

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

**LIGIA TAMBASCO MASTEGHIN**

**ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COM BASE NA PEGADA  
HÍDRICA CINZA EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA**

Poços de Caldas/MG

2019

**LIGIA TAMBASCO MASTEGHIN**

**ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COM BASE NA PEGADA  
HÍDRICA CINZA EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas. Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Orientador: Flávio Aparecido Gonçalves.

Poços de Caldas/MG

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca campus Poços de Caldas

M423i Masteghin, Lígia Tambasco.

Índices de sustentabilidade hídrica com base na pegada hídrica cinza em nível de bacia hidrográfica / Lígia Tambasco Masteghin. -- Poços de Caldas/MG, 2019.

82 f. –

Orientador(a): Flávio Aparecido Gonçalves.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2019.  
Bibliografia.

1. Recursos hídricos. 2. Água – Qualidade. 3. Bacias hidrográficas. I. Gonçalves, Flávio Aparecido. II. Título.

CDD – 628.1



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas. UNIFAL-MG  
Campus Avançado de Poços de Caldas  
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental -  
PPGCEA  
Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999. Cidade Universitária  
CEP: 37715-400. Poços de Caldas, MG - Brasil



LIGIA TAMBASCO MASTEGHIN

**ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA COM BASE NA PEGADA  
HÍDRICA CINZA EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA**

A Banca Examinadora abaixo-assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia Ambiental, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas. Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Aprovada em: 28 de Fevereiro de 2019.

Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Alexandre Silveira

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Latuf

Instituição: Universidade Federal de Alfenas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças e iluminar meus caminhos durante todos esses anos de estudos e na realização do mestrado.

Agradeço às pessoas mais importantes da minha vida, meus pais, Fábio e Isabel, por todo apoio em todos os momentos, por cada palavra de incentivo e de perseverança e por cada conselho que me motivou a chegar até aqui.

Agradeço ao meu orientador Flávio por todo o apoio, por toda sugestão, por cada reunião feita e paciência durante esses dois anos que me fizeram alcançar os objetivos propostos e a desenvolver meu crescimento profissional, e à Thamyres pela ajuda na fase inicial do projeto.

À Universidade Federal de Alfenas, meu agradecimento por me acolher durante esse tempo e a todos os professores envolvidos direta e indiretamente no projeto que não mediram esforços para contribuir e auxiliar no trabalho.

A todos os envolvidos, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001". "This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001".

## RESUMO

Objetivou-se com este trabalho estabelecer uma metodologia que possibilitasse um melhor entendimento da gestão dos recursos hídricos sob o ponto de vista da sustentabilidade hídrica de um curso d' água. Para tanto, foi proposto um método para o cálculo da vazão de subsídio. Esta metodologia pode ser aplicada em qualquer bacia hidrográfica que disponha de informações de lançamento de cargas de poluente em seus cursos d' água. Neste estudo, a metodologia foi aplicada para a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. A vazão de subsídio foi correlacionada com vazões mínimas de referência por meio de Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH). Alguns cenários futuros e seus impactos na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica estudada foram avaliados. A proposição do modelo da vazão de subsídio que envolveu fatores de diluição ligados às concentrações de efluentes (DBO) que passam pela estação de tratamento de esgoto e àquelas provenientes de esgoto bruto foi capaz de estimar as vazões necessárias à diluição, para os dois cenários analisados, atual e futuro (2013 e 2035). A correlação das vazões de subsídios com as vazões mínimas de referência, por meio dos ISH, mostrou que o cenário futuro (2035) melhora as condições as condições físicas, químicas e biológicas da maioria dos corpos hídricos, uma vez que 70,5% dos rios e córregos apresentaram valores abaixo da unidade (ISH <1) quando comparado com o cenário atual (2013), em que este percentual é de 55%. A melhor alternativa avaliada diz respeito à alteração das eficiências originais, das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) já existentes no sistema, e das ETE criadas para tratar todo o esgoto bruto, pois, após tais mudanças, considerando o cenário atual, em apenas um curso d' água (aproximadamente 1%) a condição da vazão de subsídio ser inferior à vazão de referência não é atendida, enquanto para o cenário futuro, 100% dos rios e córregos passam a atender tais condições. E, dessa forma, a vazão de subsídio que tem sua metodologia baseada na pegada hídrica cinza pode ser considerada como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, utilizada para avaliar impactos e situações de degradabilidade do meio aquático, tornando-se importante nas tomadas de decisões para prevenção ou remediação de impactos ambientais.

Palavras-chave: Gestão de recursos hídricos. Vazão de subsídio. Vazões mínimas de referência.

## ABSTRACT

The objective of this work was to establish a methodology that would allow a better understanding of the management of water resources from the point of view of the water sustainability of a water system. For this, a method was proposed for the calculation of the subsidy flow. This methodology can be applied in any river basin that has information on the discharge of pollutant loads in its water systems. In this study, the methodology was applied to the Paraíba do Sul River Basin. The subsidy flow was correlated with minimum reference flows through the Water Sustainability Indices (WSI). Some future scenarios and their impacts on the management of water resources in the studied basin were evaluated. The proposition of the subsidy flow model that involved dilution factors related to effluent concentrations (BOD) passing through the sewage treatment station and those from raw sewage was able to estimate the flow rates required for dilution, for the two scenarios analyzed, current and future (2013 and 2035). The correlation of the subsidy flows with the minimum reference flows, through WSI, showed that the future scenario (2035) improves the physical, chemical and biological conditions of most water bodies, since 70.5% of the (WSI < 1) when compared to the current scenario (2013), where this percentage is 55%. The best alternative evaluated concerns the alteration of the original efficiencies, of the Sewage Treatment Stations (STS) already existing in the system, and of the STS created to treat all the raw sewage, since, after such changes, considering the current scenario, in only a watercourse (approximately 1%), the condition of the subsidy flow is lower than the reference flow rate, while for the future scenario, 100% of the rivers and streams will meet these conditions. Thus, the subsidy flow that has its methodology based on the gray water footprint can be considered as an instrument of water resources management, used to evaluate impacts and situations of degradability of the aquatic environment, becoming important in the decision making for prevention or remediation of environmental impacts.

**Keywords:** Management of Water Resources. Subsidy flow. Minimum reference flows.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (parte paulista) e as estações fluviométricas consideradas no estudo de vazões mínimas de referência. ....	24
Figura 2- Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul no contexto dos estados de abrangência. ....	25
Figura 3- Vazões de referência e subsídio (considerando o cenário atual - 2013). ...	32
Figura 4- Vazões de subsídio e de referência para o cenário atual (2013). ....	34
Figura 5- Vazões de subsídio e $Q_{95\%}$ para o cenário atual (2013). ....	35
Figura 6- Vazões de subsídio e $Q_{7,10}$ para o cenário atual (2013). ....	35
Figura 7- Vazões de subsídio e $Q_{95\%[no]}$ para o cenário atual (2013). ....	36
Figura 8- Vazões de subsídio e $Q_{7,10[no]}$ para o cenário atual (2013). ....	36
Figura 9- Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH) do cenário atual. ....	38
Figura 10- Índices de referência ( $ISH_{ref}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013). ....	39
Figura 11- Índices ( $ISH_{95\%}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013). ....	40
Figura 12- Índices ( $ISH_{7,10}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013). ....	40
Figura 13- Índices ( $ISH_{95\%[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013). ....	41
Figura 14- Índices ( $ISH_{7,10[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013). ....	41
Figura 15- Vazões de referência e subsídio (considerando o cenário atual e futuro). ....	43
Figura 16- Índices de sustentabilidade hídrica (ISH) para os cenários atual (2013) e futuro (2035). ....	45
Figura 17- Vazões de subsídio e de referência e Índices de referência ( $ISH_{ref}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035). ....	46
Figura 18- Vazões de subsídio e $Q_{95\%}$ e Índices de referência ( $ISH_{Q95\%}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035). ....	47
Figura 19- Vazões de subsídio e $Q_{7,10}$ e Índices de referência ( $ISH_{7,10}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035). ....	48
Figura 20- Vazões de subsídio e $Q_{95\%[no]}$ e Índices de referência ( $ISH_{Q95\%[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035). ....	49
Figura 21- Vazões de subsídio e $Q_{7,10[no]}$ e Índices de referência ( $ISH_{Q7,10[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035). ....	50
Figura 22- Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário atual (2013) mediante alteração da eficiência de tratamento. ....	52



Figura 23- Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário futuro (2035) mediante alteração da eficiência de tratamento. ....	52
Figura 24- Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário atual (2013) mediante melhoria da classe de enquadramento. ....	54
Figura 25- Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário futuro (2035) mediante melhoria da classe de enquadramento. ....	54

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Resultados da  $Q_{95\%}$  e  $Q_{7,10}$  para as sete estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. ... 34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	11
2.1	OBJETIVO GERAL.....	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	11
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
3.1	PEGADA HÍDRICA .....	12
3.2	VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA .....	14
3.3	QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA .....	17
3.4	ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	19
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	21
4.1	VAZÃO DE SUBSÍDIO .....	21
4.2	ÁREA DE ESTUDO .....	23
4.3	VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA .....	25
4.4	ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA .....	28
4.5	CENÁRIOS ANALISADOS .....	30
<b>4.5.1</b>	<b>Cenário atual (2013) e alternativa avaliada (2035).....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Nível de tratamento (eficiência).....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Alteração das classes dos rios .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>32</b>
5.1	VAZÃO DE SUBSÍDIO .....	32
<b>5.1.1</b>	<b>Rios e córregos.....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Estações da calha do rio principal .....</b>	<b>33</b>
5.2	ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA .....	37
<b>5.2.1</b>	<b>Rios e córregos.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Estações da calha do rio principal .....</b>	<b>39</b>
5.3.1.1	Rios e córregos .....	42
5.3.1.2	Estações fluviométricas da calha do rio principal .....	45
<b>5.3.2</b>	<b>Nível de tratamento (eficiência).....</b>	<b>51</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Alteração das classes dos rios.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>64</b>
	<b>ANEXO</b> .....	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As atividades humanas consomem e poluem uma grande quantidade de água, e considerando uma escala global, a maior parte do uso da água ocorre na produção agrícola, seguida pelos setores industriais e domésticos, sendo que o consumo e poluição das águas estão relacionados com atividades específicas como irrigação, higiene pessoal, limpeza, refrigeração e processamento (HOEKSTRA et al., 2011).

Os conflitos acerca do uso e disponibilidade da água são provocados, principalmente, pelo seu gerenciamento inadequado ou até mesmo inexistente, e ainda pelas disparidades econômicas existentes entre regiões. Dessa forma, a solução de tais conflitos exige uma gestão integrada do uso da água, bem como seu controle e conservação (COSGROVE; RIJSBERMAN, 2000).

A pegada hídrica pode ser considerada como um indicador de pressão antrópica sobre os recursos hídricos, já que calcula a quantidade de água efetivamente consumida e não apenas a captada, possibilita uma visão mais completa do uso dos recursos hídricos com a capacidade de abranger temas relacionados à escassez de água, eficiência de processos, pressão sobre a qualidade da água e planejamento do uso do solo.

A pegada hídrica total em uma área geográfica não será sustentável caso as demandas de vazões ambientais ou os padrões de qualidade da água no seu estado natural estiverem comprometidos. Portanto, todas as formas de redução da pegada hídrica contribuem para a gestão eficiente da água, e as ações devem ser direcionadas aos pontos críticos e vulneráveis, onde e quando ocorrem períodos do ano nos quais as condições ambientais mínimas não são atendidas em termos de padrões de qualidade e quantidade dos recursos hídricos.

Este trabalho, portanto, pretende trazer uma contribuição metodológica para quantificação da pegada hídrica cinza, no contexto de bacia hidrográfica, analisando os cursos d'água da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

## **2 OBJETIVOS**

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer uma metodologia que possibilite um melhor entendimento da gestão dos recursos hídricos sob o ponto de vista da sustentabilidade hídrica de um curso d' água.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Propor um método para o cálculo da vazão de subsídio;
- b) Correlacionar a vazão de subsídio com as vazões mínimas de referência; e
- c) Analisar cenários futuros e seus impactos na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica estudada.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 PEGADA HÍDRICA

O conceito de Pegada Hídrica foi introduzido pela primeira vez em 2003 com o objetivo de entender as conexões entre atividades de produção humana e a pressão sobre os recursos hídricos globais, avaliando os impactos de uma atividade de consumo de água em termos de volume utilizado por ano (LLANOS *et al.*, 2018).

O interesse pela pegada hídrica tende a ser crescente devido ao reconhecimento que os impactos nos sistemas de água doce estão relacionados com o consumo humano, tratando-se de um conceito de resolução dos problemas de escassez e poluição da água com base no estudo de cadeias de produção e de abastecimento como um todo (CORDEIRO, A.F.F., 2014).

Este conceito provém de água virtual e está inserida como um indicador para monitorar os impactos humanos sobre o ambiente, através da perspectiva da produção e do consumo, visando ilustrar as ligações entre o consumo humano e o uso da água, este medido em termos de volume de água consumido e poluído, no comércio global e na gestão dos recursos hídricos (GALLI *et al.*, 2012; MARTINS, 2014).

A pegada hídrica pode ser definida como o volume total de água utilizada durante a produção e consumo de bens e serviços por um grupo de consumidores, os quais podem se referir a uma família, empresa, cidade, estado, ou até mesmo uma Nação (EMPINOTTI e JACOBI, 2013; SILVA *et al.*, 2013).

A metodologia da Pegada Hídrica foi inicialmente aplicada a produtos agrícolas e à indústria de alimentos, a níveis de regiões e países, à produção de energia elétrica e à bacia hidrográfica, sendo o governo da Espanha o primeiro a adotar formalmente o conceito de pegada hídrica ao exigir sua análise ao nível de bacia hidrográfica na preparação dos planos de gestão de bacias (LLANOS *et al.*, 2018; RIBEIRO, 2014).

Dessa forma, a pegada hídrica pode ser considerada um indicador multidimensional quantitativo do uso da água, que mostra o volume de água consumido por fonte e o volume poluído por tipo de poluição, formada pela soma de três componentes: pegada hídrica azul, verde e cinza, levando em consideração o uso direto por um consumidor ou produtor e uso indireto (CALIJURI e CUNHA, 2012; MEKONNEN e HOEKSTRA, 2011).

A pegada hídrica azul é resultante do uso consuntivo da água proveniente de fontes superficiais e subterrâneas (águas azuis), uma vez que esta é captada, pode ser incorporada ao produto ou processo e não retorna para a mesma bacia hidrográfica escoando para outra ou para o oceano. O uso consuntivo da água refere-se a um dos seguintes casos: água evaporada ou água que não retorna no mesmo período. A pegada hídrica verde refere-se a uma parcela da precipitação que não escoa ou não repõe a água subterrânea, mas é retida no solo e consumida durante o crescimento da vegetação e é capaz de ser definida por meio de estimativas de evapotranspiração, podendo ser mais significativa no domínio agrícola. Já a pegada hídrica cinza é um indicador do grau de poluição da água, ou seja, volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes gerados, com base nas concentrações em condições naturais e nos padrões ambientais existentes (CALIJURI e CUNHA, 2012; HOEKSTRA et al., 2011).

Para o cálculo da pegada hídrica cinza, utiliza-se padrões de qualidade da água em seu estado natural para o corpo de água receptor, ou seja, padrões relacionados às concentrações máximas permitidas, uma vez que a pegada hídrica cinza tem como objetivo mostrar o volume de água nos rios necessário para assimilar efluentes químicos (HOEKSTRA et al., 2011).

Considerando a pegada hídrica em um contexto de bacia hidrográfica, seu estudo pode auxiliar, por exemplo, um comitê de bacia hidrográfica saber se as pegadas hídricas nas atividades humanas na bacia violam as demandas de vazões ambientais ou os padrões de qualidade de água em algum momento (HOEKSTRA et al., 2011).

Diante da problemática da escassez de água doce, faz-se necessária uma gestão eficaz dos recursos hídricos de forma que o acesso a esses recursos seja igualitário e sem comprometer a qualidade ambiental. Dessa

forma, o conceito da pegada hídrica apresenta como importância a otimização dos recursos hídricos, permitindo contornar os efeitos da escassez de água, baseando-se no esforço de demonstrar como tais recursos estão sendo manejados e quais as relações existentes o consumo direto e indireto da água pelo homem. Ao identificar o local e volume em que esses consumos ocorrem, a pegada hídrica possibilita uma gestão adequada dos recursos hídricos, a fim de se evitar a exploração nos locais onde se tem mais escassez e redirecionar o consumo para as regiões na quais a água apresenta maior abundância (GIACOMIN e JR, 2012; MAIA et al., 2012).

A avaliação da Pegada Hídrica permite a obtenção de informações espaciais e temporais específicas sobre o uso da água. Essas informações formam uma base para avaliação dos impactos ambientais, sociais e econômicos, além da discussão sobre o uso equitativo e sustentável da água para quantificar e localizar a pegada hídrica de um processo, produto, produtor ou consumidor ou quantificar no espaço e no tempo a pegada hídrica de uma região geográfica; avaliar a sustentabilidade ambiental e formular estratégias de resposta (CORDEIRO, 2014).

### 3.2 VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA

A água apresenta como funções a manutenção da saúde pública, desenvolvimento econômico, recreação e preservação do equilíbrio ecológico, sendo que os serviços oferecidos por ela dependem da manutenção de suas características hidrológicas, morfológicas, ecológicas e químicas. Enquanto o balanço entre a utilização e manutenção da estrutura natural permite seu uso contínuo (LANNA, BENETTI, E COBALCHINI, 2003).

Um dos componentes requeridos para dar continuidade às funções da água aos ecossistemas é a manutenção de vazões mínimas, ou seja, vazões que devem ser mantidas no rio para sustentar determinadas características do ecossistema aquático e que caracterizam a disponibilidade hídrica natural ao longo da hidrografia, contribuindo para a conservação da qualidade da água. Suas aplicações nos recursos hídricos baseiam-se no abastecimento de água, projeto de reservatórios, manutenção de quantidade e qualidade de



água para irrigação, recreação e vazão ecológica para conservação de espécies animais, podendo ainda, ser considerada um dos limitantes para concessão de outorga de direito de uso dos recursos hídricos (BESKOW et al., 2014; LANNA et al., 2003; PRUSKI et al., 2009; ULIANA et al., 2017).

A partir do uso inadequado dos recursos hídricos algumas modificações no regime hidrológico dos cursos d'água podem ocorrer, como redução da vazão média anual e alterações nas ocorrências de vazões extremas (máximas e mínimas). Esses fatores podem contribuir para a redução das vazões mínimas, e dessa forma, perder a capacidade de oferecer estabilidade ao ecossistema e aos corpos hídricos. Assim, as suficiências de um corpo receptor para prover as exigências para disposição de resíduos, abastecimento, e manutenção da qualidade da água têm sido avaliadas a partir das características de vazões mínimas (JÚNIOR, n.d.; MENDES, 2007).

A vazão mínima pode ser utilizada ainda para o planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor, alocação de cargas poluidoras e para a concessão de outorgas de captação e lançamento. A determinação das eficiências solicitadas para os tratamentos de esgotos em seus lançamentos deve ser determinada em condições críticas, isso por que essas condições críticas no corpo receptor refletem período de estiagem, ocorrendo exatamente no período de vazão mínima, onde existe uma menor capacidade de diluição do rio (SPERLING, 2014).

A vazão mínima deve ser calculada de acordo com dados fluviométricos históricos do curso de água, sendo representada pelas vazões mínimas de referência, ou seja, menores vazões das séries históricas. Os métodos mais frequentemente utilizados para o cálculo das vazões mínimas de referência são os hidrológicos, constituídos pela vazão mínima com média de sete dias consecutivos e um período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e vazão de permanência ( $Q_{90}$  ou  $Q_{95}$ ) (BELICO et al., 2013; CHAVES et al., 2002; SPERLING, 2014).

A  $Q_{7,10}$  têm sido utilizada em estudos de qualidade de água de modo a determinar a eficiência com que poluentes devem ser removidos em estações

de tratamento de águas residuárias, para não ocorrer violação dos padrões de qualidade da água em corpos receptores (LANNA et al., 2003). Além disso, diversas legislações ambientais de proteção da qualidade de corpos d'água e estudos de abastecimento de água e outorga a utilizam. Vale ressaltar que em cursos de água intermitentes, a vazão  $Q_{7,10}$  usualmente é igual a zero, pelo fato de prevalecerem, no período de seca de cada ano, vazões nulas na calha do rio (SPERLING, 2014).

Com relação às vazões de permanência, estas utilizam valores da curva de permanência para estabelecer as vazões mínimas em uma base mensal ou anual. A curva de permanência é calculada por meio dos dados fluviométricos, enquanto a permanência de cada vazão observada é o percentual de vezes em que ela foi igualada ou superada (LANNA et al., 2003).

Os percentuais mais comuns são  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , que significam a vazão em que 90% ou 95% dos dados diários de vazão da série são iguais ou superiores a ela, ou seja, 10% ou 5% das vazões diárias, respectivamente, são inferiores. Pela forma da curva de permanência, onde são extraídos tais percentuais, podem ser feitas inferências sobre as características da bacia hidrográfica e seu correspondente regime hidrológico (SPERLING, 2014).

O conceito da vazão de permanência tem sido utilizado por órgãos ambientais em estudos de avaliação de impacto ambiental e atendimento a legislação, sendo esta vazão mais fácil de ser determinada e melhor compreendida quando comparada a  $Q_{7,10}$ .

Para fins de outorga de captação de águas superficiais, alguns órgãos gestores utilizam o conceito de  $Q_{90}$  ou  $Q_{95}$ , ao passo que outros utilizam o conceito de  $Q_{7,10}$  para seus estados. Por exemplo, o órgão gestor IGAM-MG e DAEE-SP utilizam a  $Q_{7,10}$ , enquanto SRH-BA e SEMARH-GO utilizam  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , respectivamente (ANA, 2005).

Já a vazão de referência é determinada como estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização da água em curso d'água, e se torna-se um procedimento adequado para a proteção de rios e córregos. Para a vazão de diluição, esta é definida como quantidade de água necessária para diluir as cargas de efluentes e são

calculadas separadamente em função da natureza do poluente, e para fins de lançamento de efluentes, esta é fixada de forma compatível com a carga poluente, podendo variar ao longo do prazo de duração de uma outorga, em função da concentração máxima de cada indicador de poluição estabelecida pelo Comitê de Bacia Hidrográfica ou, na falta deste, pelo poder outorgante. Sabendo-se da carga depurativa dos corpos hídricos, faz-se possível reconhecer se este se encontra dentro da qualidade desejada ou permitida dentro do enquadramento de classes. (RIBEIRO, 2003; SILVA et al., 2006).

### 3.3 QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA

Em ambientes urbanos a degradação da água têm se tornado uma problemática devido ao aumento das cargas de poluentes geradas por atividades do entorno dos corpos d'água. Com o aumento da densidade urbana e uso dos recursos naturais, os rios não conseguem assimilar cargas crescentes de poluentes, provocando prejuízos ao ecossistema e na qualidade da água (PETRY, HAMESTER e MARQUES, n.d.; TUCCI, 1997).

Além dos problemas relacionados à qualidade da água, como contaminação de mananciais e alterações de parâmetros físicos, químicos e biológicos que impedem seu uso para abastecimento humano, há também aqueles relacionados à quantidade de água, representados pela escassez, estiagens e cheias (BRAGA et al., 2005).

O clima representa o principal fator de origem natural que possui a capacidade de afetar as características das águas naturais, principalmente no regime de precipitações. Nos períodos de estiagem prolongada, nos quais ocorre o decréscimo da vazão nos corpos hídricos, há a tendência do aumento do impacto do lançamento de efluentes domésticos e industriais nos cursos d'água, como consequência da redução da capacidade de diluição e assimilação da carga afluente. Tais fatores concorrem para que ocorra a elevação da concentração de contaminantes nas águas naturais, além da redução do teor de oxigênio dissolvido (LIBÂNIO, 2016).

Os diversos usos da água, tais como abastecimento, irrigação, geração de energia, navegação, requerem o atendimento de patamares de qualidade e

quantidade nos sistemas hídricos, e a sustentabilidade ambiental depende da conciliação entre os usos múltiplos e oscilações espaciais e sazonais dos aspectos qualitativos e quantitativos dos cursos de água, sejam variações naturais ou aquelas induzidas pelo impacto da ação humana (CUNHA et al., 2012).

Portanto, existem duas formas de caracterizar os recursos hídricos. A primeira, diz respeito à sua quantidade e, a segunda, à sua qualidade, estando essas características intimamente ligadas. Com relação à qualidade da água, esta depende diretamente de sua quantidade de água existente para diluir, dissolver e transportar as substâncias benéficas e maléficas para os seres que compõem as cadeias alimentares, e para todo o ecossistema envolvido (BRAGA et al., 2005).

O uso irracional dos recursos hídricos possui a capacidade de gerar conflitos entre usuários de diversos setores, decorrente do fato da disponibilidade hídrica não ser ilimitada. Dessa forma, muitos aproveitamentos hídricos conduzem alterações de grande impacto nas características espaciais e temporais, tanto na quantidade como na qualidade do escoamento natural modificando, assim, o comportamento do regime hidrológico dos cursos d'água a jusante do aproveitamento. (JÚNIOR, n.d.)

Essas modificações do regime hidrológico são caracterizadas como redução da vazão média anual, alteração da época de ocorrências de vazões extremas, da velocidade de escoamento superficial e profundidade da lâmina de água que possui influência direta na qualidade de água. Todos esses fatores contribuem para a redução de vazões mínimas, de forma a perder a capacidade de oferecer estabilidade ao ecossistema, bem como aos corpos hídricos envolvidos (JÚNIOR, n.d.).

Portanto, a vazão de um curso d'água receptor influencia o comportamento hidráulico do rio, resultando de uma complexa interação de processos de armazenamento e transporte do ciclo hidrológico, estando ainda associada diretamente à capacidade de diluição de despejos afluentes, que conseqüentemente relaciona-se com a qualidade das águas (SPERLING, 2014).

Sendo assim, para que a manutenção da qualidade das águas naturais seja realizada e sua preservação mantida, por meio de medidas de controle, deve-se levar em consideração a legislação ambiental vigente, que abrangem o padrão de potabilidade, através da Portaria 2914 (2011), padrão de corpos de água, por meio da Resolução CONAMA 357 (2005) e padrão de lançamento a partir das Resoluções CONAMA 357 (2005) e 430 (2011) (SPERLING, 2014).

### 3.4 ÍNDICES E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Como definição, pode-se afirmar que o índice é um conjunto agregado ou ponderado de parâmetros ou indicadores, com um peso relativo associado a cada elemento. Já os indicadores correspondem a dados brutos agregados, cujo resultado da combinação amplia seu significado (LIBÂNIO, 2016).

Dessa forma, os indicadores são instrumentos que permitem identificar as modificações ocorridas nas características de um sistema, tornando-se possível a avaliação de sua sustentabilidade. Além disso, um indicador é formado por um conjunto de índices que fornecem informações, por meio da mensuração de elementos e fenômenos da realidade (CAMPOS, RIBEIRO, VIEIRA, 2014; DEÁK, 2012).

Os indicadores ambientais representam o estado do meio ambiente, relacionando-se com sua qualidade e com os problemas ambientais provenientes das atividades antrópicas, e possuindo a capacidade de descrever os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos ambientais (DEÁK, 2012).

Com relação aos indicadores de sustentabilidade, estes são desenvolvidos para atender diferentes objetivos, verificando-se que os fatores que influenciam a sustentabilidade podem variar com relação à escala geográfica utilizada. Em se tratando de indicadores de sustentabilidade hídrica, a escala geográfica natural para sua aplicação é uma bacia hidrográfica, de forma a garantir a análise integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (CAMPOS, RIBEIRO, VIEIRA, 2014).

Já os índices, podem ser entendidos como resultado da combinação de um conjunto de parâmetros associados através de uma relação pré-estabelecida que dá origem a um único valor. No índice são atribuídos valores relativos a cada parâmetro que o compõe, sendo assim, este é capaz de quantificar, simplificar e expressar de forma resumida fenômenos complexos e torná-los quantificáveis a partir da agregação de dados (DEÁK, 2012).

Um índice de sustentabilidade deve inicialmente se referir a elementos relativos da sustentabilidade de um sistema, considerando para tal a explicação dos mecanismos e lógicas atuantes na área de análise e quantificações dos fenômenos relevantes que ocorrem no sistema. Dessa forma, torna-se possível conhecer como a ação humana afeta o entorno do sistema, alertar sobre os riscos presentes, prever situações futuras e auxiliar na tomada de decisões (SICHE, 2007).

## 4 METODOLOGIA

A fim de atender aos objetivos propostos, a metodologia foi dividida, basicamente, em três partes: 1) apresentação do método para o cálculo da vazão de subsídio e definição da bacia hidrográfica utilizada no estudo; 2) a correlação da vazão de subsídio com as vazões mínimas de referência por meio do uso de índices de sustentabilidade hídrica; e 3) a análise de cenários futuros e seus impactos na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica estudada. Cada uma destas partes é mais bem detalhada na sequência. Fluxogramas sintetizando cada etapa metodológica estão apresentados no APÊNDICE A.

### 4.1 VAZÃO DE SUBSÍDIO

Na Equação 1 está apresentada a metodologia desenvolvida para o cálculo da vazão de subsídio (ou vazão de diluição). A metodologia permite o cálculo da vazão de subsídio referente ao afluente que passa pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e ao afluente que é lançado, sem tratamento (esgoto bruto), no curso d'água. Esta equação foi baseada na equação na Pegada Hídrica Cinza proposta por Hoekstra et al. (2011).

$$Q_s = Q_{ETE} \cdot \frac{[C_{b\ ETE} (1-\eta) - C_{max}]}{C_{max} - C_{nat}} + Q_{EB} \cdot \frac{[C_{b\ EB} - C_{max}]}{C_{max} - C_{nat}} \quad (1)$$

Em que,

$Q_s$ : vazão de subsídio ou de diluição (L.s<sup>-1</sup>);

$Q_{ETE}$ : vazão afluente na ETE (L.s<sup>-1</sup>);

$C_{b\ ETE}$ : concentração afluente de poluente que chega na ETE (mg.L<sup>-1</sup>);

$Q_{EB}$ : vazão de esgoto bruto (L.s<sup>-1</sup>);

$C_{b\ EB}$ : concentração afluente de esgoto bruto (mg.L<sup>-1</sup>);

$\eta$ : nível de tratamento da ETE (adimensional e varia entre 0 e 1);

$C_{max}$ : concentração máxima de poluente considerada para a classe do rio desejada ( $\text{mg.L}^{-1}$ ); e

$C_{nat}$ : concentração de poluente para um rio natural ( $\text{mg.L}^{-1}$ ).

Os quocientes da equação representam os fatores de diluição referente ao poluente que passou por tratamento e ao que não passou, respectivamente. O fator de diluição representa o número de vezes em que o volume de efluente deve ser diluído com a água natural a fim de atingir a concentração máxima aceitável.

Importante ressaltar que o cálculo da vazão de subsídio só deve ser considerado quando a concentração do afluente (esgoto tratado ou esgoto bruto) for maior do que a concentração máxima aceitável.

Neste trabalho, o parâmetro considerado para analisar a poluição do curso d'água foi a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Quanto maior o grau de poluição, maior a DBO.

Os valores de concentração máxima de DBO para a classe do rio desejada e para um rio natural foram obtidos considerando a resolução CONAMA 357/2005. Esta resolução dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

As demais informações (vazão afluente, vazão do corpo receptor, concentração de DBO afluente antes de passar por tratamento e concentração de DBO lançada após passar por tratamento) foram obtidas por meio do “Atlas de Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas” disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA). No referido Atlas é possível ter acesso ao “Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal” e ao “Mapa do Sistema de Tratamento de Esgoto” existente (além de mapa do sistema com solução alternativa avaliada), por município, e para qual curso d'água o lançamento é destinado. Exemplos de Relatório e de Mapas estão apresentados no ANEXO A.



O valor da concentração de DBO para um curso d'água em condições naturais  $C_{nat}$  é de 2 mg.L<sup>-1</sup> (CONAMA 357/2005).

O parâmetro nível de tratamento ( $\eta$ ) da ETE foi calculado pela Eq. 2:

$$\eta = \frac{\text{Carga gerada} - \text{Carga lançada}}{\text{Carga gerada}} \quad (2)$$

Em que, carga gerada e carga lançada são expressas em kg<sub>(DBO)</sub>.dia<sup>-1</sup>

Vale ressaltar que a metodologia proposta pode ser aplicada a qualquer curso d'água, em qualquer bacia hidrográfica de interesse que disponha de informações suficientes para seu cálculo.

Neste trabalho, a área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, na sua parte paulista, e suas principais características estão apresentadas no item "4.2". O cálculo da vazão de subsídio se deu para todos os municípios da referida bacia hidrográfica. Os dados utilizados nos cálculos estão apresentados no APÊNDICE B.

## 4.2 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (parte paulista) possui área de drenagem de 14.444 km<sup>2</sup> e uma população estimada em 1.966.728 habitantes (ANA, s/d). Seus principais rios constituintes são compostos pelo Paraibuna, Jaguari, Uma, Buquira/Ferrão, Embaú/Piquete, Bocaina e Pitangueiras/Itagaçaba.

As principais atividades econômicas dessa região estão relacionadas à agropecuária (sobretudo cultivo de arroz), indústria e pesquisa em tecnologia (setores automobilístico e aeroespacial), mineração de área, turismo e serviços. Quanto à sua vegetação remanescente, apresenta 3.846 km<sup>2</sup> de vegetação natural, a qual ocupa aproximadamente 26,5 % da área da unidade.

A Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul desempenha um papel importante, uma vez que está localizada entre os maiores polos industriais e populacionais do País. Além do fato de se destacar pelos conflitos de usos múltiplos da água e pelo desvio das águas para a Bacia Hidrográfica do rio Guandu para geração de energia e abastecimento da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Os principais usos da água na bacia hidrográfica são abastecimento (14,2 milhões de pessoas), irrigação, geração de energia hidrelétrica e diluição de esgotos. Este último é uma das principais fontes de poluição do rio Paraíba do Sul, apresentando um estado de degradação acentuado, principalmente nos trechos que cruzam as áreas urbanas.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração na bacia relaciona-se com a ocorrência de desastres naturais e aqueles causados por atividades antrópicas.

Na Figura 1 está apresentada a bacia hidrográfica e as sete estações fluviométricas utilizadas, no estudo, ao longo do curso de água principal e na Figura 2 tem-se a bacia no contexto dos estados de abrangência.

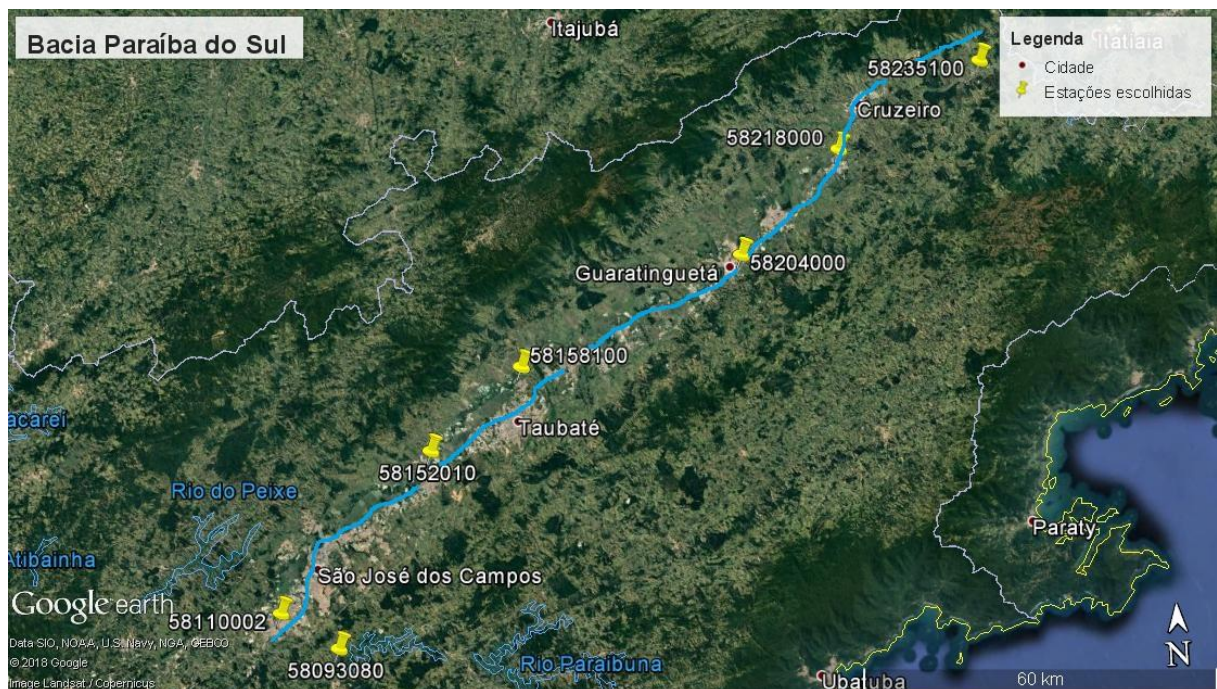


Figura 1- Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (parte paulista) e as estações fluviométricas consideradas no estudo de vazões mínimas de referência.

Fonte: (Google Earth).

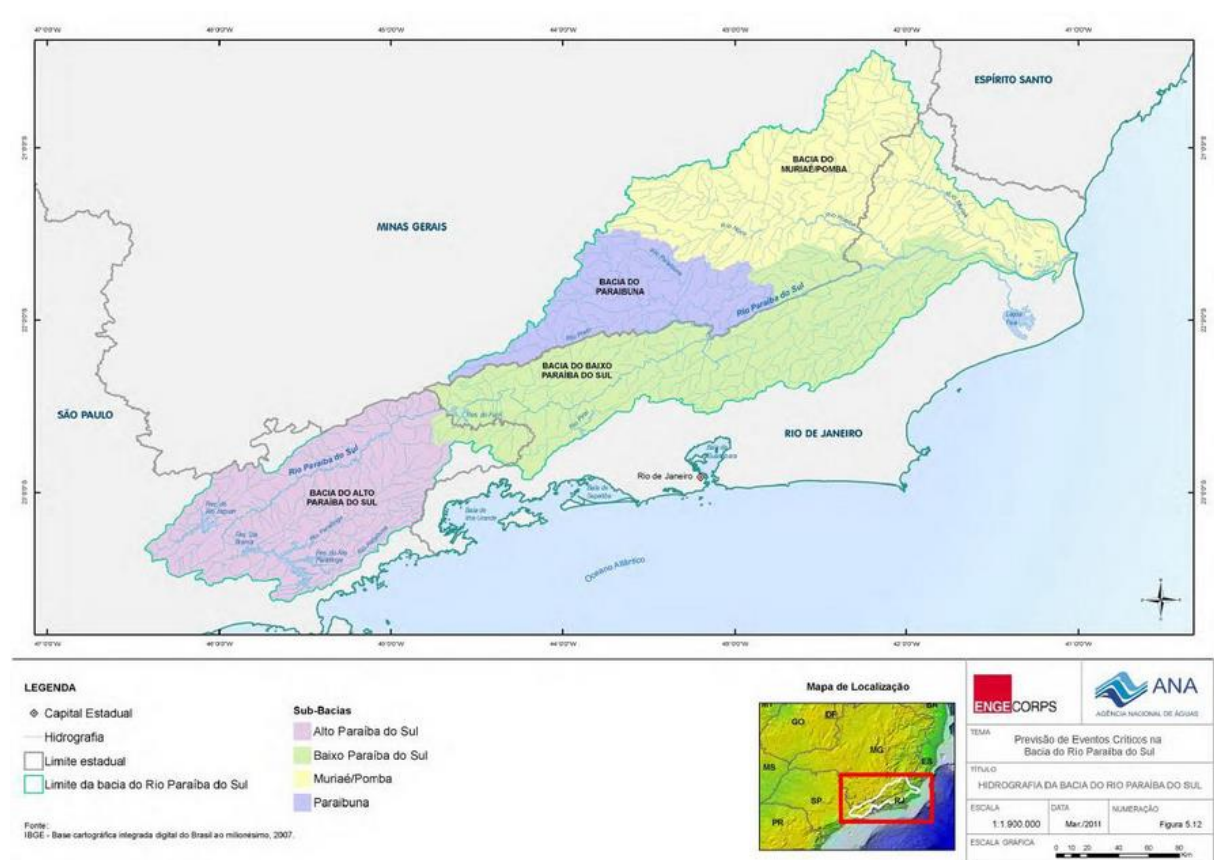


Figura 2 - Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul no contexto dos estados de abrangência.

Fonte: (ANA, s/d).

### 4.3 VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA

Para o cálculo das vazões mínimas de referência definiu-se sete estações fluviométricas, as quais encontram-se dispostas ao longo do curso de água principal da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Tais estações fluviométricas estão localizadas (de montante para jusante) nos municípios de Santa Branca, Jacareí, Caçapava, Tremembé, Guaratinguetá, Cachoeira Paulista e Queluz.

Para o cálculo da vazão de permanência, utilizou-se de uma série histórica de dados diários de vazão, disposta na plataforma Hidroweb, pertencente à ANA. Por meio dos dados diários, determinou-se uma média de vazão para cada ano da série e com as médias anuais calculou-se uma nova média, chamada de longo período. Dessa forma, identificou-se o ano da série que apresentava a média mais próxima da média geral e organizou-se seus dados diários de vazão em ordem decrescente. Feito a ordenação, calculou-se a frequência observada por meio da Equação 3:

$$F_{obs} = \frac{m}{n+1} \quad (3)$$

Em que,

$F$ : frequência;

$m$ : número de ordem; e

$n$ : número total de dados da série histórica.

A partir dos valores diários de vazão e de suas respectivas frequências, um gráfico composto da frequência *versus* vazão foi plotado e dele retirou-se a informação da vazão de permanência de 95%.

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$  também utilizou-se as mesmas séries históricas do cálculo da vazão de permanência. Para cada ano da série, fez-se a média móvel de sete dias dos dados diários de vazão e então verificou-se a menor média dentre as médias móveis. Dessa forma, cada ano da série foi composto por uma média, no caso, a menor dentre as médias móveis e, a partir destes dados, calculou-se novamente a média e desvio padrão. Para dar prosseguimento aos cálculos, foi definido a distribuição de probabilidade Gumbel para mínimos, na qual os dados de menor média são ordenados de forma crescente fazendo-se necessário o cálculo da frequência observada da Equação 3, média e desvio padrão, cálculos de  $\alpha$  e  $\mu$  pelo método dos momentos apresentados nas Equações 4 e 5, além da frequência teórica na Equação 6:

$$\alpha = \frac{1,2826}{\text{desvio padrão amostral}} \quad (4)$$

$$\mu = \text{média} + 0,45 * \text{desvio padrão amostral} \quad (5)$$

$$F_{teorica} = [1 - EXP(-EXP(\alpha(x - \mu)))] \quad (6)$$

Em que,

$x$ : valor da vazão mínima ordenada de forma crescente.

Por fim, adotou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, no qual torna-se necessário o cálculo das diferenças absolutas entre as frequências observada e teórica (distribuição de probabilidade), verificando a maior diferença absoluta e comparando com o valor tabelado, que é função do tamanho da amostra e nível de significância, nesse caso, de 0,05 (5%).

Se o valor calculado for menor que o tabelado, a distribuição adequa-se aos dados analisados, e estima-se a vazão mínima de 7 dias em função do período de retorno através da Eq. 7:

$$X_{TR} = \frac{\ln(-\ln(1-\frac{1}{TR}))}{\alpha} + \mu \quad (7)$$

Em que,

$X_{TR}$ : Vazão mínima de 7 dias em função do período de retorno; e

$TR$ : período de retorno (anos).

Se o valor calculado for maior que o tabelado, a distribuição não se adequa aos dados, e nesse caso, calcula-se o período de retorno pela Equação 8 e considerando o valor de vazão mínima correspondente aos 10 anos:

$$P = \frac{1}{F_{obs}} \quad (8)$$

O método exige que o período de retorno considerado seja de 10 anos.

#### 4.4 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A correlação da vazão de subsídio com as vazões mínimas de referência foi feita por meio de índices. Neste trabalho, estes índices foram definidos como índices de sustentabilidade hídrica (ISH). Os índices de sustentabilidade hídrica foram calculados para todos os municípios constituintes da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (parte paulista) como também para as sete estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal (rio Paraíba do Sul), a partir da Equação 9:

$$ISH_{ref} = \frac{Q_s}{Q_{ref}} \quad (9)$$

Em que,

$ISH_{ref}$ : Índice de sustentabilidade hídrica referente à vazão de referência;

$Q_s$ : Vazão de subsídio ( $L \cdot s^{-1}$ ); e

$Q_{ref}$ : Vazão de referência (vazão obtida no Atlas de Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas) ou do corpo receptor ( $L \cdot s^{-1}$ ).

No caso das sete estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal, utilizou-se também o relatório Atlas de Esgoto, além dos cálculos obtidos de vazões mínimas para se obter os índices de sustentabilidade hídrica referentes à: 1) vazão de referência; 2) vazão  $Q_{7,10}$ ; 3) vazão  $Q_{95\%}$ ; 4)  $Q_{7,10[no]}$ ; e 5)  $Q_{95\%[no]}$ , representadas pelas Equações 10, 11, 12, 13 e 14, respectivamente:

$$ISH_{7,10} = \frac{Q_s}{Q_{7,10}} \quad (10)$$

Em que,

$ISH_{7,10}$ : Índice referente à vazão de 7 dias e período de retorno de 10 anos;

$Q_{7,10}$ : Vazão de 7 dias e período de retorno de 10 anos ( $L \cdot s^{-1}$ )

$$ISH_{95\%} = \frac{Q_s}{Q_{95\%}} \quad (11)$$

Em que,

$ISH_{95\%}$ : Índice referente à vazão de permanência adotada como 95%; e

$Q_{95\%}$ : Vazão de permanência de 95% (L.s<sup>-1</sup>).

$$ISH_{7,10[no]} = \frac{Q_s}{Q_{7,10[no]}} \quad (12)$$

Em que,

$ISH_{7,10}$  : Índice referente à  $Q_{7,10}$  não outorgável; e

$Q_{7,10[no]}$ : Vazão de 7 dias e período de retorno de 10 anos não outorgável (L.s<sup>-1</sup>).

$$ISH_{95\%[no]} = \frac{Q_s}{Q_{95\%[no]}} \quad (13)$$

Em que,

$ISH_{95\%[no]}$  : Índice referente à  $Q_{95\%}$  não outorgável; e

$Q_{95\%[no]}$ : Vazão de permanência não outorgável (L.s<sup>-1</sup>).

Para as Equações 12 e 13, considerou-se que a vazão máxima outorgável para o órgão gestor ANA para rios federais é de 70% da  $Q_{95\%}$  (ou seja, 30% da  $Q_{95\%}$  é não outorgável) , enquanto que para o estado de São Paulo de órgão gestor DAEE, onde localiza-se a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a vazão máxima outorgável é de 50% da  $Q_{7,10}$  (ou seja, 50% da  $Q_{7,10}$  é não outorgável).

Os valores de ISH podem, com isso, ser menor do que a unidade; igual a unidade; ou superior a unidade. O valor de ISH menor que a unidade implica que a vazão daquele curso d'água analisado é superior à vazão de subsídio e suficiente para diluir o esgoto lançado. O valor de ISH maior que a unidade implica que a vazão daquele curso d'água analisado é inferior à

vazão de subsídio e insuficiente para diluir o esgoto lançado. Valor de ISH igual a unidade implica que a situação da diluição está no limite. Ressalta-se que o ISH terá influência direta, portanto, da vazão considerada no corpo d'água receptor.

#### 4.5 CENÁRIOS ANALISADOS

##### **4.5.1 Cenário atual (2013) e alternativa avaliada (2035)**

Como a vazão de subsídio foi calculada considerando os dados do “Atlas de Esgoto: Despoluição de Bacias Hidrográficas” disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA) e, no referido Atlas, foi possível ter acesso ao “Relatório de Esgotamento Sanitário Municipal” com as “Estações de Tratamento Existentes (2013)” e “Estações de Tratamento Planejadas (2035)” e aos “Mapas do Sistema de Tratamento de Esgoto”, a análise foi feita para os dois cenários, atual (2013) e alternativa avaliada (2035), por município, e para qual curso d'água o lançamento é destinado.

Os dois cenários levaram em conta os dados de todos os rios constituintes da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

##### **4.5.2 Nível de tratamento (eficiência)**

Após o cálculo da vazão de subsídio para todos os rios constituintes da bacia hidrográfica Paraíba do Sul e possuindo os dados das vazões de referência dos mesmos, possibilitou posterior comparação entre as duas vazões já citadas para o cenário atual (2013) e alternativa avaliada para o futuro (2035), ou seja, se a vazão de subsídio fosse inferior à vazão de referência do curso de água, implicava que os requisitos foram atendidos, caso contrário, procedeu-se uma manipulação de eficiências (nível de tratamento) com o intuito dos requisitos passarem a ser atendidos (obter um  $ISH < 1$ ).



Com relação à manipulação das eficiências, estas tiveram duas possibilidades de alteração: 1) considerando todo o esgoto bruto passando pela ETE, nos casos em que tal situação não ocorria, e dessa forma, manipular esta eficiência tornando a vazão de subsídio inferior à de referência; e 2) alterando a eficiência da ETE já existente, nos casos em que o esgoto bruto passasse por tratamento. Estas manipulações foram feitas isoladamente ou em conjunto, com o mesmo objetivo de tornar a vazão de subsídio inferior à vazão de referência.

#### **4.5.3 Alteração das classes dos rios**

A alteração das classes foi feita para todos os rios e córregos pertencentes à Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (parte paulista). Sabendo-se a classe de enquadramento original destes por meio do Relatório Atlas Esgoto, no caso em que a vazão de subsídio apresentava-se inferior à vazão de referência do curso de água era executada a alteração para uma classe mais restritiva, alterando a concentração adotada para a classe do rio ( $C_{max}$ ) e conseqüentemente a vazão de subsídio, e uma nova comparação entre as vazões de subsídio e referência era considerada para verificar se a relação continuava sendo atendida e se as condições físicas, químicas e biológicas dos rios eram mantidas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 VAZÃO DE SUBSÍDIO

Os valores das vazões de subsídios estão apresentados de forma separada para os rios e córregos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (parte paulista) e para as estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal (Rio Paraíba do Sul).

#### 5.1.1 Rios e córregos

Os resultados encontrados para a vazão de subsídio, para os cursos d'água dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (parte paulista), estão apresentados no APÊNDICE B. Estes resultados foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados na Figura 3, juntamente com as informações de vazões de referência. Cabe ressaltar que os valores apresentados na referida figura estão expressos considerando o logaritmo. Um exemplo das vazões de referência, para o Município de São José dos Campos, está apresentado no ANEXO A.

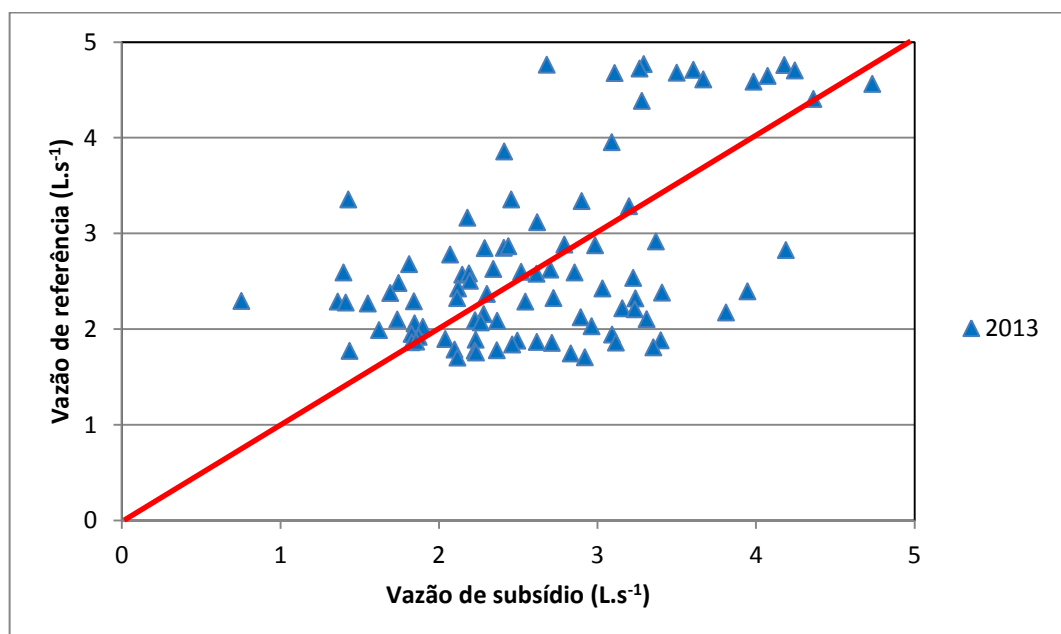


Figura 3 - Vazões de referência e subsídio (considerando o cenário atual - 2013).

Fonte: (Da autora).

Nota-se, por meio da Figura 3 que, para o referido cenário (atual - 2013) tem-se valores abaixo e acima da linha vermelha. Tal análise permite afirmar que valores abaixo da linha vermelha indicam que as vazões de subsídios são maiores que a vazões de referências. Situações deste tipo (abaixo da linha vermelha) implicam em condições onde as vazões de referências não conseguem realizar a diluição do esgoto lançado no curso d'água em questão. Trata-se, portanto, de pontos críticos de poluição na bacia hidrográfica estudada.

Isto significa uma carga de poluente (ou sua concentração) acima do permitido pela legislação, para o parâmetro aqui analisado, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Como a concentração do poluente está acima do permitido no curso d'água, haverá uma pegada hídrica cinza positiva, levando há uma degradação ambiental. Portanto, considerando o cenário atual pode-se dizer que grande parte (55%) dos cursos d'água da bacia hidrográfica tem problemas com a poluição advinda do tratamento de esgoto.

### **5.1.2 Estações da calha do rio principal**

A Tabela 1 sintetiza os resultados da vazão de permanência ( $Q_{95\%}$ ) e da vazão  $Q_{7,10}$  das sete estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul seguindo o curso d'água de montante para jusante.

Por meio da Tabela 1, percebe-se um aumento das vazões, tanto na de permanência ( $Q_{95\%}$ ) quanto na de sete dias e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ), nas estações consideradas. A ordem destas estações está de acordo com a condição de montante para jusante na bacia hidrográfica considerada, isto é, à montante indica que a estação está situada mais próxima à nascente e, portanto apresenta vazões menores. Já as estações mais à jusante, ou seja, que estão mais próximas da foz do curso de água principal recebe interferência das estações anteriores que contribuem com suas vazões, fazendo com que esta tenha valores maiores.

Tabela 1- Resultados da  $Q_{95\%}$  e  $Q_{7,10}$  para as sete estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

<b>Códigos das estações</b>	<b><math>Q_{95\%} (m^3.s^{-1})</math></b>	<b><math>Q_{7,10} (m^3.s^{-1})</math></b>
<b>58093080</b>	40,00	34,43
<b>58110002</b>	43,00	37,73
<b>58152010</b>	75,00	53,98
<b>58158100</b>	75,00	54,48
<b>58204000</b>	97,00	54,78
<b>58218000</b>	100,00	57,29
<b>58235100</b>	102,00	72,01

Fonte: (Da autora).

Nas Figuras 4 a 8, representados graficamente e estando os valores considerando a transformação logarítmica, encontram-se os resultados das vazões de subsídio *versus* vazões mínimas de referência, aqui representadas pela vazão de referência ( $Q_{ref}$ ), vazão com permanência de 95% do tempo ( $Q_{95\%}$ ) e a vazão mínima de sete dias com período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ).

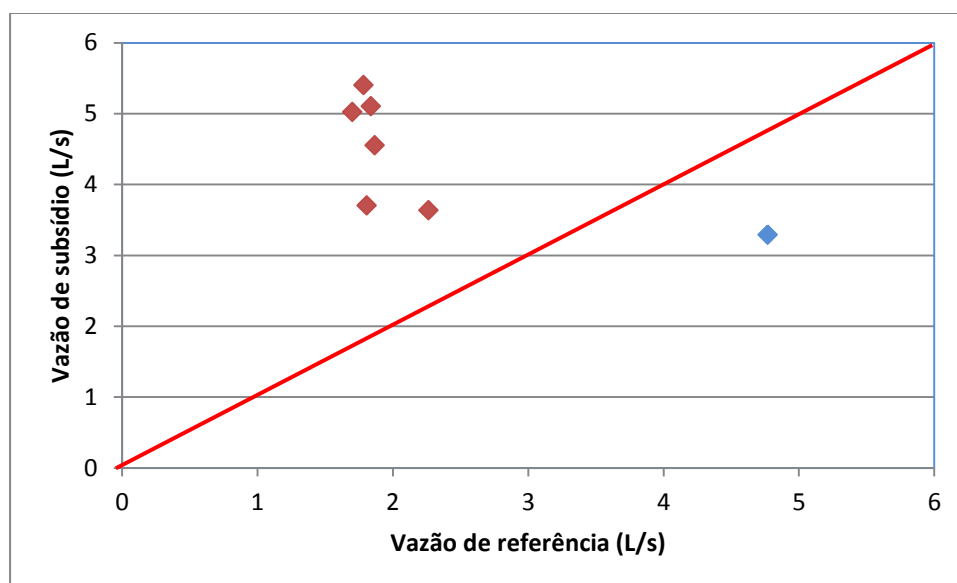


Figura 4 - Vazões de subsídio e de referência para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

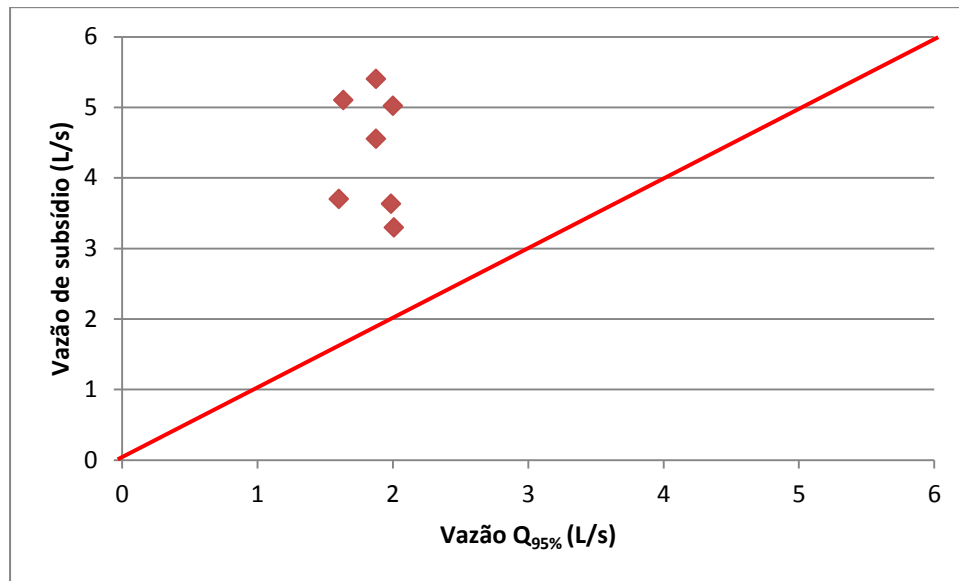


Figura 5- Vazões de subsídio e  $Q_{95\%}$  para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

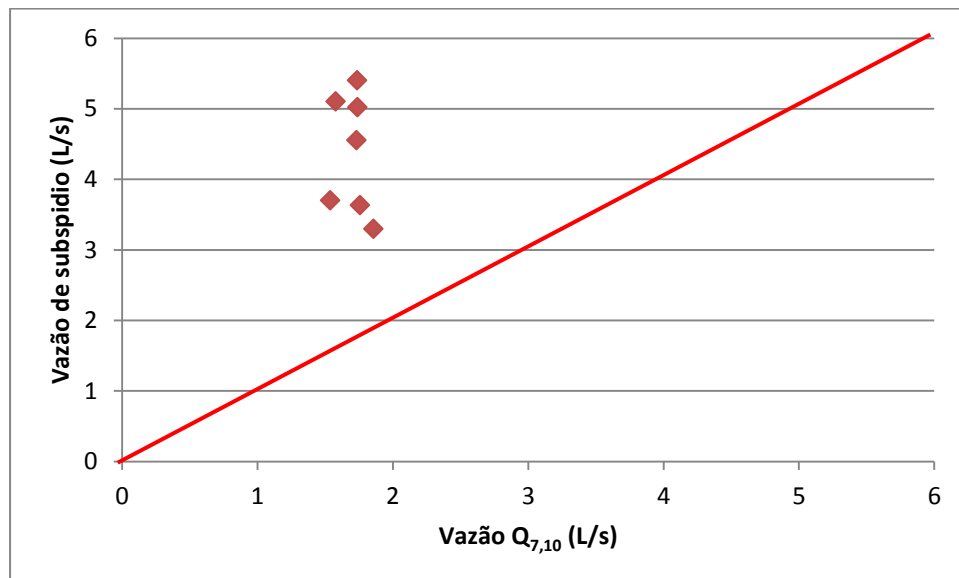


Figura 6 - Vazões de subsídio e  $Q_{7,10}$  para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

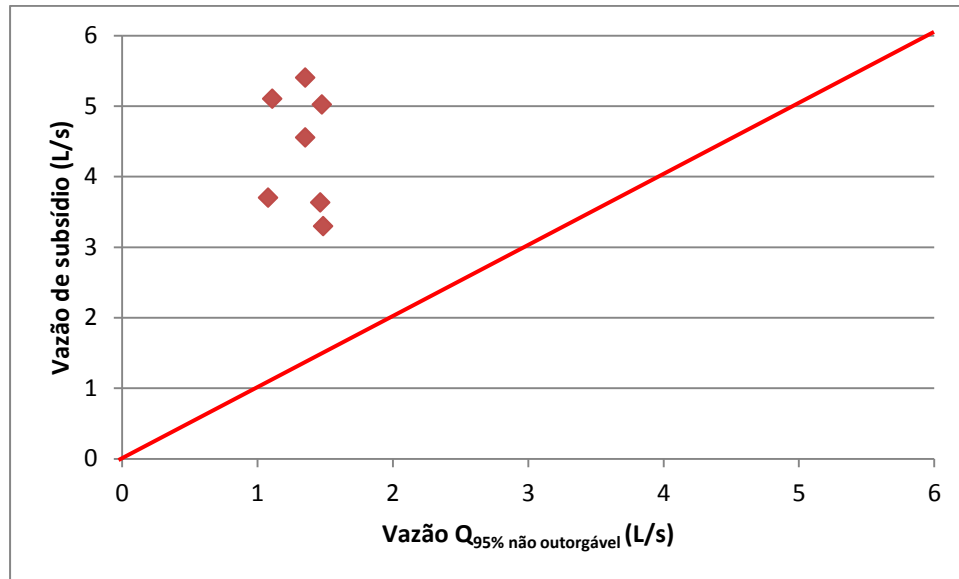


Figura 7 - Vazões de subsídio e  $Q_{95\%[no]}$  para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

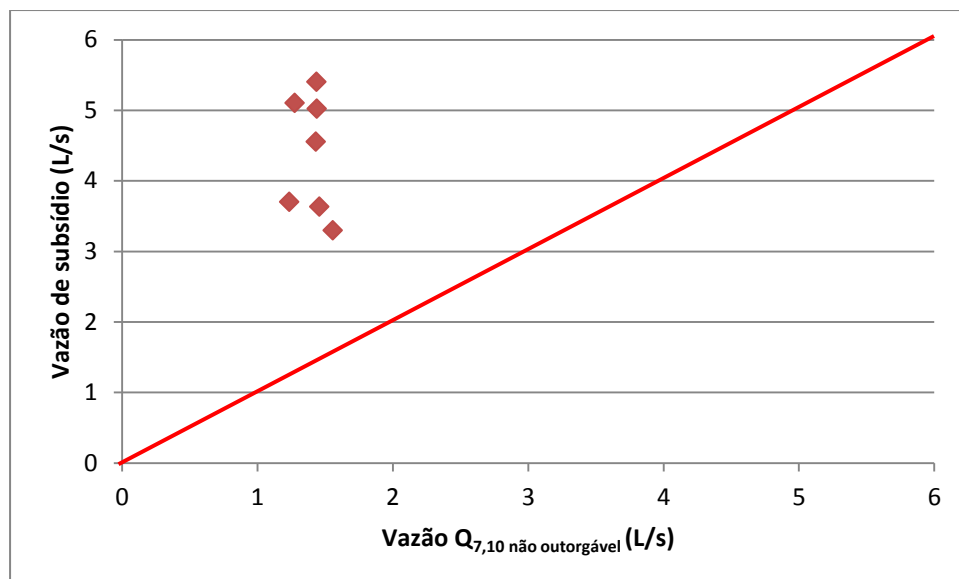


Figura 8 - Vazões de subsídio e  $Q_{7,10[no]}$  para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

Por meio das Figuras 4, 5, 6, 7 e 8 para o cenário atual temos valores abaixo (apenas um valor) e acima da linha vermelha. O que permite afirmar

que valores acima da linha vermelha indicam que as vazões de subsídios são maiores que a vazões de referências. Situações deste tipo (acima da linha vermelha) implicam em condições onde as vazões de referências não possuem a capacidade de realizar a diluição do esgoto lançado no curso d'água em questão. Trata-se, portanto, de pontos críticos de poluição na bacia hidrográfica estudada. Nota-se, também, que a vazão  $Q_{7,10}$  é mais restritiva do que a  $Q_{95\%}$ , ou seja, a primeira apresenta valores menores e com isso a disponibilidade hídrica levando em conta seu valor será menor quando comparada a segunda. No entanto, essa diferença em valores absolutos não refletem diferenças ao analisar a correlação delas com a vazão de subsídio, uma vez que independente de qual seja a vazão mínima de referência considerada, as sete estações estão acima da linha vermelha, indicando que a vazão de subsídio é maior que elas. Isso vale para a consideração das vazões  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e suas parcelas não outorgáveis. A comparação dos gráficos possibilita notar que a vazão de referência ( $Q_{ref}$ ) é a menos restritiva das vazões correlacionadas com a vazão de subsídio. Isso quer dizer que uma análise com esta vazão pode subestimar os pontos críticos de poluição do rio principal da bacia hidrográfica estudada, indicando uma pegada hídrica cinza com menos pontos críticos do que de fato ocorre quando se leva em conta a  $Q_{7,10}$  ou  $Q_{95\%}$ . De qualquer forma, apenas uma seção apresenta vazão de subsídio inferior à vazão de referência ( $Q_{ref}$ ). Portanto, independente da vazão mínima de referência considerada ( $Q_{ref}$ ,  $Q_{95\%}$  ou  $Q_{7,10}$ ), as seções correspondentes às estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal são pontos críticos em que a vazão necessária à diluição da carga de efluente é inferior às vazões mínimas e, assim sendo, apresentam pegada hídrica positiva.

## 5.2 ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Os valores dos Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH) estão apresentados de forma separada para os rios e córregos da Bacia

Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (parte paulista) e para as estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal (Rio Paraíba do Sul).

### 5.2.1 Rios e córregos

Os resultados de Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH) para os rios e córregos do cenário atual (2013) foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados na Figura 9, juntamente com os percentuais de cursos d'água analisados. Foram 94 corpos hídricos analisados para este cenário.

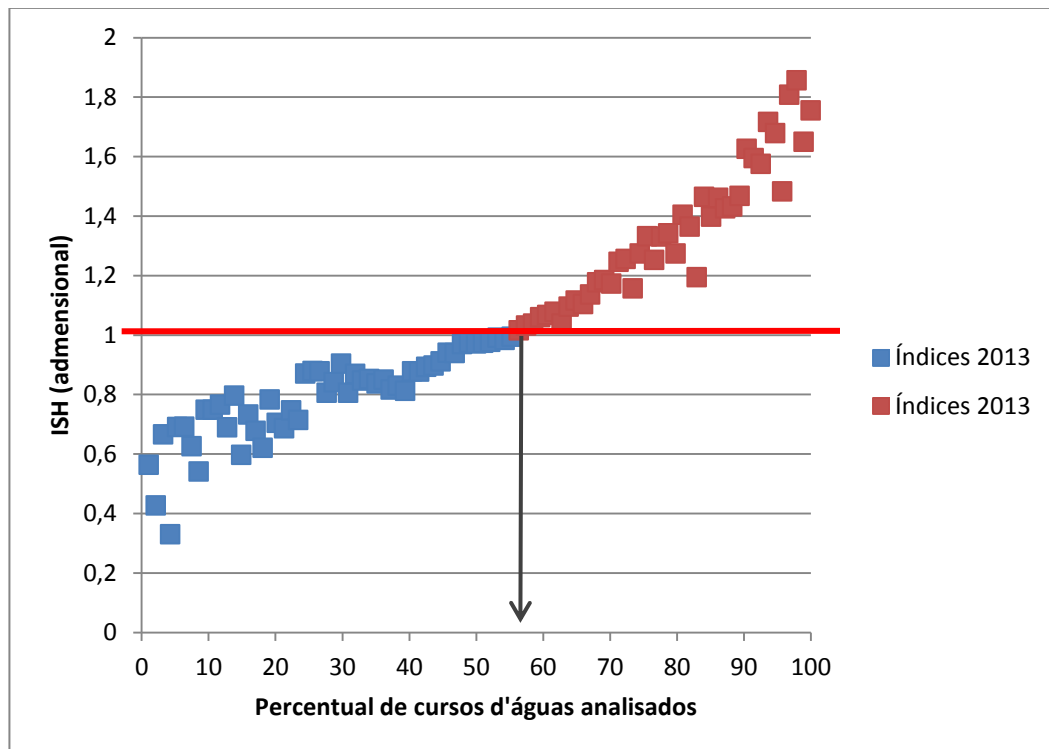


Figura 9 - Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH) do cenário atual.

Fonte: (Da autora).

A partir da Figura 9, pode-se inferir que 55% da totalidade dos cursos d'água possuem índices com valores inferiores à unidade ( $ISH < 1$ ), concluindo que, para estes casos, a vazão de subsídio é inferior à vazão de referência, possuindo o corpo hídrico a capacidade de realizar a diluição de carga de efluente lançado, não possuindo problemas com a poluição advinda



do tratamento de esgoto. No entanto, 45% dos cursos d'água estão em condições de degradação ambiental. Esse percentual pode ser considerado elevado, para uma análise no contexto de uma bacia hidrográfica.

### 5.2.2 Estações da calha do rio principal

Os resultados dos índices de sustentabilidade hídrica para as estações da calha do rio principal do cenário atual (2013) foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados nas Figuras 10, 11, 12, 13 e 14.

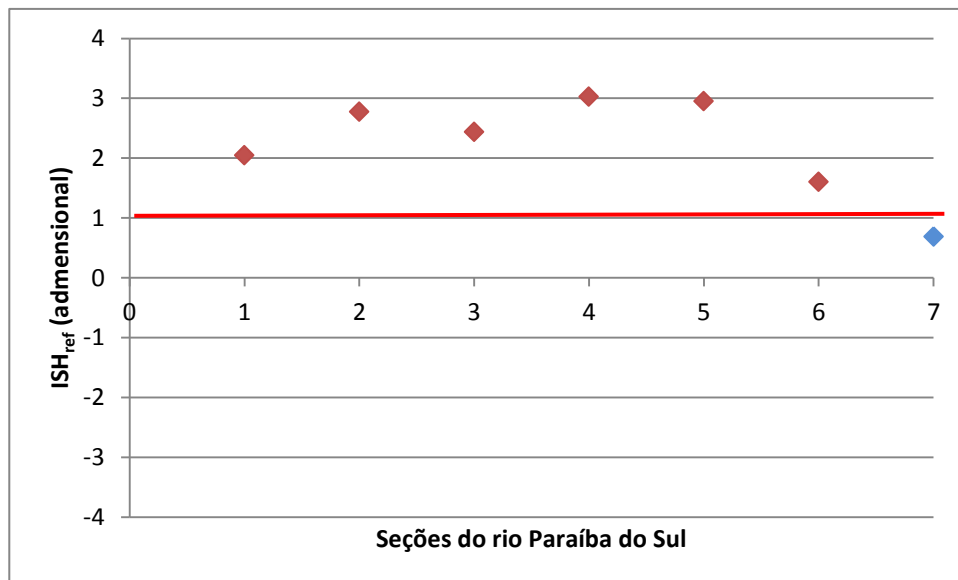


Figura 10- Índices de referência (ISH<sub>ref</sub>) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

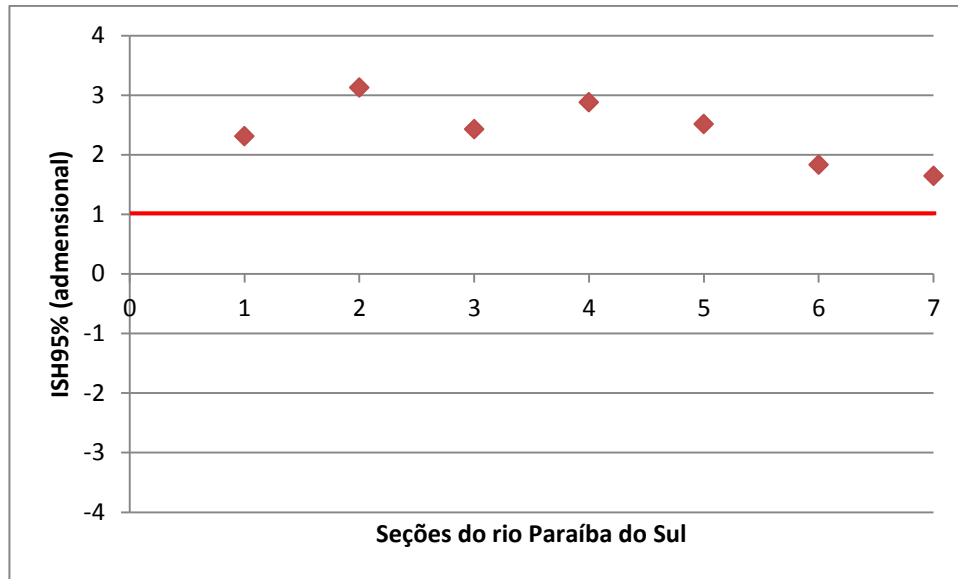


Figura 11 - Índices ( $ISH_{95\%}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

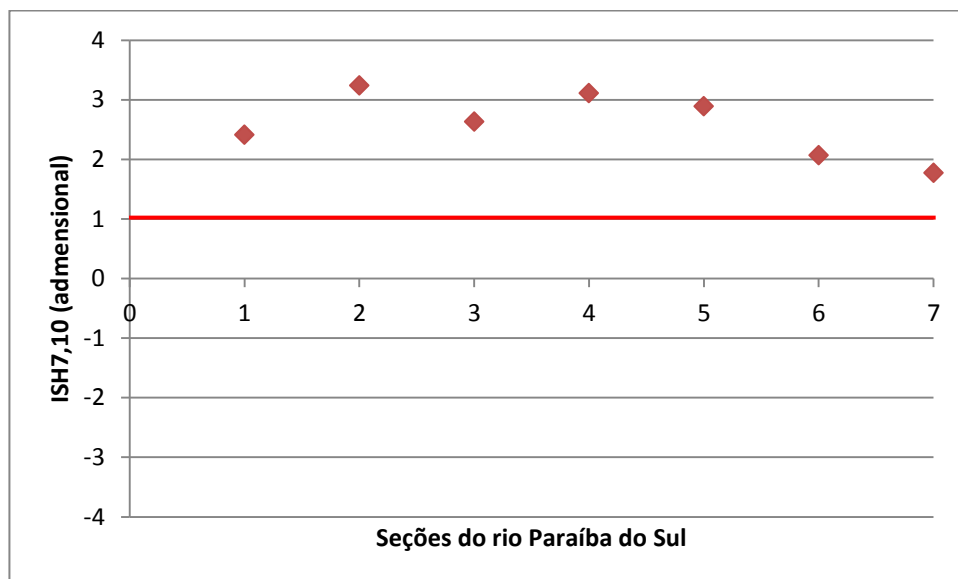


Figura 12- Índices ( $ISH_{7,10}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

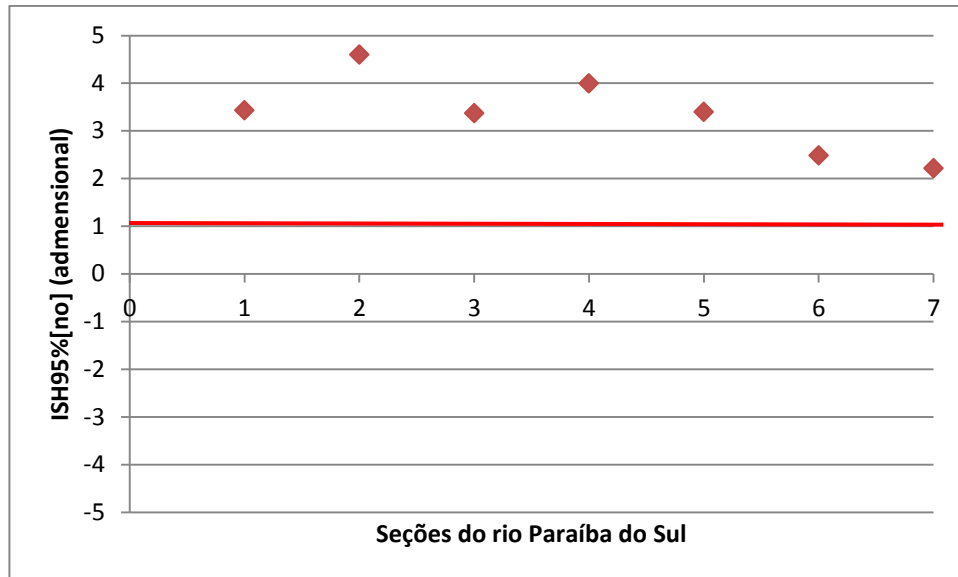


Figura 13 - Índices ( $ISH_{95\%[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

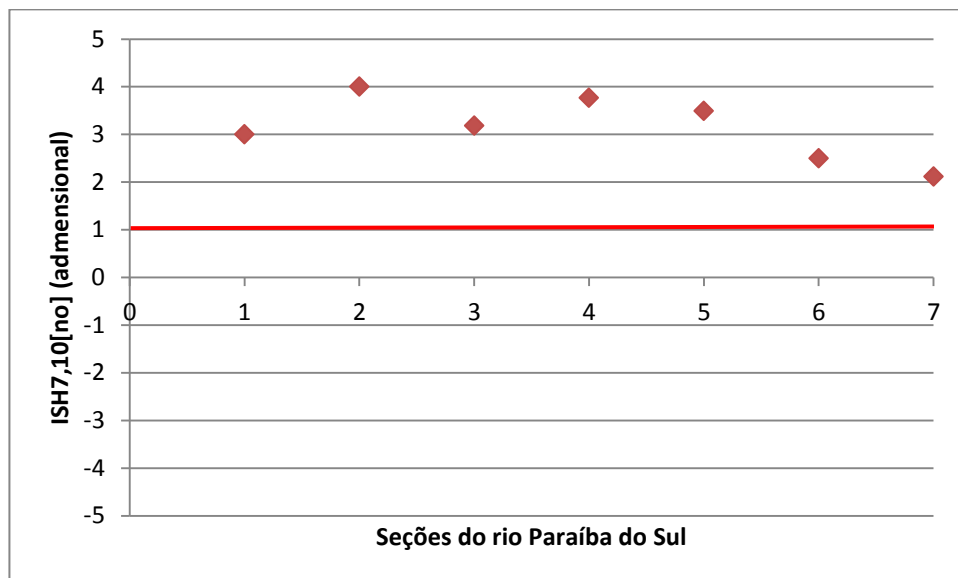


Figura 14 - Índices ( $ISH_{7,10[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário atual (2013).

Fonte: (Da autora).

Com as Figuras 10, 11, 12, 13 e 14, infere-se que estas apresentam valores acima e abaixo do eixo vermelho. Valores acima indicam vazão de subsídio superior à vazão mínima de referência ( $Q_{ref}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{7,10}$ ) e, portanto apresentam problemas com a capacidade de diluição de cargas de efluentes. Tais figuras relacionam-se com as Figuras 4, 5, 6, 7 e 8, uma vez que os gráficos de vazões apresentam valores acima e abaixo da linha vermelha e quando estes valores estão acima, conseqüentemente são evidenciados no gráfico dos ISH resultados superiores a unidade. No caso de valores abaixo da linha, o gráfico dos índices resultará em resultados inferiores a unidade.

Enquanto valores abaixo da linha vermelha indicam que a vazão de subsídio é inferior à de referência, conseguindo realizar a diluição das cargas de efluentes lançadas. O gráfico de vazões apresentam valores acima e abaixo da linha vermelha, quando estes valores estão abaixo, conseqüentemente são evidenciados no gráfico dos índices de sustentabilidade hídrica (ISH) resultados inferiores à unidade ( $ISH < 1$ ). Apenas a correlação da vazão de subsídio com a vazão  $Q_{ref}$  para a estação Queluz (Figura 10) apresentou valor de  $ISH < 1$ . Nos demais casos (Figuras 10 a 14) os valores de ISH ficaram acima da linha vermelha e, portanto, os valores de ISH foram superiores à unidade ( $ISH > 1$ ).

### 5.3 CENÁRIOS ANALISADOS

#### **5.3.1 Cenário atual (2013) e alternativa avaliada (2035)**

Os cenários analisados estão representados pelos os anos de 2013, como atual, e o de 2035, como futuro, a título de comparação e observação de mudanças nos comportamentos das vazões de subsídio e Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH).

##### 5.3.1.1 Rios e córregos

Os resultados encontrados para a vazão de subsídio para os cenários atual e futuro, para os cursos d'água dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (parte paulista), estão dispostos em forma gráfica, em escala logarítmica, e estão apresentados na Figura 15, juntamente com as informações de vazões de referência. Os resultados de vazão de subsídio e índices do cenário futuro (2035) estão apresentados no APÊNDICE C.

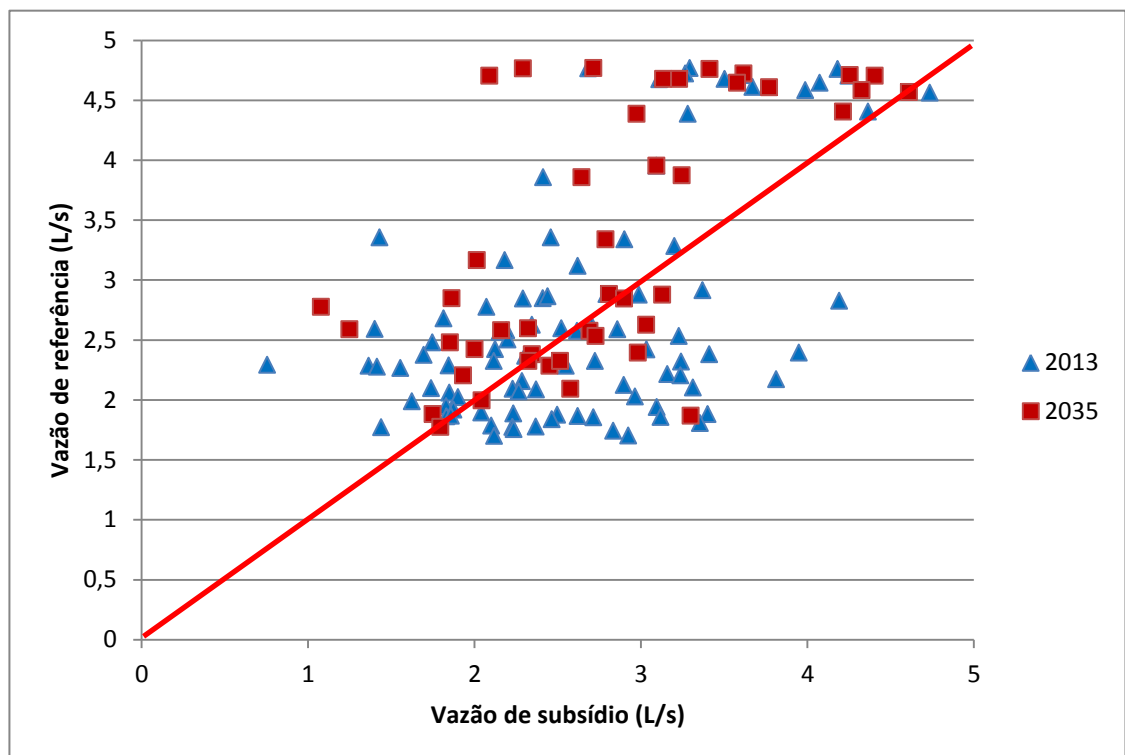


Figura 15 - Vazões de referência e subsídio (considerando o cenário atual e futuro).

Fonte: (Da autora).

Por meio da Figura 15, do mesmo modo que na Figura 3, tem-se para os dois cenários em questão valores abaixo e acima da linha vermelha. Tal análise permite afirmar que valores abaixo da linha vermelha indicam que as vazões de subsídios são maiores que a vazões de referências. Situações deste tipo (abaixo da linha vermelha) implicam em condições onde as vazões de referências não conseguem realizar a diluição do esgoto lançado no curso

d'água em questão. Trata-se, portanto, de pontos críticos de poluição na bacia hidrográfica estudada.

Considerando o cenário futuro pode-se dizer que aproximadamente 70,5% dos cursos d'água da bacia hidrográfica estudada não irão apresentar problemas com a poluição advinda do tratamento de esgoto. Ou seja, 29,5% dos cursos de água, considerando uma alternativa avaliada para o cenário futuro (2035) ainda não irão apresentar capacidade de diluição das cargas de efluentes lançados. Nota-se, então, uma melhora importante nas condições de diluição na comparação dos dois cenários (2013 e 2035), uma vez que para o cenário atual 55% dos corpos hídricos da bacia hidrográfica estudada não irão apresentar problemas com a poluição advinda do tratamento de esgoto. Entretanto, a situação apresentada está longe do ideal, o que seria 100% dos corpos hídricos sem problema com a diluição do esgoto, levando a uma pegada hídrica cinza nula, que seria o objetivo a ser alcançado por todo órgão gestor de bacias hidrográficas.

Os resultados das correlações entre a vazão de subsídio e a vazão de referência ( $Q_{ref}$ ) foram também expressos por meio de Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH), para os rios e córregos considerando os cenários atual e futuro (2013 e 2035), foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados na Figura 16, juntamente com os percentuais de cursos d'água analisados. Comparando-se os dois cenários nota-se uma melhora no percentual de cursos d'água com  $ISH > 1$  (de 45% no cenário atual para 29,5% no cenário futuro). No entanto, essa condição de alternativa futura avaliada, implica em situação de pegada hídrica cinza positiva em 29,5% do corpo hídrico da bacia hidrográfica estudada. Ou seja, melhora, mas não resolve o problema da poluição por despejos de poluentes.

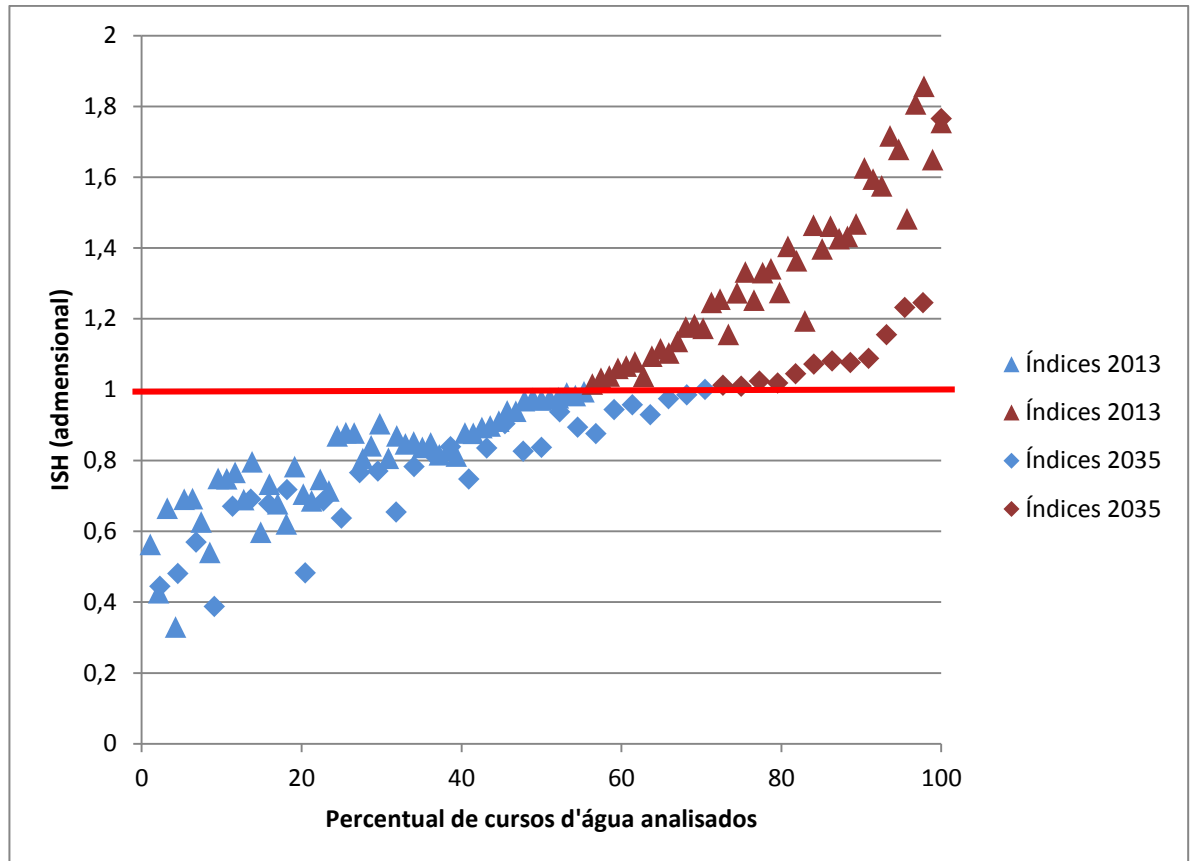


Figura 16 - Índices de sustentabilidade hídrica (ISH) para os cenários atual (2013) e futuro (2035).

Fonte: (Da autora).

### 5.3.1.2 Estações fluviométricas da calha do rio principal

Os resultados dos Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH) para as estações da calha do rio principal do cenário futuro (2035) foram sintetizados em forma gráfica e estão apresentados nas Figuras 17, 18, 19, 20 e 21. Os resultados das vazões de subsídio e índices das estações nos cenários atual e futuro são apresentados no APÊNCICE D e E, respectivamente.

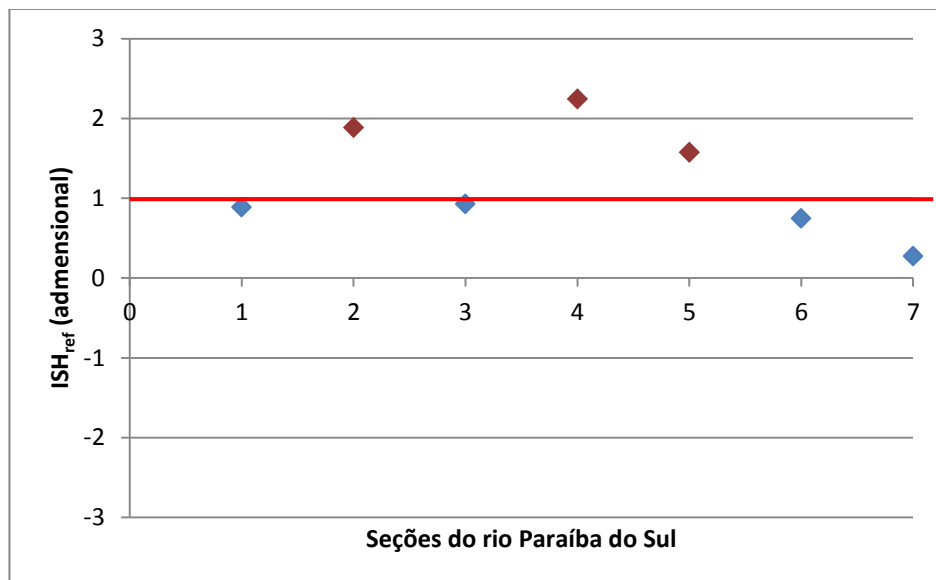
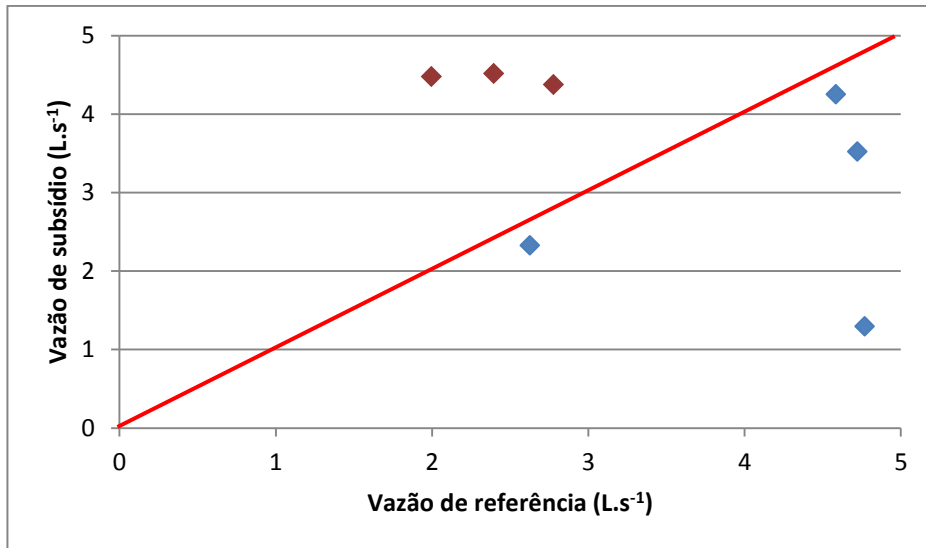


Figura 17- Vazões de subsídio e de referência e Índices de referência ( $ISH_{ref}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035).

Fonte: (Da autora).



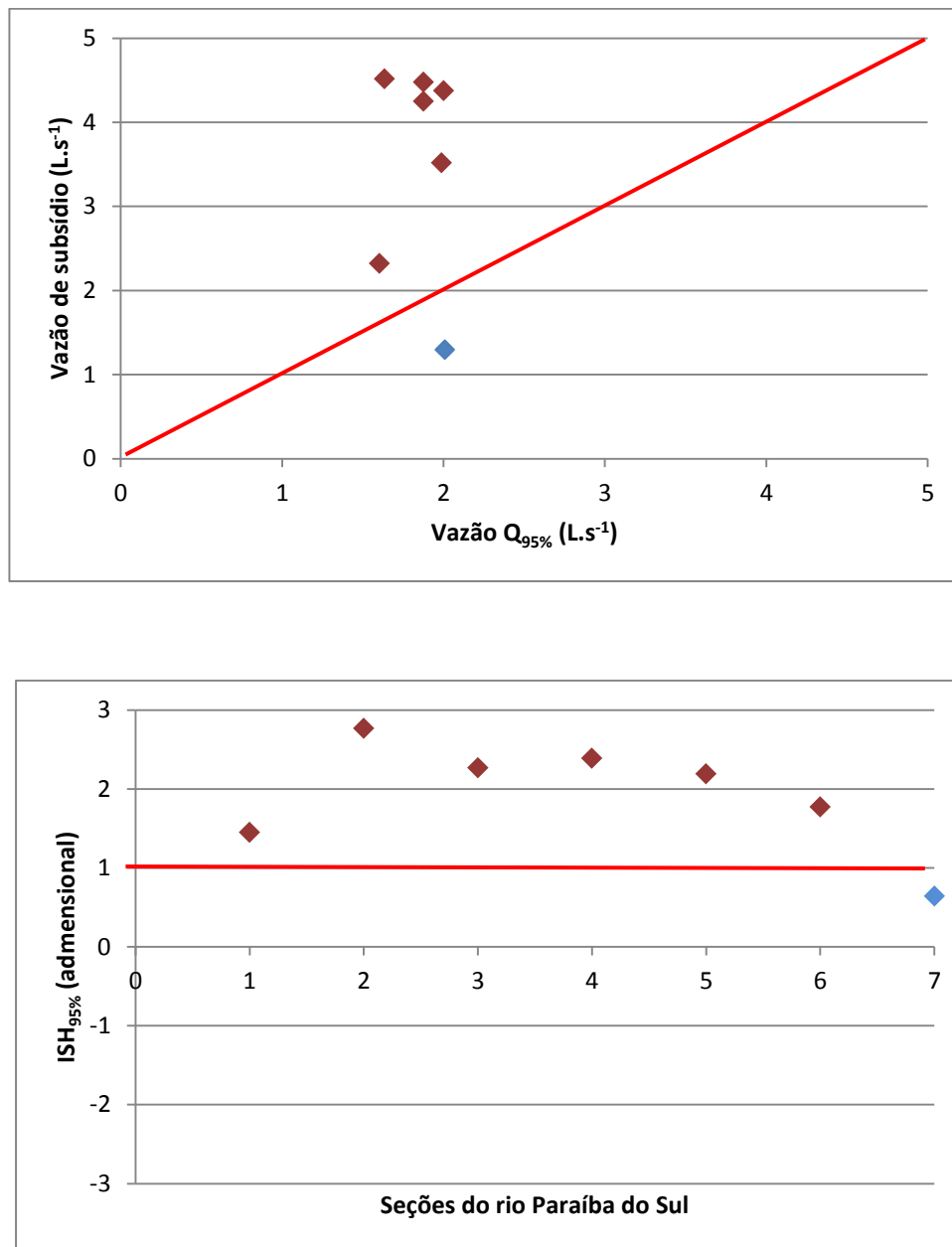


Figura 18 – Vazões de subsídio e  $Q_{95\%}$  e Índices de referência ( $ISH_{Q95\%}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035).

Fonte: (Da autora).

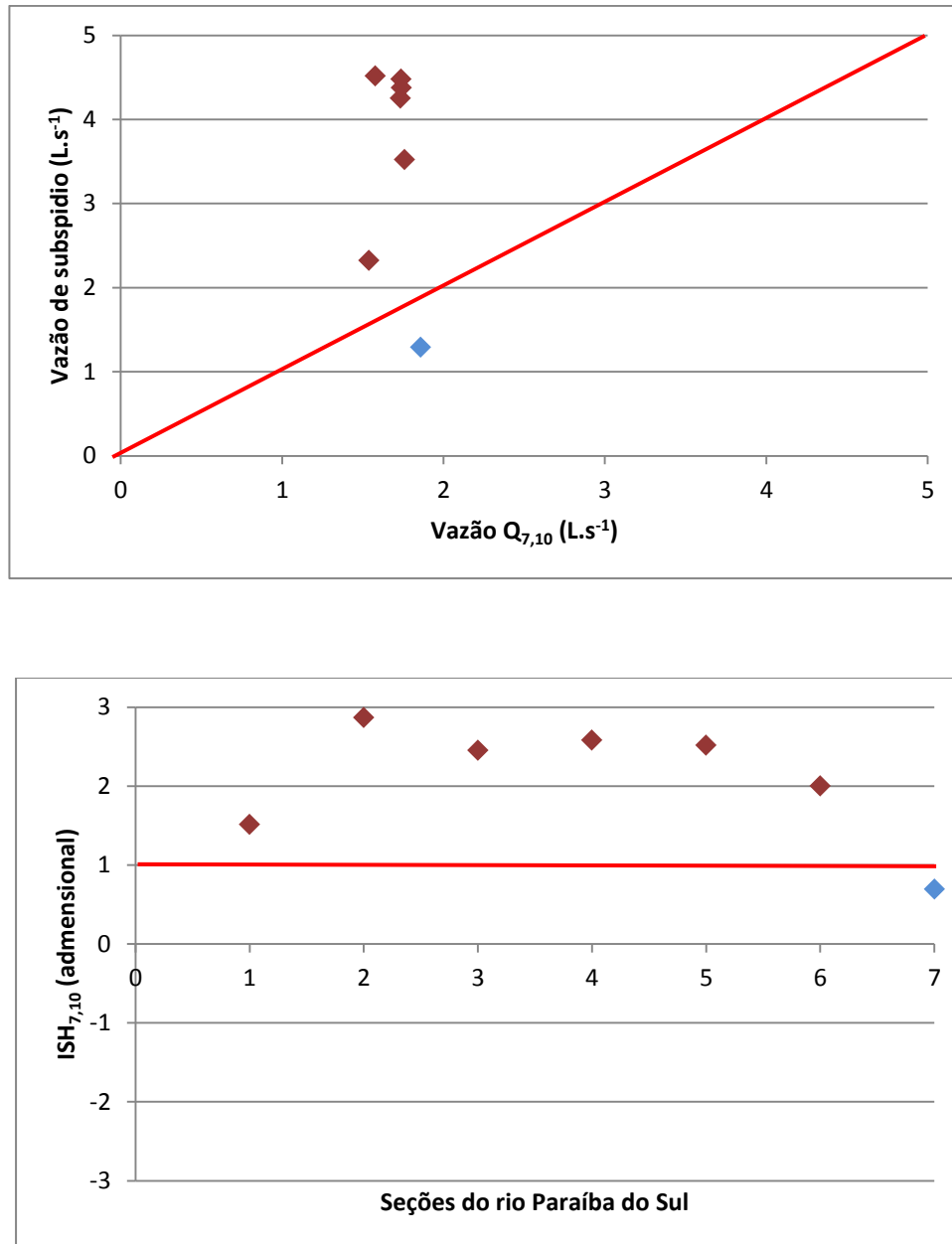


Figura 19 - Vazões de subsídio e  $Q_{7,10}$  e Índices de referência ( $ISH_{7,10}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035).

Fonte: (Da autora).

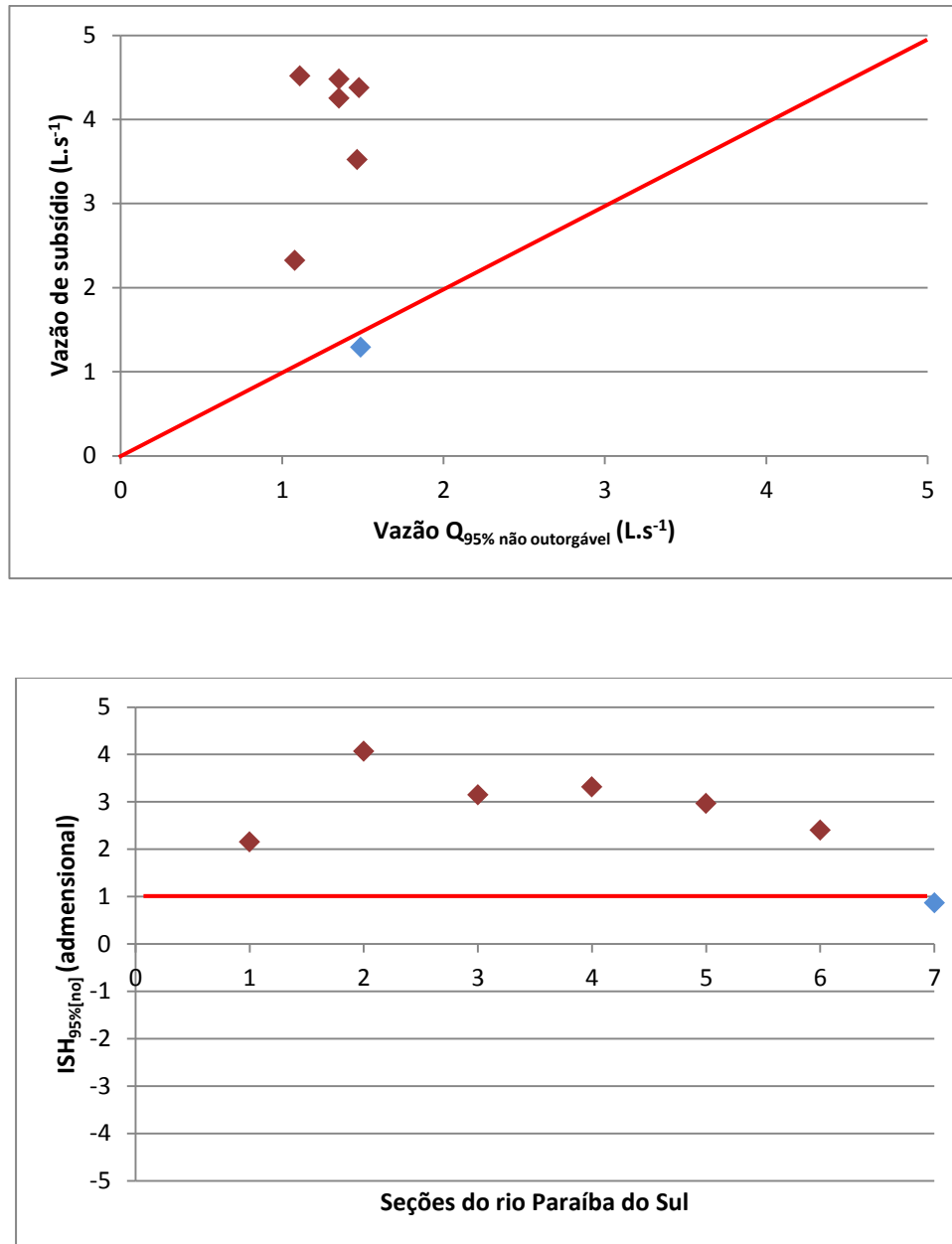


Figura 20 - Vazões de subsídio e  $Q_{95\%[no]}$  e Índices de referência ( $ISH_{Q_{95\%[no]}}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035).

Fonte: (Da autora).

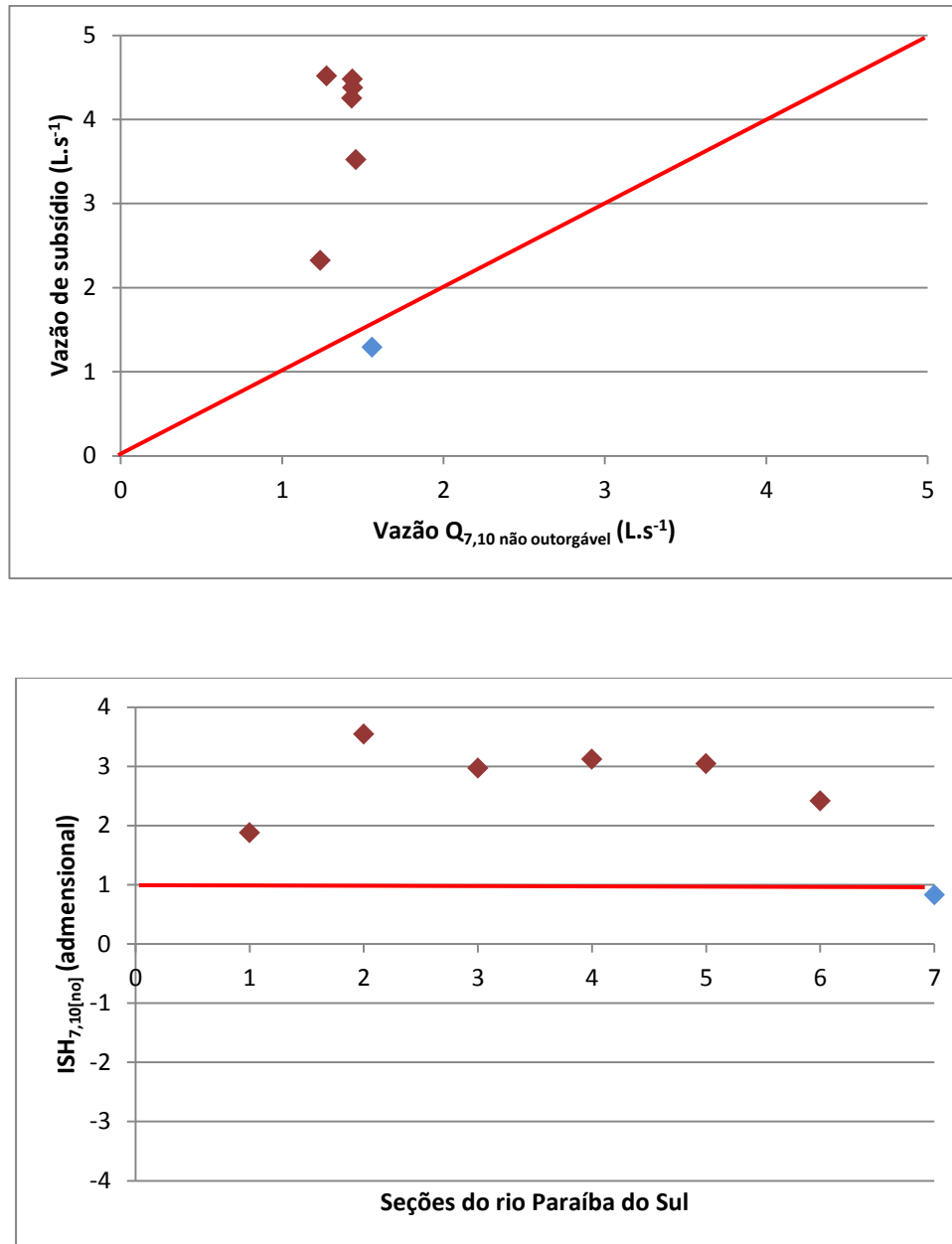


Figura 21 - Vazões de subsídio e  $Q_{7,10[no]}$  e Índices de referência ( $ISH_{Q7,10[no]}$ ) das estações fluviométricas localizadas na calha do rio principal para o cenário futuro (2035).

Fonte: (Da autora).

Para o cenário futuro ocorre a mesma situação avaliada no cenário atual. Temos valores abaixo e acima da linha vermelha. O que permite afirmar que valores abaixo da linha vermelha indicam que as vazões de subsídios são menores que a vazões de referências. Situações deste tipo (abaixo da linha vermelha) implicam em condições onde as vazões de referências possuem a capacidade de realizar a diluição do esgoto lançado no curso d'água em questão. Enquanto valores acima da linha vermelha indicam que a vazão de subsídio é superior à de referência, não conseguindo realizar a diluição das cargas de efluentes lançadas.

Quando se compara as Figuras 10 (cenário atual) e 17 (cenário futuro) nota-se que há uma melhora no  $ISH_{ref}$ . Para a primeira situação apenas uma (das sete estações) apresentou  $ISH_{ref} < 1$ , enquanto para o cenário futuro quatro (das sete estações) estações apresentaram  $ISH_{ref} < 1$ . Isso mostra que, para as estações fluviométricas analisadas na calha do rio principal, a mudança de cenário (atual para a condição futura avaliada) melhora as condições ambientais, quando leva-se em conta a pegada hídrica cinza, reduzindo os pontos críticos. Para os demais ISH (Figuras 11 a 14 e 18 a 21) a melhoria (quando comparada a situação atual e futura) ocorre somente na estação fluviométrica (Queluz) mais a jusante na calha do rio principal. Ainda é possível notar que o ISH, quando considera-se as vazões  $Q_{95\%}$  ou  $Q_{7,10}$  (e suas parcelas não outorgáveis), são mais restritivos do que quando se considera a  $Q_{ref}$ , mas não há diferença entre elas ( $Q_{95\%}$  e  $Q_{7,10}$ ).

### **5.3.2 Nível de tratamento (eficiência)**

Nas Figuras 22 e 23 estão apresentados os resultados de atendimento (considerado valor +1) ou não atendimento (considerado valor -1) das condições entre vazão de subsídio e vazão de referência, mediante eficiência original e alterações das eficiências da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) já existente no sistema, e da ETE criada para tratar todo o esgoto bruto para os cenários atual (2013) e futuro (2035). Os resultados das alterações das eficiências de 2013 e 2035 são apresentados nos APÊNDICES F e G.

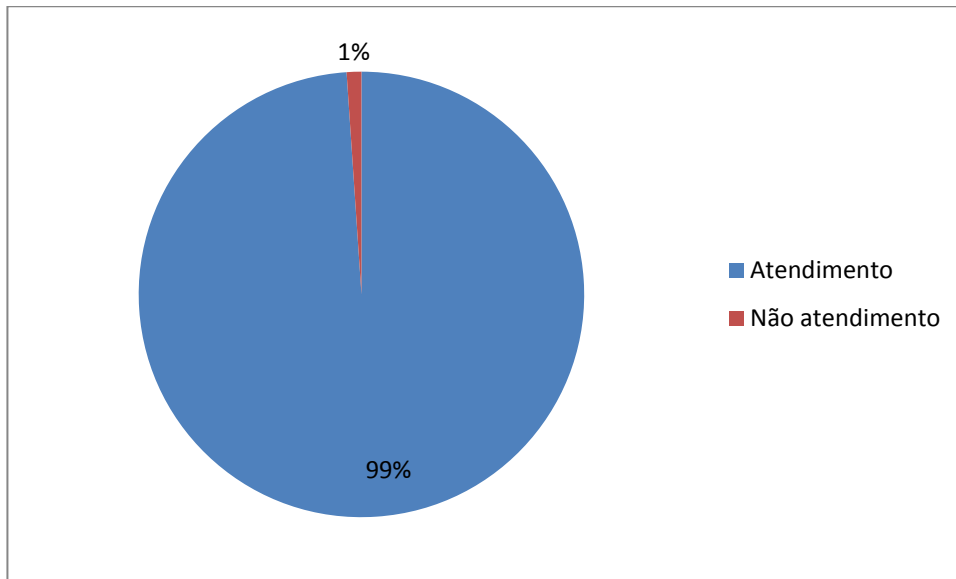


Figura 22 - Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário atual (2013) mediante alteração da eficiência de tratamento.

Fonte: (Da autora).

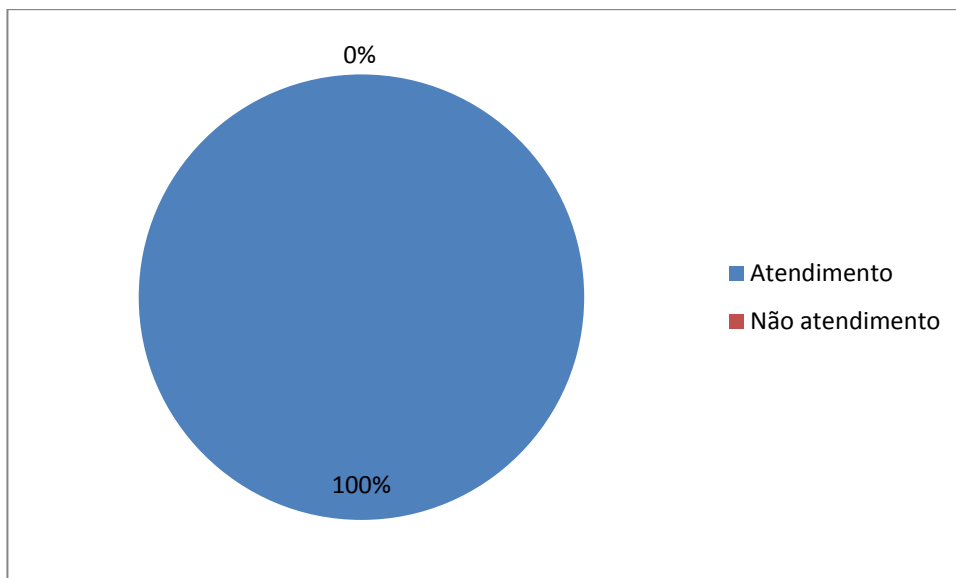


Figura 23 – Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário futuro (2035) mediante alteração da eficiência de tratamento.

Fonte: (Da autora).

A partir dos resultados encontrados na Figura 22, observa-se que para apenas um curso d'água (aproximadamente 1%) a condição da vazão de subsídio ser inferior à vazão de referência não é atendida, ou seja, nesta situação o rio não possui a capacidade de realizar a diluição das cargas de DBO e conseqüentemente não pode manter suas condições físicas, químicas e biológicas. Para todos os outros cursos d'água (aproximadamente 99%) analisados, tem-se a situação contrária, ou seja, a vazão de subsídio encontra-se inferior à de referência.

Para o ano de 2035 (Figura 23), fez-se necessário somente alteração da ETE já existente para os casos em que a eficiência original não era suficiente para garantir a diluição das cargas de efluentes lançadas. Isso porque se prevê que neste ano todo o esgoto bruto passe por uma estação de tratamento de esgoto para cada corpo hídrico. Sendo assim, apenas elevando a eficiência das ETE's já existentes, consegue-se passar a atender a condição da vazão de subsídio ser inferior à de referência nos casos em que tal situação não era permitida. E, portanto, após as manipulações das eficiências todos os cursos d'água (100%) passam atender as condições e possuir a capacidade de realizar a diluição das cargas de esgoto lançadas.

### **5.3.3 Alteração das classes dos rios**

Nas Figuras 24 e 25 estão apresentados os resultados das alterações de classe seguindo a proposta de sua melhoria, e posterior comparação entre vazão de subsídio e vazão do corpo receptor, para os cenários atual (2013) e futuro (2035). Para que classe tivesse seu valor reduzido para a proposta de melhoria, observou-se primeiramente se com a classe original os requisitos eram atendidos, ou seja, se a vazão de subsídio encontrava-se inferior à vazão de referência. Se tal condição fosse atendida, dava-se a continuidade para a melhoria da classe com a finalidade de saber se o corpo hídrico ainda iria possuir a capacidade de diluir as cargas de efluentes lançadas mesmo com uma classe mais restritiva.

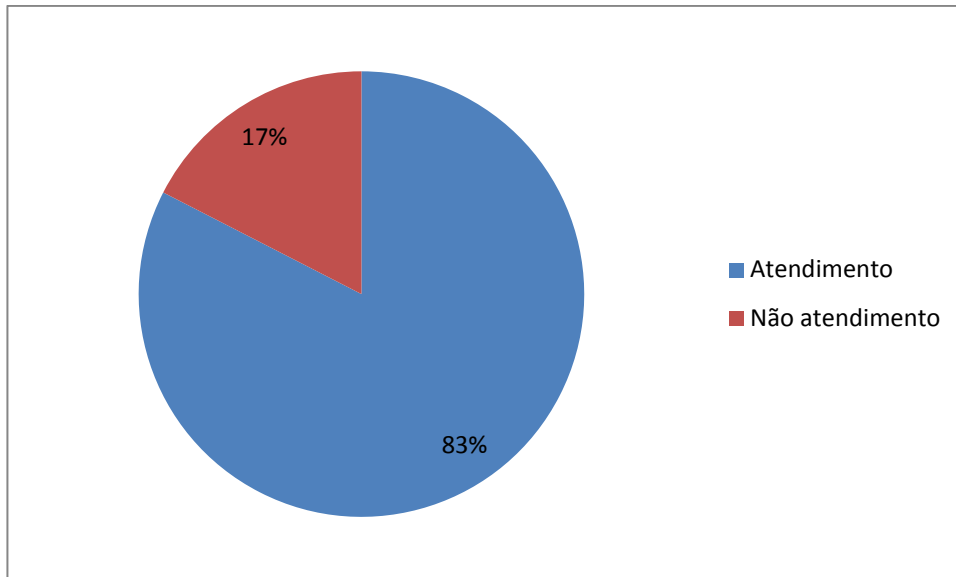


Figura 24 - Atendimento ou não atendimento das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário atual (2013) mediante melhoria da classe de enquadramento.

Fonte: (Da autora).

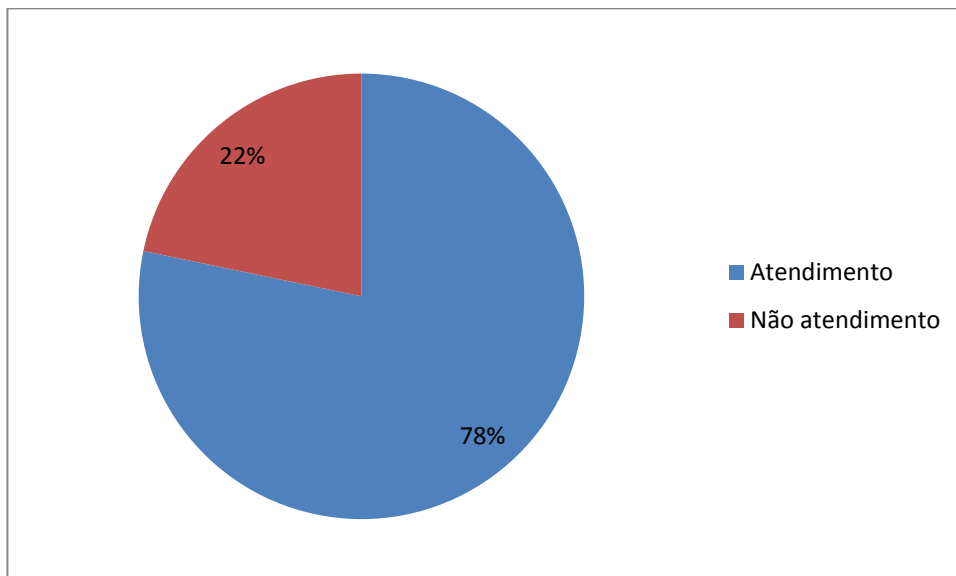


Figura 25- Atendimento (+1) ou não atendimento (-1) das condições de diluição das cargas de DBO lançadas nos cursos d'água para o cenário futuro (2035) mediante melhoria da classe de enquadramento.

Fonte: (Da autora).



A partir dos resultados encontrados na Figura 24, verifica-se que 82,5% dos rios e córregos quando efetuada a melhoria de classe para a Classe 1 passaram a atender a condição de que toda a carga efluente lançada será diluída, ou seja, vazões de subsídio inferior à vazão de referência e dessa forma as condições ambientais e padrões podem ser mantidos e garantindo a integridade dos cursos d'água.

Já para 17,5% dos cursos de água, propondo a melhoria de classe, a vazão de subsídio mantém-se superior que a de referência, ou seja, nestes casos não é possível manter as condições físicas, químicas e biológicas pelo fato de os corpos hídricos não possuírem a capacidade de realizar a diluição das cargas lançadas.

Assim como no cenário atual, para o cenário futuro os resultados semelhantes diante do fato de que com a alteração da classe original dos rios e córregos a vazão de subsídio tornou-se menor que a vazão mínima de referência dos corpos hídricos, possibilitando estes de realizarem a diluição de cargas lançadas, não provocando consequências negativas ao recurso hídrico.

Porém, 22% dos cursos d'água aqui analisados apresentaram resultados contrários aos demais, ou seja, nestes corpos hídricos as condições do ambiente e padrões não serão mantidas, uma vez que não possuem a capacidade de realizar a devida diluição de DBO.

De modo geral, o cenário futuro avaliado melhora as condições ambientais dos cursos d'água da bacia hidrográfica estudada. No entanto, a proposta de melhoria na eficiência (item 5.3.2) das ETE levou a resultados ainda melhores, em que 99% e 100%, para os cenários atual e futuro, dos cursos d'água passam a atender as condições desejáveis de pegada hídrica nula. Quando se considera a melhoria de classe de enquadramento, associada à melhoria de eficiência, 82,5% e 78%, para os cenários atual e futuro, dos cursos d'água atendem as condições desejáveis. Nota-se, que estes percentuais são menores do que os anteriores, mas, são bem melhores do que os valores encontrados sem uma proposta de melhoria na eficiência,

uma vez que 55% e 70,5%, para os cenários atual e futuro, dos cursos d'água atendem as condições desejáveis.

## 6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou propor e aplicar uma metodologia para o cálculo da vazão de subsídio, considerando análise individual para cada curso d'água, da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul, parte paulista, e em sete estações fluviométricas localizadas na calha do seu rio principal. A proposição do modelo da vazão de subsídio envolveu fatores de diluição ligados às concentrações de efluentes (DBO) que passam pela estação de tratamento de esgoto e àquelas provenientes de esgoto bruto a fim de conhecer suas condições físicas, químicas e biológicas e os fatores de diluição, e foi capaz de estimar as vazões necessárias à diluição, para os dois cenários analisados, atual e futuro (2013 e 2035).

A correlação das vazões de subsídios com as vazões mínimas de referência (aqui expressas por vazão de referência), por meio dos Índices de Sustentabilidade Hídrica (ISH), mostrou que, para o cenário futuro (2035), 70,5% dos rios e córregos apresentaram valores abaixo da unidade ( $ISH < 1$ ), ou seja, as condições físicas, químicas e biológicas da maioria dos corpos hídricos ainda eram mantidas. O mesmo comportamento foi verificado para o cenário atual (2013), entretanto, para este caso, 55% dos rios e córregos apresentaram valores de ISH menor que um. Já para as estações fluviométricas da calha do rio principal (com vazões mínimas aqui expressas por vazão de referência; vazão  $Q_{7,10}$ ; e vazão de permanência), para o cenário atual, todas com exceção de Queluz tiveram valores de ISH superiores à unidade ( $ISH > 1$ ), não garantindo a manutenção das condições de diluição do efluente nessa situação. Para o cenário futuro, apenas para Santa Branca, Caçapava, Queluz e Cachoeira Paulista, os ISH apresentaram valores inferiores a um ( $ISH < 1$ ).

Com relação à alteração das eficiências originais, das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) já existentes no sistema, e das ETE criadas para tratar todo o esgoto bruto, após tais mudanças, considerando o cenário atual, em apenas um curso d'água (aproximadamente 1%) a condição da vazão de subsídio ser inferior à vazão de referência não é atendida, enquanto

para o cenário futuro, 100% dos rios e córregos passam a atender tais condições.

Para a alteração de classes, seguindo a proposta de melhoria no cenário, 82,5% dos rios e córregos passaram a atender a condição de que toda a carga efluente lançada será diluída, e para o cenário futuro, 78% terão suas cargas diluídas.

Portanto, a aplicabilidade do modelo em questão pode ser dada para qualquer bacia hidrográfica em que se deseja conhecer suas condições físicas, químicas e biológicas, além da capacidade de diluição das concentrações de efluentes lançadas nos cursos de água. E, dessa forma, a pegada hídrica cinza pode ser considerada como um instrumento de gestão dos recursos hídricos, utilizada para avaliar impactos e situações de degradabilidade do meio aquático, tornando-se importante nas tomadas de decisões para prevenção ou remediação de impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país- Diretrizes e prioridades**. Brasília, 200. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20Outorga.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

BANCO DO BRASIL. **Pegada hídrica das bacias hidrográficas**: Resumo Executivo. Disponível em: <<https://www.bb.com.br/docs/pub/siteEsp/uds/dwn/pegadahidrica.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BELICO, J. C. B., LISBOA, L., GUEDES, H. S., & SILVA, D. D. Comparação entre vazões mínimas de referência para o rio Formoso – Mg. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n.17, p. 718–733, 2013.

BESKOW, S., MELLO, C.R., FARIA, L.C., SIMÕES, M.C., CALDEIRA, T.L., NUNES, G.S. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.748-754, 2014.

BRAGA, et al. **Introdução a engenharia ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CALJURI, M.C; CUNHA, D.G.F. **Engenharia ambiental**: Conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAMPOS, M.V.C.V., RIBEIRO, M.M.R., VIEIRA, Z.M.C.L. A gestão de recursos hídricos subsidiada pelo uso de indicadores de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.2, p. 209-222, abr./jun. 2014. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/165/116cca8180280efe04307a390be4db41\\_5862c7b2b4d7f0880d34d5c594affe03.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/165/116cca8180280efe04307a390be4db41_5862c7b2b4d7f0880d34d5c594affe03.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CHAVES, H.M.L., ROSA, J.W.C., VADAS, R.G., OLIVEIRA, R.V.T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.3, p. 43-51, jul./set. 2002. Disponível em: <[https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/100/43a53d90320f6f55b57150fba5b0b5de\\_e14c61f826b3ace7726ae7c8d95ba5dc.pdf](https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/100/43a53d90320f6f55b57150fba5b0b5de_e14c61f826b3ace7726ae7c8d95ba5dc.pdf)> . Acesso em: 15 jan. 2019.

CLASSE, T.M., RIBEIRO, C.B.M., ROCHA, W.S.D. Análise da metodologia da pegada hídrica como possível ferramenta na gestão pública dos recursos hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL, 3. **Anais...** Disponível em: <<http://www.ufjf.br/srhps/files/2018/09/A0001.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

CORDEIRO, A.F.F. **Avaliação da pegada hídrica de uma empresa**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado integrado em engenharia do meio ambiente)- Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2014.

COSGROVE, W. J.; RIJSBERMAN, F. R. **World Water Vision: Making Water Everybody's Business**. London: Earthscan Publications, 2000.

CUNHA, D.G.F., CALIJURI, M.C., MENDIONDO, E.M. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Eng. Sanit. Ambiente**, v.17, n.4, p. 369-376, out./dez. 2012.

DEÁK, U.P.U.O., BRANDÃO, J.L.B. Indicadores de sustentabilidade hídrica do planejamento urbano. In: WORLD WATER CONGRESS, 14, 2011, Porto de Galinhas. **Anais...** Porto de Galinhas, 2011. p. 25-29.

DEÁK, U.P.U.O. **Índice de sustentabilidade hídrica para avaliação do planejamento dos recursos hídricos no âmbito da gestão municipal**. 2012. 168 f. Dissertação (Mestrado em ciências)- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos. 2012.

EMPINOTTI, V. L., JACOBI, P. R. Novas práticas de governança da água: O uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e agências internacionais de desenvolvimento. **Desenvolvimento E Meio Ambiente**, v. 27, p. 23-36, jan./jun. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.5380/dma.v27i0.27928>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

GALLI, A., WIEDMAN, T., ERCIN, E., KNOBLAUCH, D., EWING, B., GILJUM, S. Integrating ecological, carbon and water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. **Ecological Indicators**, v. 16, p. 100-112. 2012.

GIACOMIN, G. S., JR, A. A. O. A pegada hídrica como instrumento de conscientização ambiental, v. 7, n. 7, p. 1517–1526. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5902/223613084979>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

HOEKSTRA, A., CHAPAGAIN, A., ALADAYA, M., & MEKONNEM, M. M. **Manual de avaliação da pegada hídrica**: Estabelecendo o padrão global. Editora Earthscan. 2011.

JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de Hidrologia Aplicada**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

LLANOS, E.G., BARROSO, P.D., SÁNCHEZ, A.M. Management effectiveness assessment in wastewater treatment plants through a new water footprint indicator. **Journal of Cleaner Production**, 2018.

LANNA, A., BENETTI, A., & COBALCHINI, M. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 149–160, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n2>>. Acesso em 04 ago. 2017.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 4. ed. Campinas: Editora Átomo, 2016.

MAIA, H. J. L., HORA, S. C. DA, FREITAS, J. P. DE, VIEIRA, A. A. P., & FREITAS, F. E. DE. A pegada hídrica e sua relação com os hábitos domésticos, alimentares e consumistas dos indivíduos. **PolêmiCa**, v. 11, n. 4, p. 650-660, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.12957/POLEMICA.2012.4333>>. Acesso em: 06 ago. 2017.

MARTINS, R.S.L. **Empresas e gestão da água: Uma abordagem a partir do uso do indicador pegada hídrica**. 2014. 179 f. Tese (Doutorado em ciência ambiental- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014).

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, Y. **National water footprint accounts**. 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/hessd-8-763-2011>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência.** 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PETRY, A. T., HAMESTER, Â., & MARQUES, D. M. **Impactos ambientais em uma bacia urbana e sua influência na qualidade das águas.** Disponível em:  
<<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1260/000532995.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

PRUSKI, F.F., NUNES, A.A., REGO, F.S., SOUZA, M.F. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: alternativas para atenuar os riscos. **Water Resources and Irrigation Management**, v.1, n.1, p.51-59, sep./dec. 2012.

RIBEIRO, C.S. **Pegada Hídrica e Água Virtual:** Estudo de caso da manga no submédio do vale do São Francisco. 2014. 81 f. Dissertação (Mestrado em economia- Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

RIBEIRO, M.M.R., LANNA, A.E.L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.3, p.151-168, 2003. Disponível em:  
<[https://www.researchgate.net/profile/Antonio\\_Lanna/publication/305306062\\_A\\_Outorga\\_Integrada\\_das\\_Vazoes\\_de\\_Captacao\\_e\\_Diluicao/links/57bdf12308aed246b0f71b08/A-Outorga-Integrada-das-Vazoes-de-Captacao-e-Diluicao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio_Lanna/publication/305306062_A_Outorga_Integrada_das_Vazoes_de_Captacao_e_Diluicao/links/57bdf12308aed246b0f71b08/A-Outorga-Integrada-das-Vazoes-de-Captacao-e-Diluicao.pdf)>. Acesso em: 15 jan. 2019.

SILVA, V. de P. R. da, ALEIXO, D. de O., DANTAS NETO, J., MARACAJÁ, K. F. B., & ARAÚJO, L. E. D. Uma medida de sustentabilidade ambiental: pegada hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 100-105, 2006. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100014>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

SILVA, A.M., OLIVEIRA, P.M., MELLO, C.R., PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.2, p.374-380. 2006. Disponível em:  
<<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v10n2/v10n2a19.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

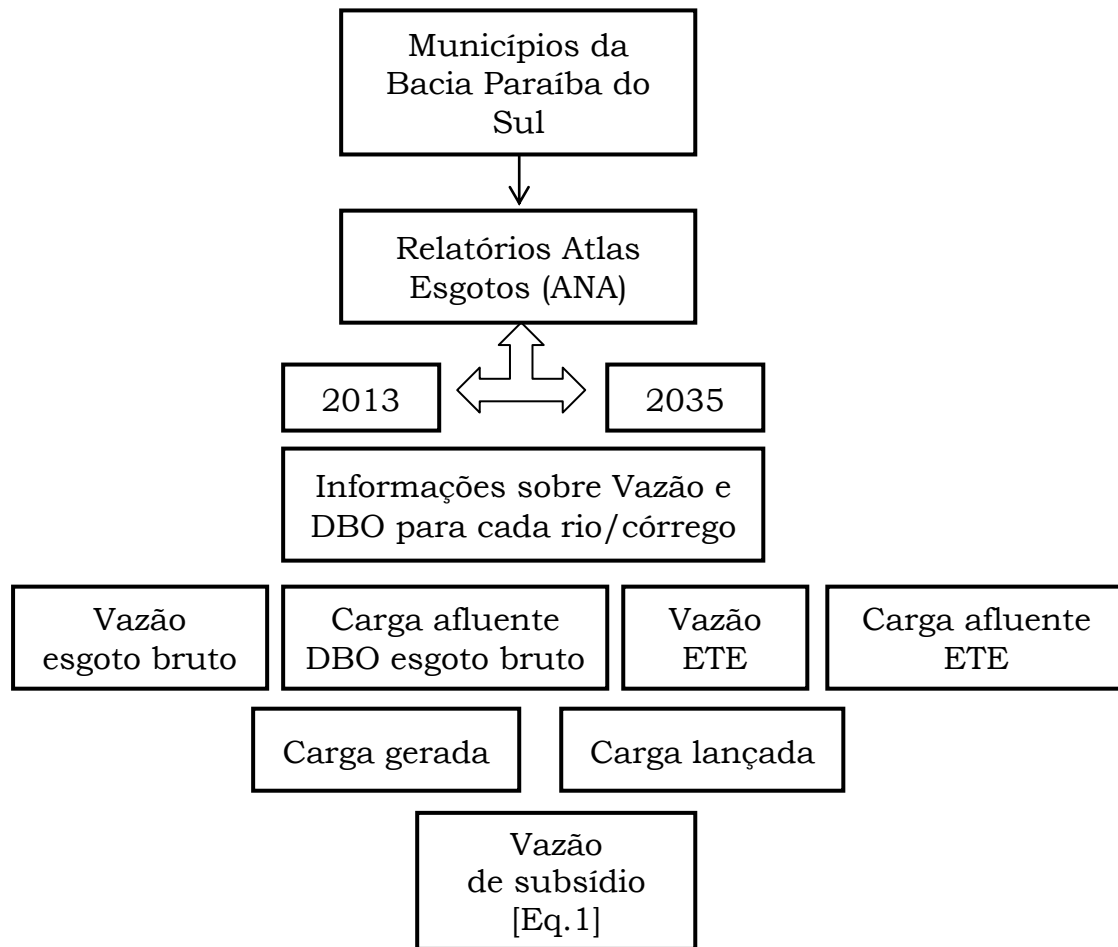


SPERLING, M.V. **Estudos e Modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Editora UFMG. 2014.

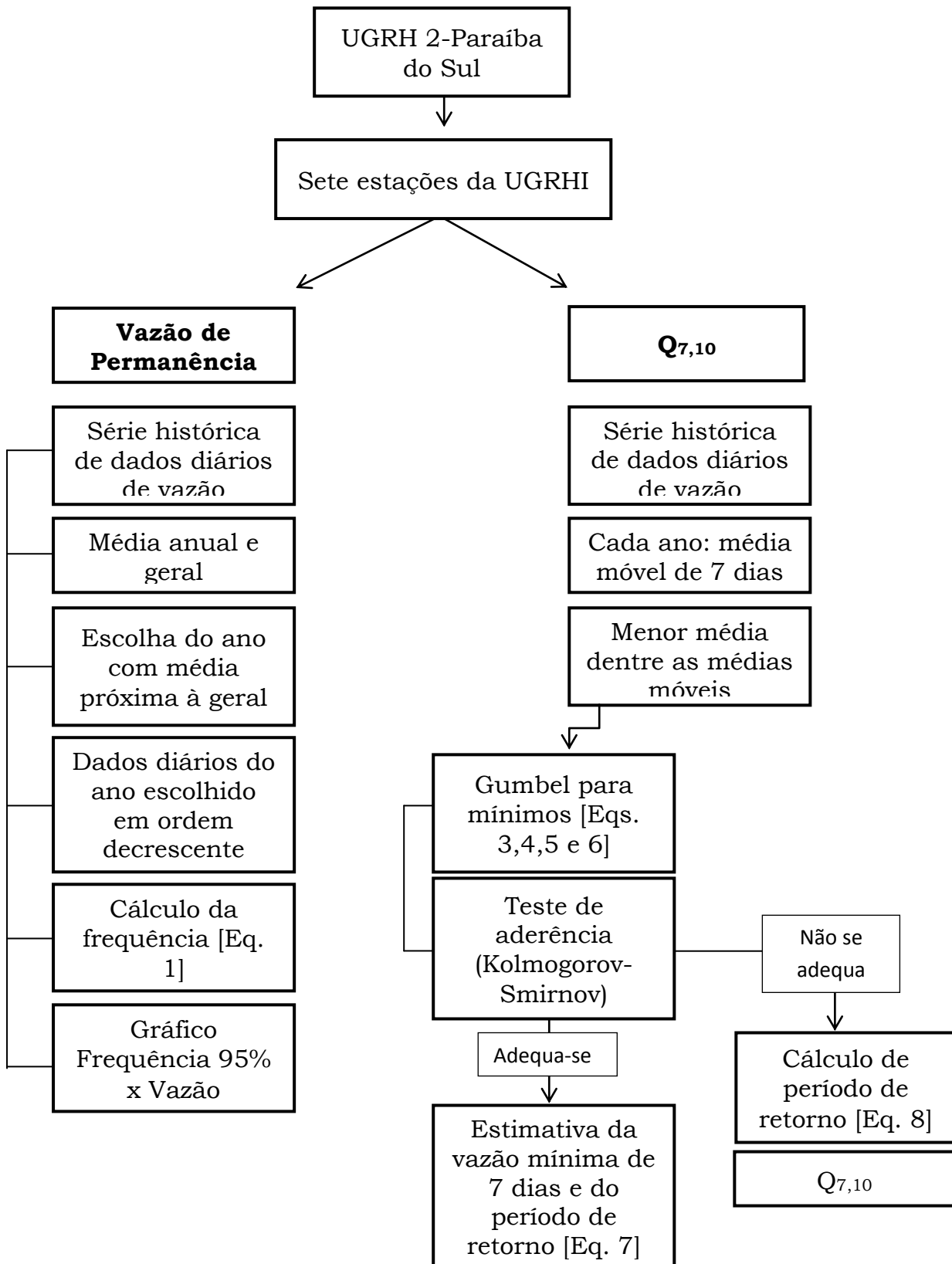
TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. 1997. Disponível em: <[http://www.pec.poli.br/sistema/material\\_disciplina/fotos/águanomeio\\_urbano.pdf](http://www.pec.poli.br/sistema/material_disciplina/fotos/águanomeio_urbano.pdf)>. Acesso em: 02 ago. 2017.

ULIANA, E.M., SOUZA, L.G.S., SILVA, D.D., SOUZA, A.P., ALMEIDA, F.T., ARAUJO, H.B. Regionalização de vazões para o médio e alto rio Teles Pires-MT. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 4, p.333-338, out./dez. 2016.

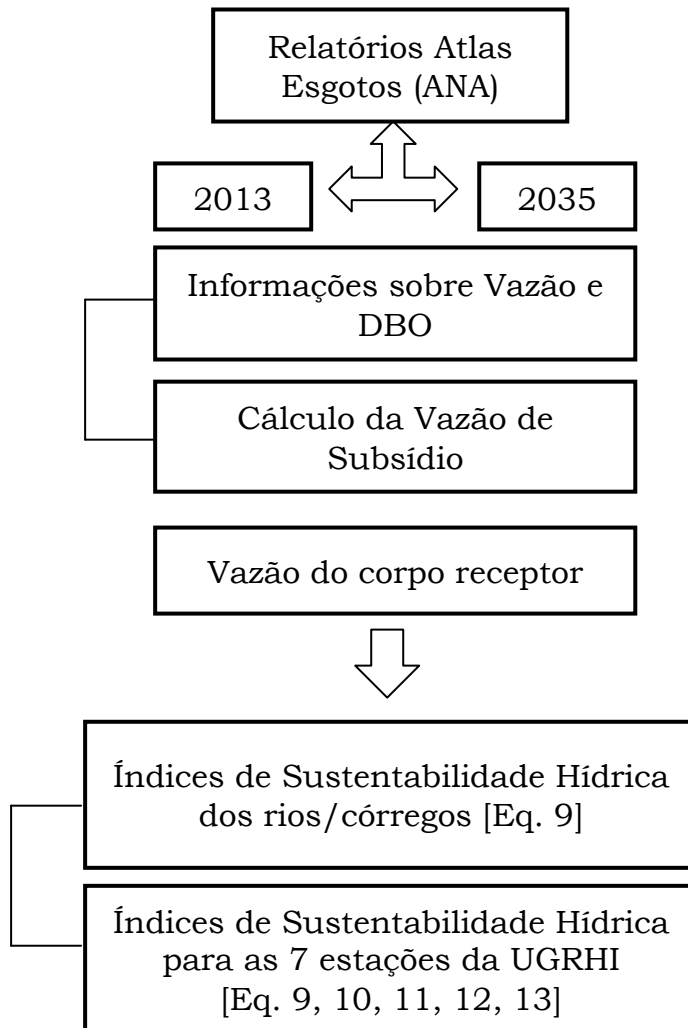
APÊNDICE A - Fluxogramas sintetizando cada etapa metodológica do trabalho.



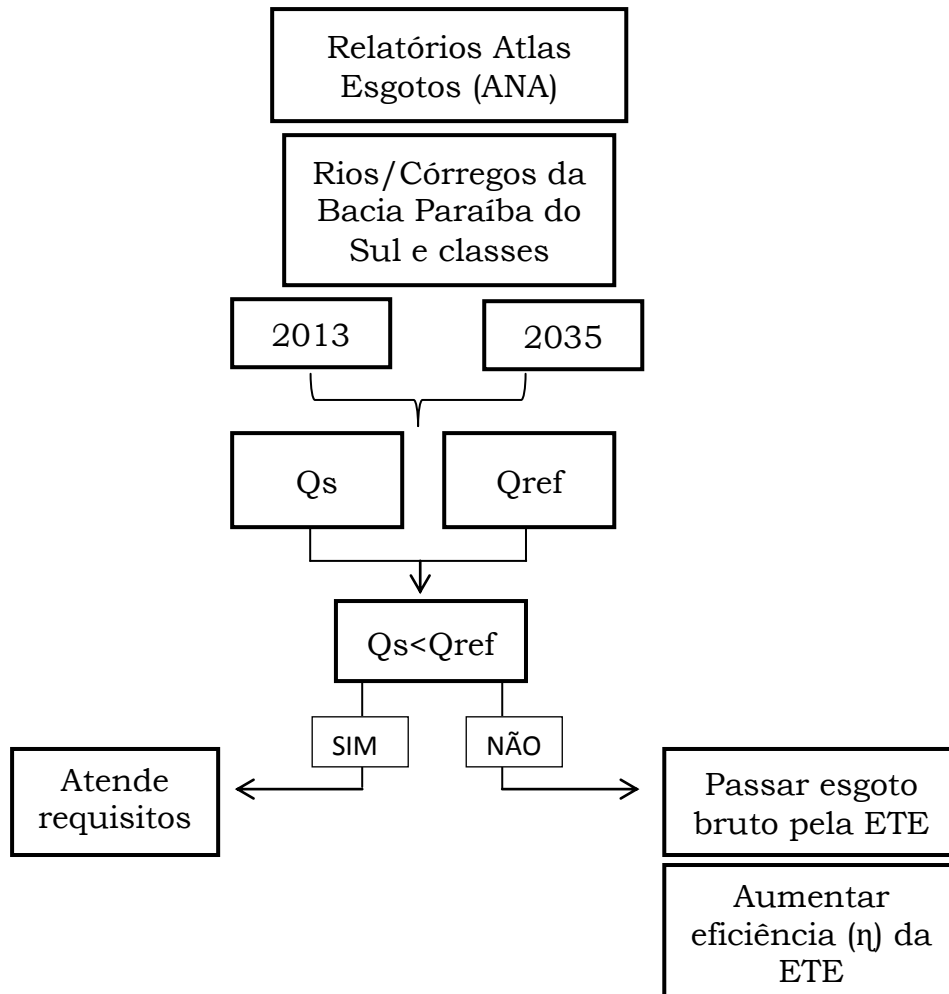
Fluxograma 1- Cálculo da vazão de subsídio.



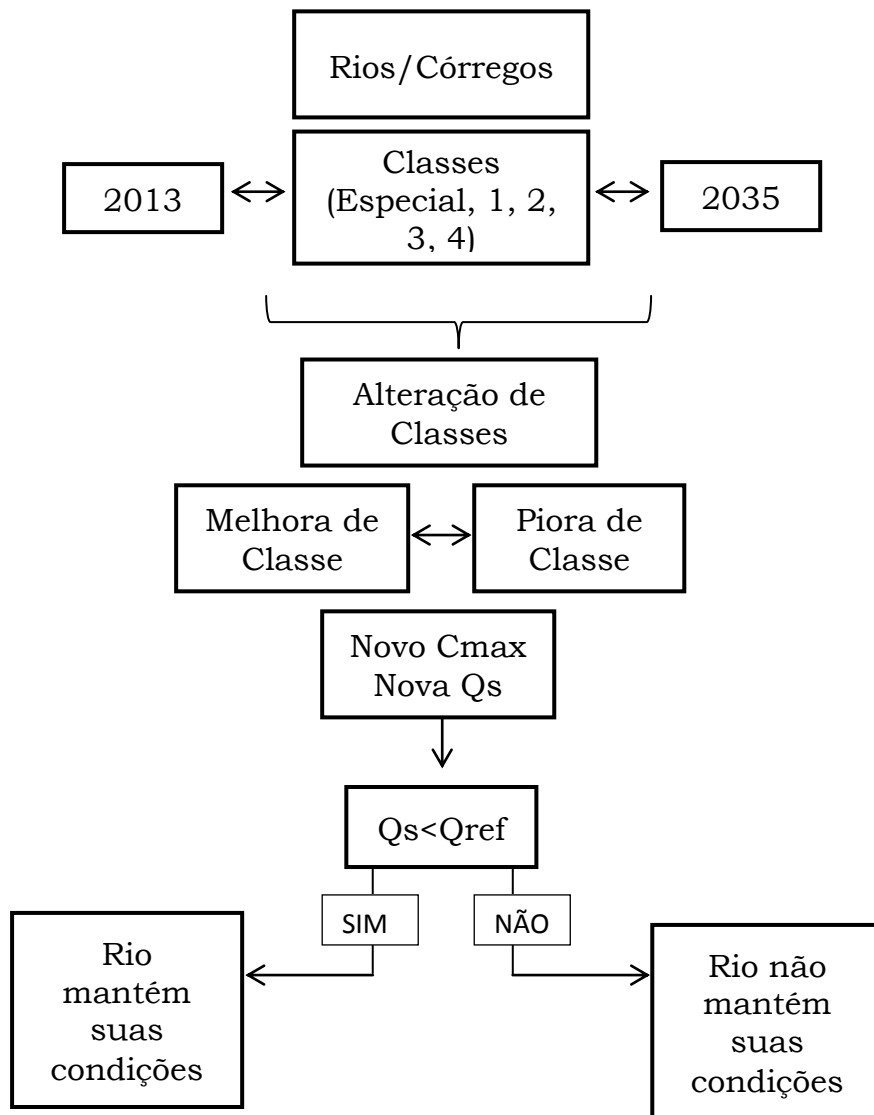
Fluxograma 2- Cálculos da vazão de permanência e Q<sub>7,10</sub>.



Fluxograma 3- Cálculo dos índices de sustentabilidade.



Fluxograma 4- Comparação entre  $Q_s$  e  $Q_{ref}$ .



Fluxograma 5- Alteração das classes dos rios.

APÊNDICE B - Resultados encontrados para a vazão de subsídio, vazão de referência e índices para 2013.

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índices
Córrego Água Preta	88,70	67,45	0,76
Córrego Boçoroca	117,50	184,23	1,57
Córrego da Laranjeira	50,50	836,47	16,56
Córrego do Campo Velho	123,30	169,75	1,38
Córrego do Chagas	211,00	130,77	0,62
Córrego do Pontilhão	59,90	232,67	3,88
Córrego do Putim	126,40	2045,93	16,19
Córrego do Rodeio	76,20	2515,02	33,01
Córrego do Tabuão	64,10	2257,30	35,22
Córrego do Venâncio	114,80	70,54	0,61
Córrego do Itaum	264,20	132,79	0,50
Córrego Palmital	183,90	35,77	0,19
Córrego Piracangá	232,60	201,48	0,87
Córrego Pixuá ou Ponte Alta	82,90	74,67	0,90
Córrego Santa Rita	72,70	67,67	0,93
Córrego Serimbura	87,20	1242,38	14,25
Córrego Tabuãozinho	72,10	1311,42	18,19
Represa Rio Paratinga	192,70	23,12	0,12
Ribeirão Araraquara	148,90	6482,61	43,54
Ribeirão Benfica	105,50	79,63	0,75
Ribeirão Canas	395,40	331,72	0,84

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índices
Ribeirão da Boa Vista	195,60	5,69	0,03
Ribeirão da Colônia	68,80	291,24	4,23
Ribeirão da Divisa ou Lambari	121,90	233,72	1,92
Ribeirão do Alambari	97,40	41,94	0,43
Ribeirão do Barreiro	380,60	155,36	0,41
Ribeirão do Curtume	390,00	25,13	0,06
Ribeirão do Moinho	164,10	1438,83	8,77
Ribeirão Dois Córregos	194,00	69,77	0,36
Ribeirão dos Lopes	125,30	54,89	0,44
Ribeirão dos Monos	422,90	221,05	0,52
Ribeirão dos Motas	476,70	65,14	0,14
Ribeirão dos Mudos	237,00	49,49	0,21
Ribeirão dos Putins	208,70	1741,50	8,34
Ribeirão galega ou Anhanguera	143,00	192,50	1,35
Ribeirão Guararema	319,50	157,56	0,49
Ribeirão Ipiranga	77,00	171,28	2,22
Ribeirão Itaguaçu	56,90	171,60	3,02
Ribeirão Lava Pés	55,30	679,99	12,30
Ribeirão Manuelito	73,40	416,18	5,67
Ribeirão Pinhão	132,70	786,45	5,93
Ribeirão Piquete	240,10	2566,53	10,69

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índices
Rio Pirapitingui	376,50	413,14	1,10
Ribeirão Piratini ou dos Surdos	59,00	27,44	0,47
Ribeirão Tabuão ou Lorena	369,80	141,08	0,38
Ribeirão Vermelho	210,40	529,43	2,52
Ribeirão Vidoca	264,10	1076,61	4,08
Rio Alambari	160,30	1723,21	10,75
Rio Bananal	341,90	1688,24	4,94
Rio Barreiro de Baixo	301,10	55,76	0,19
Rio Botucatu	59,40	168,65	2,84
Rio Buquira ou Ferrão	751,30	968,41	1,29
Rio Buquira ou Ferrão	1916,60	1584,06	0,83
Rio Capivari	699,50	195,20	0,28
Rio Comprido	247,80	8867,02	35,78
Rio do Capitão-Mor	189,30	25,90	0,14
Rio do Peixe	703,40	257,25	0,37
Rio Guaió	822,00	2340,48	2,85
Rio Guaratinguetá	597,50	117,98	0,20
Rio Guaratinguetá	731,30	274,78	0,38
Rio Jacú	388,80	720,91	1,85
Rio Jaguari	2265,50	26,89	0,01
Rio Jaguari	762,90	620,66	0,81
Rio Palmital	192,70	352,62	1,83
Rio Paraíba do Sul	44050,70	11856,44	0,27
Rio Paraíba do Sul	47582,50	3177,15	0,07
Rio Paraíba do Sul	38345,50	9680,84	0,25
Rio Paraíba do Sul	52797,40	1847,15	0,03

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índices
Rio Paraíba do Sul	57393,50	15154,36	0,26
Rio Paraíba do Sul	24281,10	1908,61	0,08
Rio Paraíba do Sul	50429,90	17669,42	0,35
Rio Paraíba do Sul	58066,60	481,16	0,01
Rio Paraíba do Sul	25415,60	23093,71	0,91
Rio Paraíba do Sul	51034,90	4035,85	0,08
Rio Paraíba do Sul	47287,90	1286,30	0,03
Rio Paraíba do Sul	58704,10	1962,81	0,03
Rio Paraíba do Sul	36530,30	54248,65	1,49
Rio Paraíba do Sul	40710,60	4662,65	0,11
Rio Paraibuna	7178,40	258,45	0,04
Rio Paraitinga	8969,10	1236,89	0,14
Rio Pararangaba	417,70	504,85	1,21
Rio Parateí	1307,50	417,17	0,32
Rio Parateí	1459,50	151,79	0,10
Rio Taiapuê	2261,70	286,74	0,13
Rio Taiapuê Mirim	670,50	15480,67	23,09
Rio Tietê	15979,70	104357,38	6,53
Rio Una	2180,00	796,27	0,37
Sem Nome	50,10	131,05	2,62
Sem Nome	75,20	313,08	4,16
Sem Nome	73,90	72,08	0,98
Sem Nome	78,20	109,94	1,41
Sem Nome	71,40	517,42	7,25
Sem Nome	60,90	125,98	2,07
Sem Nome	106,70	920,04	8,62



APÊNDICE C - Resultados encontrados para a vazão de subsídio, vazão de referência e índices para 2035.

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índice
Córrego do Campo Velho	123,30	375,93	3,05
Córrego do Rodeio	76,20	55,90	0,73
Córrego Goitaim	264,20	99,98	0,38
Córrego Piracangá	98,90	110,33	1,12
Ribeirão Canas	395,40	209,72	0,53
Ribeirão das Palmeiras	211,00	325,66	1,54
Ribeirão do Barreiro	380,60	144,37	0,38
Ribeirão dos Monos	423,00	1076,06	2,54
Ribeirão Piquete	240,10	221,27	0,92
Ribeirão Pirapitingui	376,50	491,07	1,30
Ribeirão Vermelho	210,40	210,20	1,00
Rio Paraíba do Sul	47583,10	1359,22	0,03
Rio Paraíba do Sul	50429,90	122,75	0,00
Rio Alambari	160,30	85,32	0,53
Rio Barreiro de Baixo	301,10	71,05	0,24
Rio Buquira ou Ferrão	751,30	1342,58	1,79
Rio Capivari	699,50	790,31	1,13
Rio Comprido	247,80	957,24	3,86
Rio do Bananal	341,90	532,34	1,56
Rio do Peixe	703,40	72,62	0,10
Rio Guaratinguetá	597,50	11,92	0,02
Rio Jacú	388,80	17,71	0,05

Rios/Córregos	Qref. (L.s <sup>-1</sup> )	Qs (L.s <sup>-1</sup> )	Índice
Rio Jaguari	763,00	641,62	0,84
Rio Paraíba do Sul	52797,40	4127,71	0,08
Rio Paraíba do Sul	57393,50	2586,40	0,05
Rio Paraíba do Sul	38345,50	21140,23	0,55
Rio Paraíba do Sul	58066,60	195,04	0,00
Rio Paraíba do Sul	25415,60	16366,02	0,64
Rio Paraíba do Sul	24281,10	939,13	0,04
Rio Paraíba do Sul	50429,90	25366,06	0,50
Rio Paraíba do Sul	51034,90	17912,72	0,35
Rio Paraíba do Sul	44050,70	3769,41	0,09
Rio Paraíba do Sul	47583,10	1694,08	0,04
Rio Paraíba do Sul	58704,10	517,40	0,01
Rio Paraíba do Sul	37012,00	40686,35	1,10
Rio Paraíba do Sul	40433,90	5884,73	0,15
Rio Paraibuna	7178,40	439,62	0,06
Rio Paraitinga	192,70	281,42	1,46
Rio Paraitinga	8969,10	1238,84	0,14
Rio Parateí	1459,50	103,19	0,07
Rio Tietê - Alteração do corpo receptor	7451,00	1757,19	0,24
Rio Una	2180,00	611,46	0,28
Sem Nome	59,40	62,35	1,05
Sem Nome	73,90	1987,93	26,90

## APÊNDICE D - Vazões e índices de sustentabilidade hídrica para 2013.

	<b>Estações</b>						
	<b>58093080</b>	<b>58110002</b>	<b>58152010</b>	<b>58158100</b>	<b>58204000</b>	<b>58218000</b>	<b>58235100</b>
	<b>Santa Branca</b>	<b>Jacareí</b>	<b>Caçapava</b>	<b>Tremembé</b>	<b>Guaratinguetá</b>	<b>Cachoeira Paulista</b>	<b>Queluz</b>
<b>Q<sub>s</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	5026,67	126662,43	35657,11	250721,73	104521,77	4287,63	1962,81
<b>Q<sub>ref</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	64,10	68,80	73,40	60,90	50,10	183,90	58704,10
<b>Q<sub>95%</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	40,00	43,00	75,00	75,00	100,00	97,00	102,00
<b>Q<sub>7,10</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	34,43	37,73	53,98	54,48	54,78	57,29	72,01
<b>Q<sub>95%</sub> [no] (L.s<sup>-1</sup>)</b>	12,00	12,90	22,50	22,50	30,00	29,10	30,60
<b>Q<sub>7,10</sub> [no] (L.s<sup>-1</sup>)</b>	17,21	18,86	26,99	27,24	27,39	28,64	36,01
<b>ISH<sub>ref</sub></b>	78,42	1841,02	485,79	4116,94	2086,26	23,31	0,03
<b>ISH<sub>95%</sub></b>	125,67	2945,64	475,43	3342,96	1045,22	44,20	19,24
<b>ISH<sub>7,10</sub></b>	146,00	3357,34	660,54	4602,09	1907,92	74,84	27,26
<b>ISH<sub>95%</sub> [no]</b>	418,89	9818,79	1584,76	11143,19	3484,06	147,34	64,14
<b>ISH<sub>7,10</sub> [no]</b>	292,00	6714,68	1321,07	9204,18	3815,85	149,69	54,51

## APÊNDICE E - Vazões e índices de sustentabilidade hídrica para 2035.

	<b>Estações</b>						
	<b>58093080</b>	<b>58110002</b>	<b>58152010</b>	<b>58158100</b>	<b>58204000</b>	<b>58218000</b>	<b>58235100</b>
	<b>Santa Branca</b>	<b>Jacareí</b>	<b>Caçapava</b>	<b>Tremembé</b>	<b>Guaratinguetá</b>	<b>Cachoeira Paulista</b>	<b>Queluz</b>
<b>Q<sub>s</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	210,41	32945,27	17827,46	30141,95	23818,83	3309,36	19,63
<b>Q<sub>ref</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	423,00	247,80	38345,50	98,90	597,50	52797,40	58704,10
<b>Q<sub>95%</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	40,00	43,00	75,00	75,00	100,00	97,00	102,00
<b>Q<sub>7,10</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	34,43	37,73	53,98	54,48	54,78	57,29	72,01
<b>Q<sub>95% [no]</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	12,00	12,90	22,50	22,50	30,00	29,10	30,60
<b>Q<sub>7,10 [no]</sub> (L.s<sup>-1</sup>)</b>	17,21	18,86	26,99	27,24	27,39	28,64	36,01
<b>ISH<sub>ref</sub></b>	0,50	132,95	0,46	304,77	39,86	0,06	0,00
<b>ISH<sub>95%</sub></b>	5,26	766,17	237,70	401,89	238,19	34,12	0,19
<b>ISH<sub>7,10</sub></b>	6,11	873,25	330,25	553,27	434,79	57,77	0,27
<b>ISH<sub>95% [no]</sub></b>	17,53	2553,90	792,33	1339,64	793,96	113,72	0,64
<b>ISH<sub>7,10 [no]</sub></b>	12,22	1746,51	660,50	1106,53	869,57	115,54	0,55

## APÊNDICE F - Alterações das eficiências para 2013.

Rio	Classe	$\eta$ original	Qs<Qref	$\eta$ manipulada		Qs<Qref
				ETE existente	ETE esgoto bruto	
Córrego Água Preta	2	0,00	ATENDE			
Córrego Boçoroca	2	0,00	ATENDE			
Córrego da Laranjeira	2	0,00	NÃO		0,95	ATENDE
Córrego do Campo Velho	2	0,72	ATENDE			
Córrego do Chagas	2	0,71	ATENDE			
Córrego do Pontilhão	2	0,00	ATENDE			
Córrego do Putim	2	0,00	NÃO		0,95	ATENDE
Córrego do Rodeio	2	0,00	NÃO		0,98	ATENDE
Córrego do Tabuão	2	0,00	NÃO		0,97	ATENDE
Córrego do Venâncio	2	0,00	ATENDE			
Córrego do Itaum	2	0,90	ATENDE			
Córrego Palmital	2	0,00	ATENDE			
Córrego Piracanguá	2	0,71	ATENDE			
Córrego Pixuá ou Ponte Alta	2	0,00	ATENDE			
Córrego Santa Rita	2	0,00	ATENDE			
Córrego Serimbura	2	0,00	NÃO		0,9	ATENDE
Córrego Tabuãozinho	2	0,00	NÃO		0,9	ATENDE
Represa Rio Paratinga	2	0,90	ATENDE			
Ribeirão Araraquara	2	0,00	NÃO		0,99	ATENDE
Ribeirão Benfica	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Canas	2	0,60	ATENDE			
Ribeirão da Boa Vista	2	0,00	ATENDE			

Ribeirão da Colônia	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão da Divisa ou Lambari	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão do Alambari	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão do Barreiro	2	0,73	ATENDE			
Ribeirão do Curtume	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão do Moinho	2	0,00	NÃO		0,88	ATENDE
Ribeirão Dois Córregos	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão dos Lopes	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão dos Monos	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão dos Motas	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão dos Mudos	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão dos Putins	2	0,00	NÃO		0,89	ATENDE
Ribeirão galega ou Anhanguera	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Guararema	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Ipiranga	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Itaguaçu	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Lava Pés	2	0,00	NÃO		0,8	ATENDE
Ribeirão Manuelito	2	0,00	NÃO		0,4	ATENDE
Ribeirão Pinhão	2	0,00	NÃO		0,69	ATENDE
Ribeirão Piquete	2	0,00	NÃO		0,95	ATENDE
Rio Pirapitingui	2	0,77	NÃO	10%	0	ATENDE
Ribeirão Piratini ou dos Surdos	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Tabuão ou Lorena	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Vermelho	2	0,00	ATENDE			
Ribeirão Vidoca	2	0,00	NÃO		0,65	ATENDE

Rio Alambari	2	0,71	NÃO	28%	0,95	ATENDE
Rio Bananal	1	0,66	NÃO		1	NÃO
Rio Barreiro de Baixo	2	0,81	ATENDE			
Rio Botucatu	2	0,74	ATENDE			
Rio Buquira ou Ferrão	1	0,24	ATENDE			
Rio Buquira ou Ferrão	1	0,00	ATENDE			
Rio Capivari	2	0,68	ATENDE			
Rio Comprido	2	0,62	NÃO	37%	1	ATENDE
Rio do Capitão-Mor	2	0,00	ATENDE			
Rio do Peixe	2	0,56	ATENDE			
Rio Guaió	2	0,00	NÃO		0,71	ATENDE
Rio Guaratinguetá	2	0,19	ATENDE			
Rio Guaratinguetá	2	0,00	ATENDE			
Rio Jacú	2	0,08	ATENDE			
Rio Jaguari	2	0,00	ATENDE			
Rio Jaguari	2	0,00	ATENDE			
Rio Palmital	1	0,00	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,73	NÃO	18%	0	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,53	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,76	NÃO	6%	0	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,67	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,00	NÃO		0,56	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,31	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,17	NÃO		0,8	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,00	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,62	NÃO	30%	0,95	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,74	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,00	ATENDE			
Rio Paraíba do Sul	2	0,00	ATENDE			

Rio Paraíba do Sul	2	0,81	NÃO	18,20%	1	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,89	NÃO	10%	1	ATENDE
Rio Paraibuna	2	0,00	ATENDE			
Rio Paraitinga	1	0,67	ATENDE			
Rio Pararangaba	2	0,00	ATENDE			
Rio Parateí	2	0,00	ATENDE			
Rio Parateí	2	0,61	ATENDE			
Rio Taiapuê	2	0,00	ATENDE			
Rio Taiapuê Mirim	2	0,00	NÃO		0,995	ATENDE
Rio Tietê	2	0,50	NÃO	50%	0,99	ATENDE
Rio Una	2	0,86	NÃO	8%	1	ATENDE
Sem Nome	2	0,00	ATENDE			
Sem Nome	2	0,00	ATENDE			
Sem Nome	2	0,00	ATENDE			
Sem Nome	2	0,00	ATENDE			
Sem Nome	2	0,00	NÃO		0,56	ATENDE
Sem Nome	2	0,00	ATENDE			
Sem Nome	2	0,00	NÃO		0,81	ATENDE

## APÊNDICE G - Alterações das eficiências para 2035.

Rio	Classe	$\eta$ original	Qs<Qref	$\eta$ manipulada	Qs<Qref
				ETE existente	
Córrego do Campo Velho	2	0,75	ATENDE		
Córrego do Rodeio	2	0,97	NÃO	2%	ATENDE
Córrego Goitaim	2	0,90	ATENDE		
Córrego Piracanguá	2	0,90	NÃO	2%	ATENDE
Ribeirão Canas	2	0,80	ATENDE		
Ribeirão das Palmeiras	2	0,80	NÃO	12%	
Ribeirão do Barreiro	2	0,75	ATENDE		
Ribeirão dos Monos	2	0,60	NÃO	33%	ATENDE
Ribeirão Piquete	2	0,90	NÃO	6%	ATENDE
Ribeirão Pirapitingui	2	0,75	NÃO	15%	ATENDE
Ribeirão Vermelho	2	0,60	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,80	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,60	ATENDE		
Rio Alambari	2	0,97	NÃO	2,60%	ATENDE
Rio Barreiro de Baixo	2	0,80	ATENDE		
Rio Buquira ou Ferrão	1	0,62	ATENDE		
Rio Capivari	2	0,63	ATENDE		
Rio Comprido	2	0,97	NÃO	3%	ATENDE
Rio do Bananal	1	0,90	NÃO	7%	ATENDE
Rio do Peixe	2	0,85	ATENDE		
Rio Guaratinguetá	2	0,94	ATENDE		
Rio Jacú	2	0,92	ATENDE		



Rio Jaguari	2	0,93	NÃO	5,80%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,75	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,85	NÃO	1%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,81	NÃO	2%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,91	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,86	NÃO	12%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,90	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,72	NÃO	19%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,75	NÃO	8%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,75	NÃO	6%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,60	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,75	ATENDE		
Rio Paraíba do Sul	2	0,91	NÃO	9%	ATENDE
Rio Paraíba do Sul	2	0,90	NÃO	9,50%	ATENDE
Rio Paraibuna	2	0,60	ATENDE		
Rio Paraitinga	1	0,85	ATENDE		
Rio Paraitinga	1	0,81	ATENDE		
Rio Parateí	2	0,84	ATENDE		
Rio Tietê - Alteração do corpo receptor	2	0,85	NÃO	10%	ATENDE
Rio Una	2	0,90	NÃO	6%	ATENDE
Sem Nome	2	0,90	ATENDE		
Sem Nome	2	0,80	NÃO	20%	ATENDE

APÊNDICE H - Amostra de dados para cálculo da vazão de subsídio para 2035.

(Executado da mesma forma para 2013)

<b>Curso d'água</b>	<b>ETE</b>	<b>Q<sub>afluente</sub></b>	<b>Q<sub>corpo receptor</sub></b>	<b>Município</b>	<b>C<sub>b</sub> (afluente)</b>	<b>C<sub>b</sub> (lançada)</b>
Córrego Do Campo Velho	Ete Silveiras	6,3	123,3	Silveiras	302,2	75,5
Córrego Do Campo Velho	Ete Macacos	1,5	123,3	Silveiras	294,8	74,1
Córrego Do Rodeio	Ete Cunha	27,8	76,2	Cunha	333,9	11,0
Córrego Goitaim	Ete Marlene Miranda	12	264,2	Taubaté	299,7	30,0
Córrego Piracanguá	Ete Estoril	13,2	98,9	Taubaté	300,4	30,1
Ribeirão Canas	Ete Canas	7,5	395,4	Canas	444,3	88,9
Ribeirão Das Palmeiras	Ete Igaratá	17,8	211,0	Igaratá	299,3	59,9
Ribeirão Do Barreiro	Ete São José Do Barreiro	6,2	380,6	São José Do Barreiro	299,2	74,9
Ribeirão Dos Monos	Ete Santa Branca	25,2	423,0	Santa Branca	332,7	133,1
Ribeirão Piquete	Ete Piquete	26,5	240,1	Piquete	300,5	30,0
Ribeirão Pirapitingui	Ete Roseira	21,1	376,5	Roseira	299,4	74,8
Ribeirão Vermelho	Ete Areias	4,9	210,4	Areias	334,5	133,7
Rio Paraíba Do Sul	Ete Aparecida	67,8	47583,1	Aparecida	325,7	65,1

## ANEXO A - Mapas de vazões de referência do município de São José dos Campos para 2013 e 2035.

