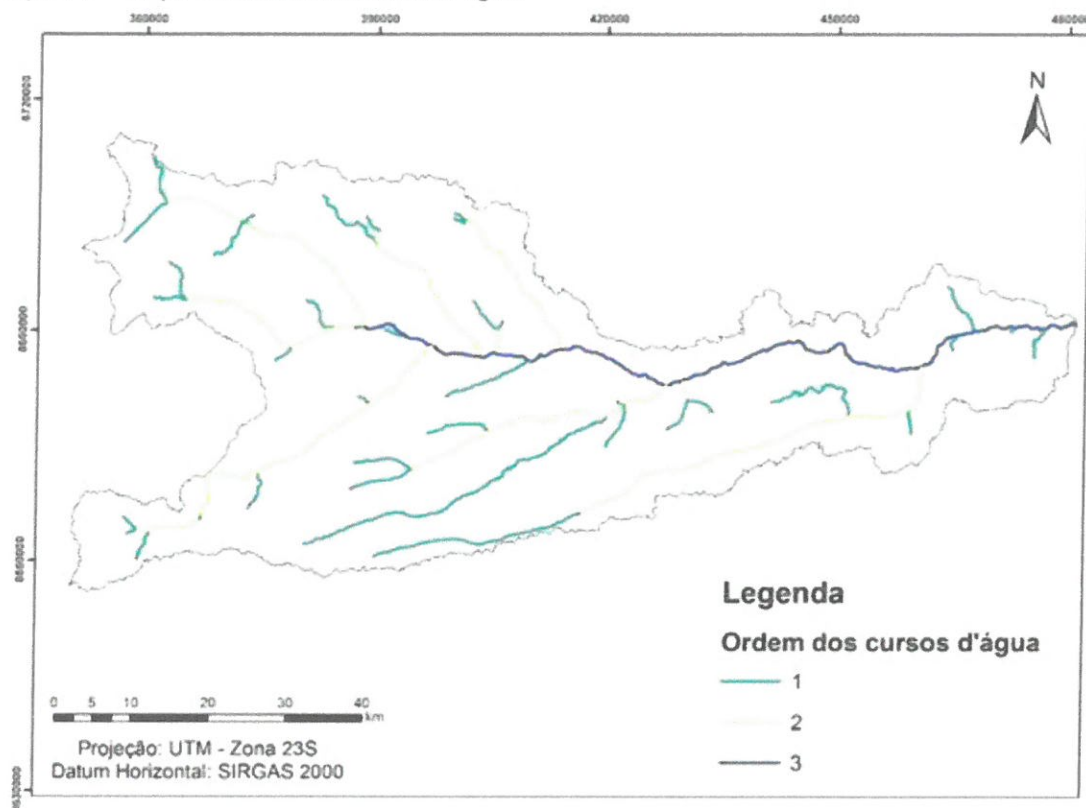
Tabela 4 – Valores de coeficiente de compacidade e fator de forma apresentados em outras bacias hidrográficas.

Bacia	Área (km ²)	<i>Kc</i>	<i>Kf</i>	Forma	Autor
Ribeirão do Lobo	177,25	1,47	0,44	Alongada	Villela e Matos (1975)
Rio de Ondas	5.465,00	1,98	0,25	Alongada	Fistarol <i>et al.</i> (2015)
Rio Santa Maria do Doce	934,13	1,57	0,33	Alongada	Campanharo (2010)
Rio Angelim	94,56	1,89	0,28	Alongada	Jesus (2012)

Fonte: Própria.

Com a análise do sistema de drenagem da bacia de acordo com a classificação hierárquica da rede de drenagem, verificou-se que a mesma é de 3º ordem, como apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Mapa de ordem dos cursos d'água.



Fonte: Própria.

A bacia apresentou densidade de drenagem de $0,17 \text{ km km}^{-2}$. Esse valor pode ser considerado muito baixo pois, segundo Villela e Matos (1975), a densidade de drenagem varia de até $0,5 \text{ km km}^{-2}$ para bacias pobres a $3,5 \text{ km km}^{-2}$ ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação dos valores de densidade de drenagem.

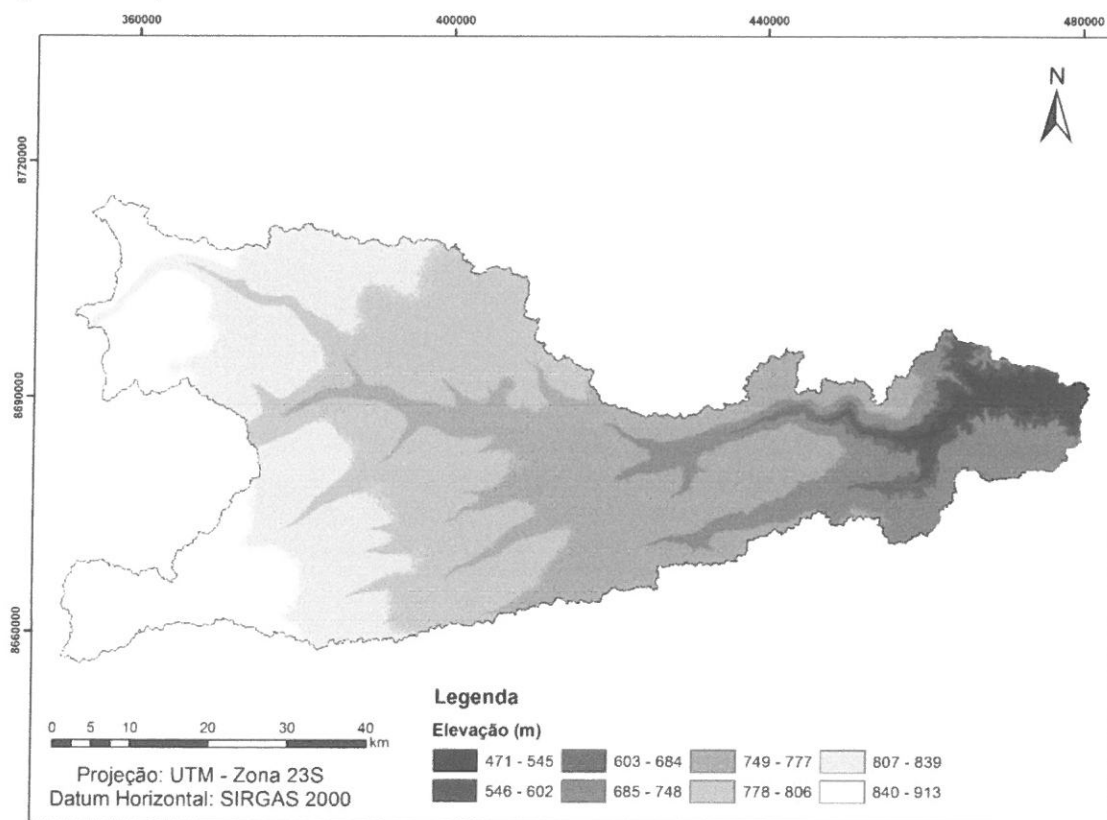
Densidade de drenagem	Características das bacias hidrográficas
$Dd < 0,5 \text{ km km}^{-2}$	Drenagem pobre
$0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km km}^{-2}$	Drenagem Regular
$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km km}^{-2}$	Drenagem Boa
$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km km}^{-2}$	Drenagem muito boa
$Dd \geq 3,5 \text{ km km}^{-2}$	Excepcionalmente bem drenada

Fonte: Villela e Mattos (1975). Organizada pelo autor.

Segundo Linsley (1975 *apud* Jesus 2012), o índice de densidade de drenagem pode ser utilizado para analisar a resposta hidrológica de uma bacia e verificar a sua susceptibilidade as enchentes. Sendo assim, bacias com características similares às da bacia do rio de Janeiro, de baixa a regular densidade, apresenta uma resposta hidrológica lenta, pois o caminho que a água da chuva tem que percorrer pelas vertentes é maior. Isso sugere que a bacia possui um tempo de concentração elevado.

Em relação ao relevo da bacia do rio de Janeiro, pode-se observar (Figura 7) que as maiores altitudes se encontram a oeste da bacia, com um valor máximo de 913 m, ao passo que as menores elevações estão a leste, na confluência do rio de Janeiro com o rio Branco, com valor mínimo de 471 m. Sendo assim, verifica-se uma variação de altitude da bacia de cerca de 442 m.

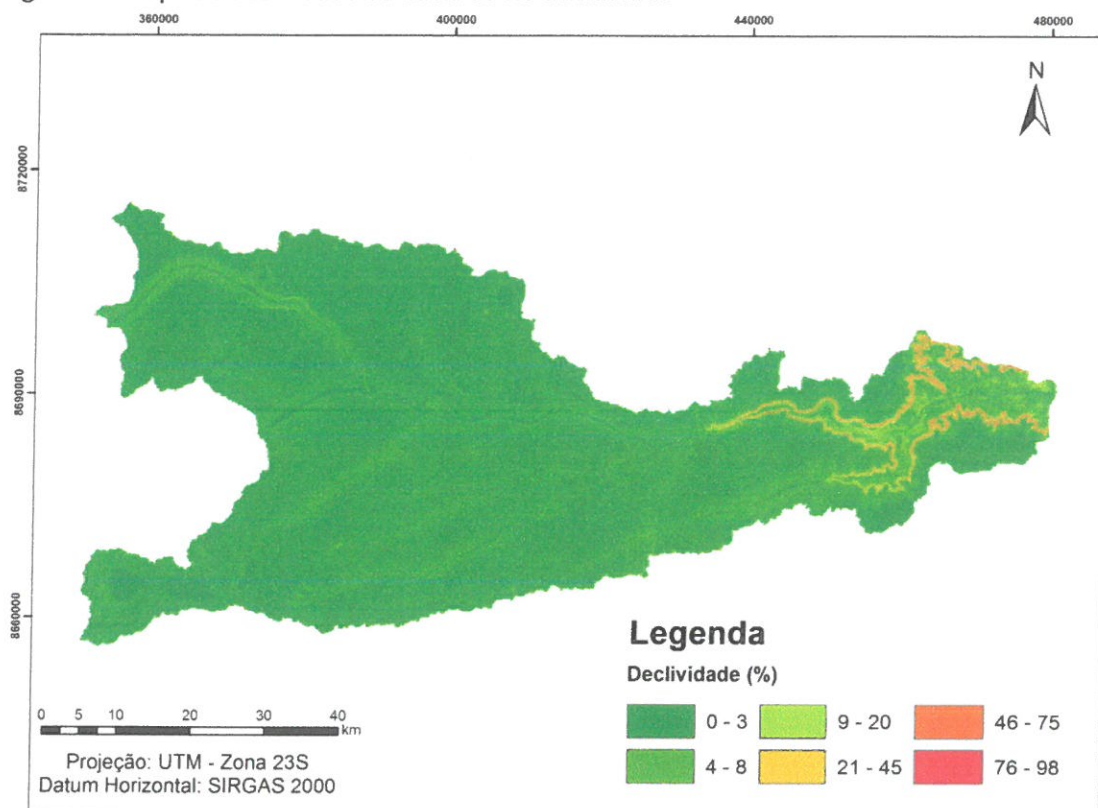
Figura 7 – Mapa altimétrico da bacia do rio de Janeiro.



Fonte: Própria.

A declividade da bacia do rio de Janeiro variou de 0 a 98%, conforme a apresentado na Figura 8. A maior parte da área da bacia possui declividade variando de 0 a 3%. Assim, pode-se classificar a bacia como de relevo plano, segundo EMBRAPA (1979).

Figura 8 – Mapa de declividade da bacia do rio de Janeiro.

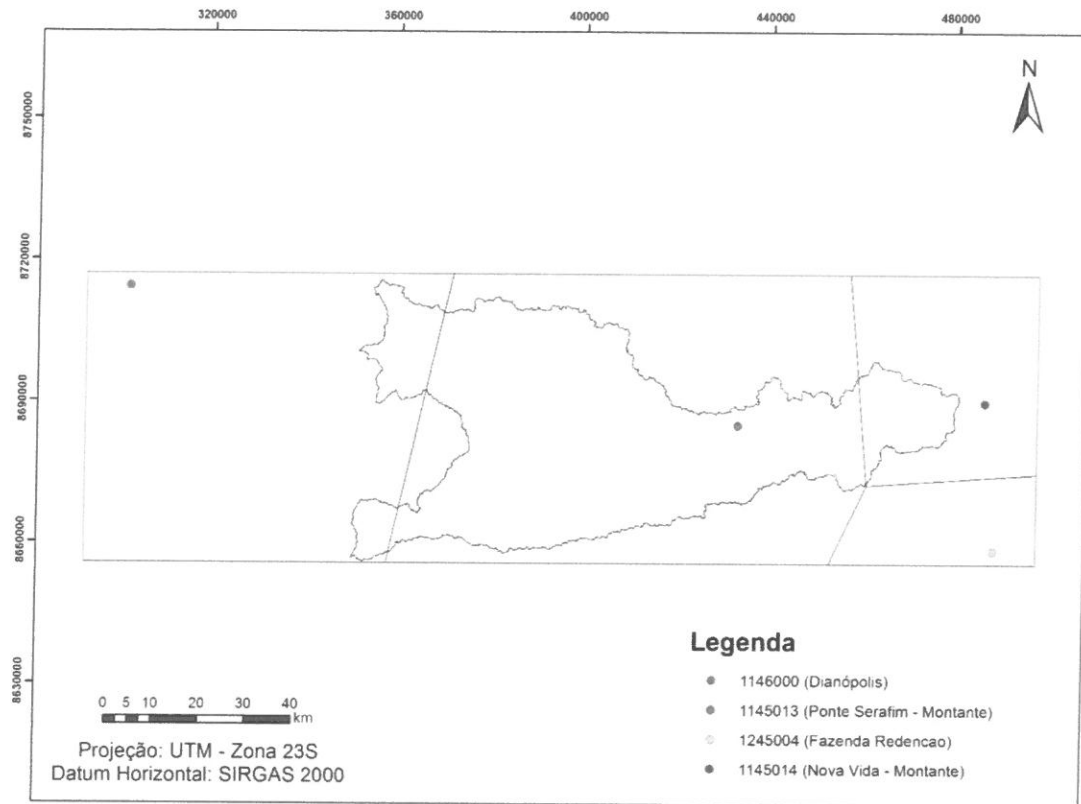


Fonte: Própria.

4.2 Precipitação na bacia hidrográfica do rio de Janeiro

Na Figura 9, são apresentadas as áreas de contribuição das estações pluviométricas utilizadas no estudo, obtidas pelo método dos polígonos de Thiessen. Verificou-se que a estação pluviométrica 1245004 (Fazenda Redenção) não possui influência sobre a área de drenagem da bacia do rio de Janeiro, tendo sido excluída dos cálculos de precipitação média na bacia. Por outro lado, a estação com maior área de influência foi a estação 1145013 (Ponte Serafim – Montante), compreendendo cerca de 82,4% da área da bacia, seguida pelas estações 1146000 (Dianópolis) e 1145014 (Nova Vida – Montante), com áreas de influência de aproximadamente 9,4% e 8,2%, respectivamente.

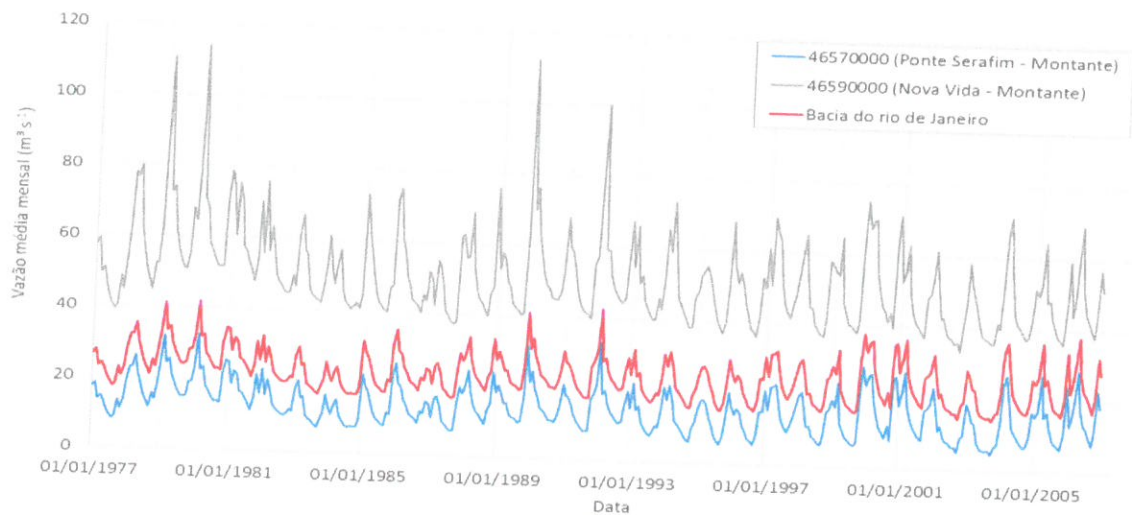
Figura 9 – Área de contribuição das estações pluviométricas.



Fonte: Própria.

Na Figura 10 são apresentadas as precipitações médias mensais na bacia estudada para o período de 1977 a 2006. A partir da análise dos valores mensais de precipitação, estabeleceu-se o início do ano hidrológico no mês em setembro. Sendo assim, as análises subsequentes restringiram-se ao período de setembro de 1977 a agosto de 2006, compreendendo 29 anos de dados.

Figura 12 – Variação da vazão média mensal na bacia do rio de Janeiro e nas estações selecionadas, no período de 1977 a 2006.



Fonte: Própria.

Por meio da análise da Figura 12, foi possível observar que as vazões apresentadas nas estações e a vazão calculada para a bacia estudada apresentam um padrão semelhante. Além disso, verificou-se um comportamento sazonal nas vazões, sendo que os maiores valores se verificam geralmente no período de outubro a março e os menores, no período de abril a setembro. Esse comportamento é condizente com o padrão de variação da precipitação, uma vez que os meses mais chuvosos na bacia são outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Além disso, foi possível constatar que a vazão média de longo prazo na bacia do rio de Janeiro, considerando o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006, foi de $23,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

4.4 Balanço hídrico

Na Tabela 6, são apresentados os valores de precipitação e escoamento total anual para o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006. Também são apresentados os valores de evapotranspiração obtidos por meio do balanço hídrico simplificado, bem como o coeficiente de escoamento de longo prazo para a bacia em questão.

Tabela 6 – Valores anuais do balanço hídrico para o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006.

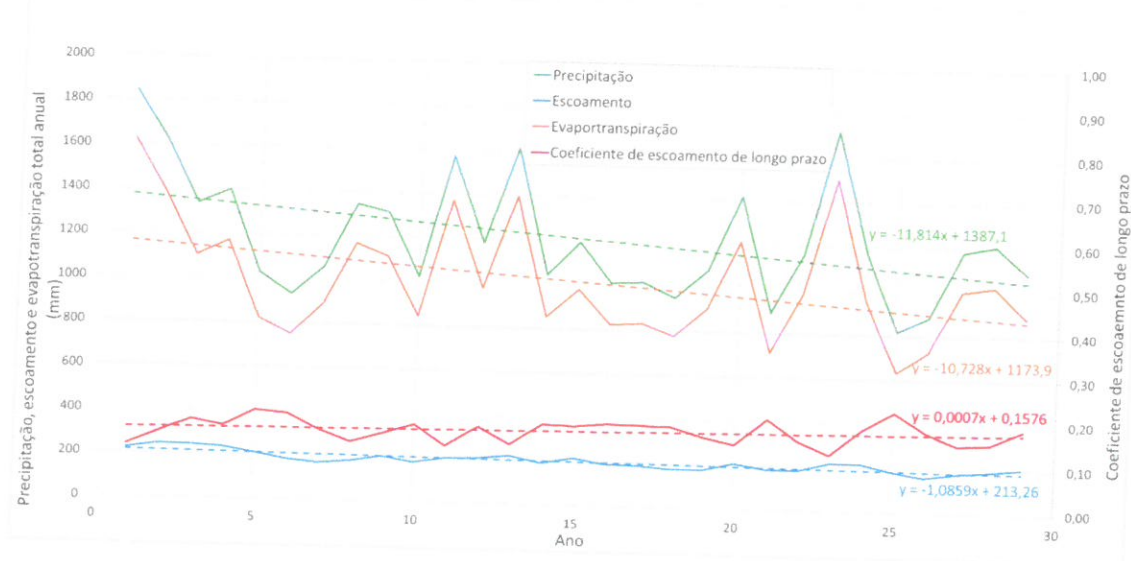
Ano	Precipitação (mm)	Escoamento (mm)	Evapotranspiração (mm)	Coefficiente de escoamento
1977/1978	1842,34	219,14	1623,19	0,12
1978/1979	1623,25	241,55	1381,70	0,15
1979/1980	1338,61	238,58	1100,03	0,18
1980/1981	1399,84	231,24	1168,60	0,17
1981/1982	1028,33	207,63	820,70	0,20
1982/1983	931,63	181,39	750,24	0,19
1983/1984	1056,26	168,22	888,03	0,16
1984/1985	1345,15	178,42	1166,74	0,13
1985/1986	1311,75	201,69	1110,06	0,15
1986/1987	1020,99	179,04	841,95	0,18
1987/1988	1571,28	201,16	1370,13	0,13
1988/1989	1179,07	204,38	974,69	0,17
1989/1990	1613,29	217,92	1395,37	0,14
1990/1991	1042,67	189,72	852,95	0,18
1991/1992	1192,42	213,93	978,50	0,18
1992/1993	1012,09	188,37	823,73	0,19
1993/1994	1018,71	187,85	830,86	0,18
1994/1995	950,57	172,97	777,60	0,18
1995/1996	1077,69	174,03	903,66	0,16
1996/1997	1417,16	206,59	1210,57	0,15
1997/1998	895,35	183,10	712,26	0,20
1998/1999	1159,38	180,78	978,60	0,16
1999/2000	1718,09	216,61	1501,49	0,13
2000/2001	1169,59	215,48	954,11	0,18
2001/2002	816,75	183,76	632,99	0,22
2002/2003	883,84	159,14	724,70	0,18
2003/2004	1180,52	179,86	1000,67	0,15
2004/2005	1208,93	188,05	1020,88	0,16
2005/2006	1081,84	201,67	880,17	0,19
Valor médio	1209,91	196,97	1012,94	0,17

Fonte: Própria.

O escoamento médio anual e a evapotranspiração média anual obtidos para a bacia do rio de Janeiro foram, respectivamente, de 197 mm e 1013 mm. O coeficiente de escoamento de longo prazo da foi de 0,17, explicitando que 17% do volume precipitado na bacia é convertido em vazão no seu exutório. Esse valor está dentro do intervalo de valores obtidos por Santos *et al.* (2014) para as estações da bacia do rio Grande analisadas no trabalho, que variaram de 0,04 a 0,28.

Na Figura 13, tem-se o comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo no período de estudo, com as respectivas equações de regressão de primeiro grau.

Figura 13 – Comportamento das variáveis do balanço hídrico e do coeficiente de escoamento de longo prazo da bacia do rio de Janeiro para o período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006.



Fonte: Própria.

Analisando-se o comportamento do escoamento e a respectiva equação de regressão, é verificada uma tendência de decréscimo nas vazões nos 29 anos de estudo. Esse decréscimo também é observado, porém com maior intensidade, para as variáveis precipitação e evapotranspiração. Por outro lado, como a redução observada no escoamento foi menor do que a observada para a precipitação, há uma tendência de aumento nos valores do coeficiente de escoamento de longo prazo, evidenciando que, ao longo dos 29 anos de estudo, houve um crescimento, em valores relativos, da conversão de precipitação em escoamento.

Pelas equações de regressão, estimou-se uma redução de 14,3% no escoamento, 24,1% na precipitação e 25,8% na evapotranspiração anual da bacia do rio de Janeiro no período compreendido entre os anos hidrológicos de 1977/1978 e 2005/2006. Tendo em vista que há uma tendência expressiva de diminuição na quantidade de água que entra na bacia anualmente (precipitação), também é esperado que as variáveis de saída (escoamento e evapotranspiração) sofram redução. Contudo, a redução nos totais escoados foi menos expressiva, ao passo que a conversão de precipitação em vazão aumentou com o tempo.

O aumento da conversão da precipitação em vazão pode estar relacionado com as alterações no uso e ocupação do solo ocorridas na bacia. Segundo Santos (2017), houve expressivas mudanças no uso e ocupação do solo a partir da década de 1990 que influenciaram diretamente no coeficiente superficial. De acordo com TUCCI & CLARKE (1997), o desmatamento pode acarretar tanto a redução quanto o aumento da vazão mínima em uma bacia hidrográfica, dependendo das características do solo após as intervenções. Quando as condições de infiltração após o desmatamento ficam deterioradas, há uma tendência de aumento no escoamento superficial e consequente redução da recarga do aquífero. Por outro lado, se a água que não é mais perdida pela floresta atinge o solo e infiltra, o aquífero tem uma maior recarga, o que gera aumento nas vazões mínimas.

No que tange às vazões médias, TUCCI & CLARKE (1997) concluíram que o desmatamento para implantação de culturas anuais tende a aumentar o escoamento de longo período, tendo em vista a menor perda de água por evapotranspiração na bacia. Por outro lado, os autores afirmam que quando a precipitação local é dependente principalmente dos movimentos de massas de ar globais, o efeito da alteração da cobertura vegetal sobre a precipitação é mínimo.

Por outro lado, a redução menos expressiva no escoamento anual pode estar relacionada também com o tempo de permanência da água no subsolo, pois apesar de o escoamento superficial tender a diminuir com a redução da precipitação, o escoamento subterrâneo pode ter sofrido menores alterações em função da água armazenada no Sistema Aquífero Urucuia. Segundo GASPARI (2007), esse sistema exerce um papel de regulador das vazões dos rios da bacia do rio Grande. Como pouco se conhece sobre o

tempo de permanência da água nesse aquífero, não é possível eliminar a possibilidade de influência do Sistema Aquífero Urucuia sobre as vazões do rio de Janeiro.

Assim, a expressiva redução nos totais anuais precipitados na bacia do rio de Janeiro devem estar mais relacionadas a alterações climáticas de grande escala do que, propriamente, a alterações no uso e ocupação do solo na bacia. Essa redução afetou o escoamento na bacia, que também se reduziu ao longo do tempo, porém em proporção menor. Por outro lado, a tendência de aumento na conversão de precipitação em vazão observada para a bacia pode estar relacionada com o uso e ocupação do solo, devido a uma redução na evapotranspiração pela supressão da vegetação original.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, aceita-se a hipótese de que a redução na vazão do rio de Janeiro também está relacionada com a redução nos totais precipitados na bacia.

Cabe salientar que essa relação não é proporcional, havendo maior redução percentual na precipitação do que no escoamento. Fatores como o desmatamento na bacia e o tempo de permanência da água no aquífero podem ter atenuado o efeito da redução na precipitação sobre o escoamento.

Como forma de investigar se as alterações no uso e ocupação do solo também influenciam no regime de vazões, sugere-se estudos futuros que quantifiquem as áreas com vegetação original suprimida, bem como avaliem as condições de infiltração da água no solo nessas áreas e nas áreas preservadas da bacia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. **Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na Bacia Hidrográfica do rio Ibicuí.** Uberlândia, v18, p.69-79 jul./set. 2013.
- ALMEIRA, W. A; MOREIRA, M. C., 2014. **Análise das outorgas da bacia do rio grande, Estado da Bahia.** p. 02-03.
- ALVES, L. A. DE A. **Oeste da Bahia (1980-1996) um estudo dos efeitos do processo de expansão das fronteiras agrícolas na região.** Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1999.
- AMORIM, E.L.C.; NETTO, A. P.O.; MENDIONDO, E.M. Estudo de métodos para regionalização de vazão. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ABRH.** São Paulo – SP, 2005.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação.** Brasília, 2016.
- ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **HidroWeb: Sistema de Informações Hidrológicas.** Disponível em: <hidroweb.ana.gov.br>. Acessado em 15 set. de 2017.
- ARANTES, M. V. H. **Balanço hídrico na bacia do rio Urubici, em Santa Catarina, e a sua relação com a zona de recarga do Aquífero Guarani.** Monografia (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. **Escoamento Superficial. Elementos de Hidrologia Aplicada.** Ouro Preto – MG, 2016. (Apostila de hidrologia aplicada). Disponível em:<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodriques/6_escoamento%20superficial.pdf>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

em:<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/6_escoamento%20superficial.pdf>. Acesso em: 16 de agosto de 2017.

BRANDOLFF, R. S.; **Séries temporais hidrológicas de vazão da bacia do rio Grande – Bahia**. Monografia (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2016.

CAMPANHARO, W. A. **Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce – ES**. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

CARDOSO, C. A. *et al.* **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Dobossan, Nova Friburgo, RJ**. Rev. Árvore, Abr 2006, vol.30, no.2, p.241-248. ISSN 0100-6762.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2015. 342 p.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Apostila. IPH UFRGS, 2008. 149p.

DOMINICO, P. A.; SCHWARTZ, F. W. **Physical and chemical hydrogeology**. New York: John Wiley & Sons. 1990. 824 p.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 7.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 206 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EWALD, K. H. **Alterações do volume de precipitação no município de Marechal Cândido Rondon no período de 1965 a 2008**. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS, 16,

- 2010, Porto Alegre - RS. Anais do XVI Encontro Nacional do Geógrafo. Porto Alegre – RS, 2010.
- FISTAROL, P.H.B.; BRANDOLFF, R. S.; SANTOS, J. Y. G. Análise Fisiográfica da Bacia do rio de Ondas – Ba. In: **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. João Pessoa – PB, 2015.
- GASPAR, M. T. P.; CAMPOS, J. E. G. O Sistema Aquífero Urucuia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 216-226, 2007.
- GEOBAHIA. Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mapa Interativo**. Disponível em: <http://geobahia.inema.ba.gov.br/geobahia5/interface/openlayers.htm?0s0ho47hso0tg0schvdkc3a713>>. Acesso em: 28 jul. 2017.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. DE. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006. 859 p.
- JESUS, L. M. de. **Análise fisiográfica fluvial e do uso e ocupação da terra na bacia do rio Angelim** – ES. Monografia (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
- LIMA, W. DE P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, 2008. (Apostila de Manejo de Bacias Hidrográficas do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da ESALQ/USP).
- MENDONÇA, J. O. O potencial de crescimento da produção de grãos no Oeste da Bahia. *Revista Bahia Agrícola*, V.7, n.2, 2006.
- MONTE-MOR, R. C. DE A. **Análises de processos hidrológicos em bacias de rios intermitentes no semiárido mineiro**. 2012.

- MOREIRA, C. M; SILVA, D. D. **Atlas Hidrográfico da Bacia Hidrográfica do rio Grande**. Barreiras, 2010. p 07-15.
- REIS, S. L. DA S. **Desenvolvimento e natureza: a dinâmica de ocupação do cerrado e repercussões ambientais na região agroexportadora do oeste baiano**. 2014. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.
- ROCHA, P. C. **Indicadores de alteração hidrológica no alto do rio Paraná: Intervenções humanas e implicações na dinâmica do ambiente fluvial**. Uberlândia, v22, p.191-211, abr. 2010.
- RODRIGUES, Z. R. C. **Aplicação de modelos analíticos para outorga e gestão integrada dos recursos hídricos na bacia do rio Grande**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2013.
- SANTOS, A. C. S. **Alterações Hidrológicas da bacia hidrográfica do rio de Janeiro - Ba**. Monografia (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2017.
- SANTOS, F. R.; ALMEIRA, W. A.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. da. **Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio Grande, Estado da Bahia, Brasil**. In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2014, Natal – RN.
- TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões, MG**. 2005. 85 f. Trabalho de conclusão de Curso (Pós-graduação em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2005.
- TUCCI, C. E. M. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2003.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. 2002. Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas: Câmara Temática sobre Recursos Hídricos. Agência Nacional das Águas – ANA. 150 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, jan.-jun. 1997, p. 135-152.

UNIÃO DOS MUNICÍPIOS DA BAHIA. **Economia do Oeste se fortalece e se torna uma das maiores riquezas da Bahia**. 2016. Disponível em: <<http://www.upb.org.br/noticias/economia-do-oeste-se-fortalece-e-se-torna-uma-das-maiores-riquezas-da-bahia/>>. Acessado em 02 de Agosto de 2017.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer**. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 01 jun. 2017.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 239 p.