



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

INFLUÊNCIA DA COBERTURA FLORESTAL NA QUALIDADE DE ÁGUA E SOBRE  
OS CUSTOS DE TRATAMENTO NA ETA- RAUL SOARES

PATRÍCIA DO NASCIMENTO VIEIRA

BELO HORIZONTE  
2017

PATRÍCIA DO NASCIMENTO VIEIRA

INFLUÊNCIA DA COBERTURA FLORESTAL NA QUALIDADE DE ÁGUA E SOBRE  
OS CUSTOS DE TRATAMENTO NA ETA- RAUL SOARES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais, como requisito à obtenção do título de  
Engenheiro (a) Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. D.Sc. Daniel Brianezi

Co-orientador: Prof.D.Sc.Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

---

Aluna  
Patrícia do Nascimento Vieira

---

Professor Orientador  
Daniel Brianezi

---

Professor Co-orientador  
Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

BELO HORIZONTE  
2017

PATRÍCIA DO NASCIMENTO VIEIRA

INFLUÊNCIA DA COBERTURA FLORESTAL NA QUALIDADE DE ÁGUA E SOBRE  
OS CUSTOS DE TRATAMENTO NA ETA- RAUL SOARES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito para obtenção do  
título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

André Luiz Marques Rocha  
M.Sc. Engenharia Agrícola  
Professor do CEFET-MG  
(Examinador)

---

Frederico Keizo Odan  
D.Sc. Engenharia Hidráulica e Saneamento  
Professor do CEFET-MG  
(Examinador)

---

Daniel Brianezi  
D.Sc. Recursos Florestais e Engenharia Florestal  
Professor CEFET-MG  
(Presidente da Banca)

---

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho  
D.Sc. Tratamento da Informação Espacial  
Professor CEFET-MG  
(Examinador)

BELO HORIZONTE  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à Deus e aos meus mentores pela sabedoria, proteção e intuição concedidas durante toda essa jornada.

Aos meus pais, Melena e José, pelo apoio, amor e compreensão em todos os momentos e por contribuírem de todas as formas possíveis na construção do meu caráter e a todos os meus familiares pelo incentivo em cada escolha.

Ao meu orientador Daniel por ter aceitado desenvolver esse projeto, pela presença, dedicação, profissionalismo e pelas dicas valiosas que tanto contribuíram para minha formação pessoal e profissional e ao meu co-orientador Carlos Wagner pela paciência e disposição em colaborar com seus conhecimentos.

À SAAE Raul Soares, especialmente à Genira, e ao amigo Richard por viabilizarem o acesso aos dados, sem os quais a concretização deste estudo não seria possível.

Aos amigos do CEFET, em especial, minha irmã Tanise, Isabella, Paula, Paulo, Tião, Jéssica, Rick e Larissa, pelas colaborações ao longo de toda vida acadêmica e pelos momentos compartilhados sejam de desespero ou alegrias.

Ao Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do CEFET-MG e aos mestres em geral, por proporcionarem toda infraestrutura necessária e transmitirem os saberes fundamentais para a construção da minha vida profissional.

E, por fim, a todos aqueles que, mesmo distantes, torcem pelo meu sucesso e se fazem presentes das mais diversas formas.

## RESUMO

VIEIRA, PATRÍCIA DO NASCIMENTO. Influência da cobertura florestal na qualidade de água e sobre os custos de tratamento na ETA- Raul Soares.97p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária)– Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017. Orientador: Daniel Brianezi.Co-orientador: Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho.

A cobertura florestal é responsável pela provisão de vários serviços ambientais. O estado de conservação de uma bacia hidrográfica reflete na qualidade de água, posteriormente, indicará o tipo e o nível de tratamento a ser adotado, bem como as dosagens de produtos químicos, a energia elétrica gasta, entre outros. Nesse sentido, o objetivo deste estudo consiste em avaliar a contribuição da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do Rio Matipó para melhoria da qualidade da água e na redução dos custos incorridos na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Raul Soares –MG entre os anos de 1978 e 2015. Dessa forma, segmentou-se a metodologia em três etapas: i) caracterização da área de estudo ii) coleta de dados e, iii) tratamento de dados. Os resultados apontaram que, as variáveis estudadas (turbidez, cobertura vegetal, precipitação, consumo e custos de sulfato de alumínio) apresentam boa interação e relação de causa e efeito, o que corroborou a assertiva de que a remoção de vegetação reduz a qualidade de água. A aplicação do Método do Custo Evitado permitiu verificar o aumento nos custos incorridos na ETA Raul Soares em detrimento do decréscimo da área florestal. Observou-se entre os anos de 2001 e 2007 que foram economizados 55% de gastos com consumo de sulfato de alumínio com o aumento de 13% da cobertura vegetal. Portanto, para assegurar o desenvolvimento sustentável da bacia, é fundamental a adoção de programas de recuperação que envolvam todas as esferas da sociedade de modo a minimizar conflitos.

**Palavras-Chave:** Cobertura florestal. Serviços ambientais. Qualidade de água. Valoração ambiental.

## ABSTRACT

VIEIRA, PATRÍCIA DO NASCIMENTO. The forest cover influence on water quality and treatment costs in Raul Soares Water Treatment Plant. 97p. Monograph (Graduate)– Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

Forest cover provides many environmental services. The watershed's conservation level reflects on the quality of water, which indicate the type of treatment adopted, as well as chemicals levels, electric energy demand and others. The aim of this study was to evaluate the influence of the vegetation cover under the Matipó River watershed quality and reduce costs in the Raul Soares Water Treatment Plant (WTP) between 1978 and 2015. Thus, the method was divided into three steps: i) characterization of the study area ii) data collection and iii) data analysis. The results showed that the studied variables (turbidity, vegetation cover, precipitation, consumption and costs of aluminum sulphate) have a great interaction and cause-effect relationship. This corroborated to the assertion that the removal of vegetation reduces water quality. The application of the Avoided Cost Method allowed to verify an increase in the costs of Raul Soares WTP, which was caused by the decrease of forest area. Between 2001 and 2007 years, 55% of costs with consumption of aluminum sulphate were saved with 13% increase of vegetal cover. Therefore, to ensure the sustainable development of the watershed, it is essential to adopt recovery programs that involve all spheres of society in order to minimize conflicts.

**Keywords:** Forest cover. Environmental services. Water quality. Environmental evaluation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Visão sistêmica para seleção de tratamento de água.....	26
Figura 2 - Tecnologias de tratamento de água para abastecimento humano .....	27
Figura 3 - Planta de tratamento convencional .....	28
Figura 4- Desenho esquemático de um floculador hidráulico .....	30
Figura 5- Corte esquemático de um floculador mecânico .....	30
Figura 6- Decantadores clássicos .....	31
Figura 7- Tipos de decantadores tubulares .....	32
Figura 8- Tanque de contato para desinfecção, fluoretação e correção de pH.....	34
Figura 9– Diagrama de coagulação para o sulfato de alumínio .....	35
Figura 10 - Localização da sub-bacia do rio Matipó –MG.....	39
Figura 11 - Delimitação da bacia de contribuição da ETA-Raul Soares.....	41
Figura 12 - Identificação das estações pluviométricas na bacia de contribuição da ETA - Raul Soares .....	42
Figura 13- Mudanças na cobertura vegetal na bacia de contribuição da ETA Raul Soares.....	50
Figura 14– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e precipitação no período de 1978 a 2015 .....	52
Figura 15– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e consumo de sulfato de alumínio no período de 1978 a 2015 .....	54
Figura 16– Análise de dispersão dos dados de turbidez e cobertura vegetal .....	55
Figura 17– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e custos associados ao sulfato de alumínio no período de 1978 a 2015 .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limitações dos usos das águas conforme presença de poluentes ou contaminantes .....	19
Tabela 2- Classificação das águas e tratamento para abastecimento para consumo humano segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005. ....	20
Tabela 3 - Cidades que investem na proteção florestal no mundo. ....	24
Tabela 4 - Estações pluviométricas utilizadas para obtenção de dados .....	42
Tabela 5- Unidades de tratamento na ETA- Raul Soares .....	43
Tabela 6 - Vazões do rio Matipó no ponto de captação da ETA.....	44
Tabela 7- Características e aplicações das bandas do satélite Landsat -5 .....	45
Tabela 8– Quantificação da cobertura florestal da bacia hidrográfica de contribuição para o ponto de captação da ETA Raul Soares .....	49
Tabela 9– Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x precipitação .....	51
Tabela 10- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x sulfato de alumínio... ..	53
Tabela 11- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x cobertura florestal ....	55
Tabela 12- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x custos associados ao sulfato de alumínio .....	57
Tabela 13- Custos totais de consumo de sulfato de alumínio (R\$) associados ao percentual de cobertura florestal na bacia de contribuição para a ETA Raul Soares. ....	58
Tabela 14- Custo de Implantação de Plano de Recuperação para cada técnica (R\$/ha) .....	61
Tabela 15 - Custo de recuperação de 20% da área da bacia de contribuição (R\$).....	61



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\text{Al(OH)}_3$  - Hidróxido de Alumínio

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Área de Preservação Permanente

Ca – Cálcio

CC – Ciclo Completo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DF – Dupla Filtração

DQO – Demanda Química de Oxigênio

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA – Estação de Tratamento de Água

FDA – Filtração Direta Ascendente

FDD – Filtração Direta Descendente

$\text{Fe(OH)}_3$  – Hidróxido de Ferro

FF – Floto- Filtração

Fhidro – Fundação de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais

FiME – Filtração em Múltiplas Etapas

ha – Hectares

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IVP – Infravermelho Próximo

L- Litro

$\text{m}^3$  - Metros cúbicos

Mg – Magnésio

mg – Miligramas

mm – Milímetros

NBR – Norma Brasileira

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NTU – *Nephelometric Turbidity Unit*

pH – Potencial Hidrogeniônico

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

R – Coeficiente de correlação

R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação

s - Segundos

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TM – *Thematic Mapper*

UPGRH DO - Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce

UNT – Unidades Nefelométricas de Turbidez

V – Vermelho

VF – Valor Futuro

VP – Valor Presente

WWF- *World Wildlife Fund*

µm - micrometro

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivos específicos .....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
3.1. Características da água bruta .....	15
3.2. Conservação de mananciais de abastecimento público .....	19
3.3. Influência da cobertura vegetal na qualidade de água .....	22
3.4. Tratamento de água para consumo humano.....	25
3.4.1. Tratamento convencional .....	28
3.5 A valoração ambiental como ferramenta de gestão.....	36
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
4.1. Caracterização da área de estudo .....	39
4.2. A ETA Raul Soares.....	42
4.3. Quantificação da cobertura vegetal da área de estudo .....	44
4.4. Levantamento e tratamento de dados referentes à ETA .....	47
4.5. Método do custo evitado.....	48
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
5.1. Quantificação das áreas florestais na região de estudo.....	49
5.2. Tratamento dos dados .....	51
5.2.1. Análise turbidez x precipitação .....	51
5.2.2. Análise turbidez x consumo de sulfato de alumínio.....	53
5.2.3. Análise turbidez x cobertura vegetal .....	54
5.2.4. Análise turbidez x custos de sulfato de alumínio .....	57
5.3. Aplicação do Método do Custo Evitado .....	58
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
ANEXO A – Dados de precipitação mensal (mm) no período entre 1978 e 2015.....	75
ANEXO B – Dados de precipitação mensal (mm) na década de 1990 .....	76
ANEXO C – Dados de precipitação mensal (mm) na década de 2000 .....	77
ANEXO D – Dados de precipitação mensal (mm) no período entre 2010 e 2015.....	78

ANEXO E – Média mensal de precipitação mensal (mm) no período entre 1978 e 2015.....	79
ANEXO F – Descrições das imagens Landsat -5 utilizadas para o método NDVI.....	80
ANEXO G - Dados de Turbidez (UNT) de 1978 a 1989 .....	81
ANEXO H – Dados de turbidez (UNT) na década de 1990.....	82
ANEXO I – Dados de turbidez (UNT) na década de 2000 .....	83
ANEXO J – Dados de turbidez (UNT) de 2010 a 2015 .....	84
ANEXO K – Média mensal de turbidez (UNT) de 1978 a 2015 .....	85
ANEXO L – Consumo de sulfato de alumínio (kg) no período entre 1978 e 1989 .....	86
ANEXO M – Consumo de sulfato de alumínio (kg) na década de 1990 .....	87
ANEXO N – Consumo de sulfato de alumínio (kg) na década de 2000.....	88
ANEXO O – Consumo de sulfato de alumínio (kg) no período entre 2010 e 2015.....	89
ANEXO P – Consumo médio mensal de sulfato de alumínio (kg) no período entre 1978 e 2015 .....	90
ANEXO Q- Dados de turbidez e vegetação empregados na análise turbidez x cobertura vegetal.....	91
ANEXO R – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 1978 e 1989 .....	92
ANEXO S – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) na década de 1990 .....	93
ANEXO T – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) na década de 2000 .....	94
ANEXO U – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 2010 e 2015 .....	95
ANEXO V – Custo médio mensal associado ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 1978 e 2015 .....	96
APÊNDICE A – Fluxograma metodológico da geração dos dados de vegetação .....	97

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um insumo fundamental às atividades cotidianas do ser humano, como para a agricultura, processos industriais e para o próprio consumo. No entanto, a utilização desenfreada e mal planejada desse recurso tem levado à sua degradação e colaborado para déficit hídrico (CESA e DUARTE, 2010).

Segundo Silva, Rocha e Neto (2015), a região da Zona da Mata mineira, assim como várias cidades da região sudeste do Brasil, têm enfrentado problemas de escassez de água e racionamento, cuja ocorrência pode ser associada à falta de planejamento territorial das bacias.

A preservação e recuperação de bacias hidrográficas devem ser entendidas como ações prioritárias no processo de gestão, visto que a cobertura florestal é fundamental no que tange a manutenção da qualidade da água, a elevação da capacidade de armazenamento e a regularização de vazão em uma microbacia (FERNANDES, 2009).

O estado de conservação do manancial reflete na qualidade de água que, posteriormente, indicará o tipo e o nível de tratamento a ser adotado, bem como as dosagens de produtos químicos, a energia elétrica gasta, entre outros (HELER e PÁDUA, 2010).

Embora haja um conhecimento bem difundido sobre a importância das florestas, é perceptível que ainda assim o tema é pouco discutido em fóruns de gestão ambiental e geralmente a solução para a obtenção de água potável tende a valorizar as obras de engenharia, o que implica em altos custos (REIS, 2004).

A motivação da realização desse trabalho é pautada no fato de que, não obstante a existência de estudos que comprovam a relação positiva entre cobertura vegetal e recursos hídricos, ainda nota-se uma defasagem de estudos - principalmente no Brasil - que adotem uma abordagem econômica utilizando os métodos de valoração para mensurar o impacto das florestas sobre os dispêndios com tratamento de água.

Nesse contexto, a proposta desse estudo consiste em avaliar a importância da cobertura florestal no manejo de bacias hidrográficas e, em especial, na melhoria da qualidade de água para abastecimento e redução de custos de tratamento.

## **2. OBJETIVOS**

Avaliar a contribuição da cobertura vegetal na sub-bacia hidrográfica do Rio Matipó, para a melhoria da qualidade da água e na redução dos custos incorridos na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Raul Soares –MG.

### **2.1. Objetivos específicos**

- ✓ Identificar o comportamento da cobertura florestal da área de estudo, inserida na sub-bacia hidrográfica do Rio Matipó, a partir da década de 1980 até o ano de 2015;
- ✓ Estimar os custos associados ao consumo de coagulante na ETA Raul Soares;
- ✓ Verificar, estatisticamente, a influência do parâmetro turbidez sobre os custos com produtos químicos na ETA Raul Soares;
- ✓ Correlacionar a porcentagem de cobertura florestal com a turbidez;
- ✓ Avaliar o quanto a cobertura florestal na bacia hidrográfica pode contribuir para a redução de custos na ETA.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Características da água bruta

O nível de qualidade de água é um fator determinante à escolha do tipo de tratamento a ser empregado por uma estação de tratamento de água. Para cada fim o qual a utilização da água se destina, existem valores referência a serem cumpridos no que tange às diferentes propriedades da água, são os chamados parâmetros de qualidade (AZEVEDO, 2013).

A caracterização da água não requer uma análise de todos os parâmetros disponíveis e sim àqueles que são coerentes à sua finalidade, proporcionando resultados pertinentes e conclusivos (CHAVES, 2004).

Conforme SILVA et al. (2014), no âmbito do abastecimento de água para consumo humano são aspectos relevantes: os parâmetros físicos (turbidez, cor, sabor e odor), químicos (alcalinidade e acidez, pH, dureza, íons de ferro e manganês, nitrogênio, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, micropoluentes inorgânicos) e biológicos. Alguns são descritos a seguir.

- a) **Turbidez:** esse parâmetro pode ser explicado pela ocorrência de partículas orgânicas, minerais ou ainda sólidos suspensos no corpo d'água que interferem a passagem de luz. Sendo, portanto, mais alta em ambientes lóticos e menor em ambientes lênticos cuja sedimentação das matérias suspensas é mais favorecida (VIANNA, 2010).

A turbidez é determinada através da intensidade da difração da luz incidente sobre uma amostra comparada com a intensidade de emissão de luz de outra amostra (sem turbidez), sendo expressa então em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT ou NTU em inglês) (AZEVEDO, 2013).

De acordo com Winward et al. (2008), por si só, esse parâmetro não é responsável por ocasionar problemas sanitários. No entanto, em virtude da associação de micro-organismos patogênicos ou substâncias químicas às partículas suspensas, é possível que haja uma interferência da turbidez no tratamento de água, mais especificamente, no processo de desinfecção;

- b) **Cor:** a cor verdadeira pode ser explicada pela capacidade de absorção de radiações do espectro visível pela água e se dá pela presença de substâncias dissolvidas, como corantes químicos oriundos de efluentes de indústrias, íons

de ferro e magnésio, compostos húmicos e outros. Por outro lado, tem-se a cor aparente, em que além dos fatores anteriormente citados, também está relacionada à turbidez, causada pelo material suspenso que confere cor à água (LIRA, 2016).

Para determinar a cor real de uma amostra, realiza-se uma centrifugação de forma a viabilizar a separação das partículas em suspensão presentes (cor aparente) (VIANNA, 2010);

- c) **Sabor e odor:** refere-se à existência de partículas em suspensão ou substâncias dissolvidas, que têm o potencial de alterar esses dois parâmetros. São exemplos: compostos orgânicos, sais, gases e compostos húmicos. Utiliza-se o método de adsorção para a remoção de substâncias dissolvidas ou aeração quando se trata de gases ou compostos voláteis (AZEVEDO, 2013);
  
- d) **Alcalinidade e acidez:** o primeiro parâmetro é definido, segundo Neto (2013) como a capacidade de neutralização de ácidos, devido a reações provocadas por sais do ácido carbônico (bicarbonatos e carbonatos) e hidróxidos. Já a acidez indica o potencial da água em neutralizar bases, sendo ocasionada, geralmente, pela presença de gás carbônico livre (VON SPERLING, 2014). Ambos os parâmetros não apresentam grande implicação sanitária. Por outro lado, são importantes no que se referem à dosagem de produtos químicos, prevenção de deterioração de tubulação e/ou equipamentos, permitindo controle operacional nas ETA's (VIANNA, 2010);
  
- e) **pH:** o potencial hidrogeniônico ou pH, apresenta as características de acidez, alcalinidade ou neutralidade da água através da medição da concentração de íons de hidrogênio. Este parâmetro é imprescindível para o bom funcionamento da ETA, seja porque permite realizar o controle de corrosão nas tubulações ou ainda porque o pH promove a precipitação ou solubilização de substâncias na água (PAULINO, 2014);
  
- f) **Dureza:** sua ocorrência explica-se pela concentração de íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) na água. É comum águas duras serem caracterizadas por



demandar maior quantidade de sabão para formar espuma, ou ainda por causarem o inconveniente em indústrias por gerarem incrustações em caldeiras e tubulações de água quente (em altas temperaturas há formação de precipitados), além de conferir sabor desagradável à água (LIRA, 2016);

- g) **Íons de ferro e manganês:** esses cátions, no que tange ao abastecimento de água para consumo humano, são levados em consideração por questões estéticas, uma vez que quando oxidados são responsáveis por promover uma cor amarelada à água, causando rejeição de consumo (VON SPERLING, 2014);
- h) **Nitrogênio:** no meio aquático, este elemento químico pode ocorrer sob diversas formas: nitritos, nitratos, amoniacal e orgânico. A origem antropogênica do nitrogênio, usualmente é justificada pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais no corpo hídrico, promovendo a proliferação de algas que alteram o sabor e odor da água, além de prejudicar o emprego de algumas tecnologias de tratamento de água que se valem do princípio de sedimentação (AZEVEDO, 2013);

Além disso, os nitratos são parâmetros importantes de serem monitorados uma vez que provocam problemas de saúde, como metemoglobinemia, também conhecida como síndrome do bebê azul (VON SPERLING, 2014);

- i) **Demanda bioquímica de oxigênio (DBO):** este parâmetro indica a quantidade de oxigênio requerida para que a matéria orgânica biodegradável presente na água seja degradada por processos biológicos. Por isso, altos valores de DBO implicam em uma redução de oxigênio no meio aquático (PAULINO, 2014);
- j) **Demanda química de oxigênio:** também conhecido como DQO, este parâmetro mede, indiretamente, o teor de matéria orgânica presente na água. Sendo assim, retrata o consumo de oxigênio ocorrido pela degradação da matéria orgânica através de processo químicos (AZEVEDO, 2013);

- k) **Micropoluentes inorgânicos:** São representados pelos compostos inorgânicos tóxicos, como flúor, cianeto, entre outros, e os de metais pesados, entre os quais cita-se: cádmio, cromo, arsênio, chumbo, mercúrio e prata. Em concentrações consideradas altas, estes elementos podem ser prejudiciais à saúde dos consumidores de água, além de causar acúmulo de metais ao longo da cadeia alimentar (VON SPERLING, 2014);e
- l) **Parâmetros biológicos:** considerando-se os aspectos sanitários, esses parâmetros são fundamentais, uma vez que vários micro-organismos presentes na água provocam doenças relacionadas ao abastecimento público. Dentre os patógenos de importância sanitária, destacam-se: bactérias do grupo coliformes, vírus Rotavírus, Norovírus e Poliovírus e os protozoários Ameba, Giardia, Cyclospora, Cryptosporidium). Este último é, ainda, resistente à etapa de desinfecção convencional, fazendo necessário que seja frequentemente monitorado nas ETA's (AZEVEDO, 2013).

Tomando como base os parâmetros de qualidade, o Ministério da Saúde aponta a necessidade de que os sistemas de abastecimento para o consumo humano assegurem algumas condições, como: atendimento dos Padrões de Potabilidade vigentes, a prevenção de cáries dentárias por meio da fluoretação e proteção dos sistemas de abastecimento (BASTOS et al., 2006) Nesse contexto, pode-se inferir que a utilização das águas pode ser bastante limitada diante de suas características (Tabela 1).

Tabela 1 - Limitações dos usos das águas conforme presença de poluentes ou contaminantes

Poluentes ou contaminantes	Usos						
	Água para consumo humano	Biota aquática e pesca	Recreação	Irrigação	Usos industriais	Produção de energia e resfriamento	Transporte
Patógenos	XX	0	XX	X	XX <sup>1</sup>	NA	NA
Sólidos Suspensos	XX	XX	XX	X	X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	XX <sup>3</sup>
Matéria orgânica	XX	X	XX	+	XX	X	NA
Fitoplâncton	XX <sup>5,6</sup>	X <sup>7</sup>	XX	X <sup>6</sup>	XX <sup>4</sup>	X <sup>5</sup>	X <sup>8</sup>
Nitrato	XX	X	NA	+	XX	NA	NA
Sais <sup>9</sup>	XX	XX	NA	XX <sup>10</sup>	XX	NA	NA
Elementos traço	XX	XX	X	X	X	NA	NA
Micropoluente orgânico	XX	XX	X	X	?	NA	NA
Acidificação	X	XX	X	?	X	X	NA

Fonte: CHAPMAN, 1996 *apud* HELLER e PÁDUA, (2010).

XX Dano acentuado, exigindo maiores custos em tecnologias de tratamento ou excluindo o uso

X Menor dano

0 Nenhum dano

NA Não aplicável

+ A degradação de qualidade de água pode ser benéfica nesse uso

? Efeitos ainda não completamente compreendidos

1 Indústrias alimentícias

2 Abrasão

3 Assoreamento de canais

4 Indústrias eletrônicas

5 Entupimento de filtros

6 Odor, sabor e/ou cianotoxinas (estando presentes cianobactérias tóxicas)

7 Em tanques de peixes, maiores biomassas fitoplanctônicas

8 Desenvolvimento de macrófitas além de fitoplânctons

9 Inclui boro, fluoreto, etc

10 Cálcio, ferro, manganês em indústrias têxteis

### 3.2. Conservação de mananciais de abastecimento público

Em função da grande aplicabilidade dos recursos hídricos nas atividades cotidianas do ser humano, a qualidade da água é um termo que deve ser definido conforme sua finalidade. Nesse contexto, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA instituiu a Resolução nº357 de 2005 a fim de classificar os corpos d'água e determinar diretrizes ambientais para seu enquadramento segundo os usos preponderantes (LUCAS et al., 2010).

Segundo a referida Resolução (CONAMA, 2005), no que tange o abastecimento para o consumo humano, poderão ser utilizadas águas doces ou salobras desde que observadas as normas/parâmetros de qualidade de água e os padrões de potabilidade disposto na Portaria do

Ministério da Saúde nº 2.914 de 2011. O tratamento a ser empregado dependerá, então, das características da água a ser captada (Tabela 2).

Tabela 2- Classificação das águas e tratamento para abastecimento para consumo humano segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005.

Destinação	Salinidade	Enquadramento	Tratamento
<b>Abastecimento para consumo humano</b>	Doce	Classe especial	Desinfecção
		Classe 1	Simplificado
		Classe 2	Convencional
	Salobra	Classe 3	Convencional ou avançado
		Classe 1	Convencional ou avançado

Fonte: CONAMA (2005).

A qualidade da água de um recurso hídrico é resultado de vários fatores de ordem física, química, biológica ou hidrodinâmica, e, além disso, as relações de uso e ocupação do solo também podem impactar, em diferentes magnitudes, as características de um corpo d'água (MAIA et al., 2013).

Essas alterações das condições dos recursos hídricos ocorrem naturalmente ou em detrimento das ações antrópicas e podem implicar na inviabilização do seu uso para diversas atividades devido à riscos sanitários, aumento dos custos e dificuldades na seleção de técnicas de tratamentos mais simples (PINTO, ROMA e BALIEIRO, 2012).

O manancial é definido como a fonte de água a ser empregada para o abastecimento público e pode se originar da água de chuva, subterrânea ou superficial (Bastos et al., 2006). Segundo Netto e Ritcher (2003), a escolha do manancial de captação é uma etapa crucial para o projeto de sistemas de abastecimento de água, na qual é fundamental realizar um estudo de viabilidade.

A degradação de um manancial pode ter diversas causas, as quais devem ser controladas ao máximo buscando-se a minimização de riscos sanitários e custos associados ao tratamento de água. São algumas das fontes de poluição e contaminação de mananciais (HÉLLER e PÁDUA, 2010):

- Precipitação atmosférica e escoamento superficial: as águas pluviais podem carrear impurezas da atmosfera e do solo para os corpos hídricos;

- Infiltração no solo: apesar da capacidade filtrante do solo, é possível que dependendo da geologia local, haja a dissolução de compostos ou carreamento de outras impurezas como matéria fecal responsáveis pela poluição hídrica;
- Lançamentos diretos: os despejos de efluentes domésticos e industriais e de resíduos sólidos lançados de forma inadequada;
- Evaporação: quando a ocorrência desse fenômeno se apresentar maior que a vazão aduzida há um potencial de salinização dos cursos d'água;
- Intervenções estruturais: representa obras de infraestrutura que ao longo do processo de implantação e após o mesmo causar impactos negativos à bacia hidrográfica como, por exemplo, canalizações de rios e barramentos;e
- Uso e ocupação do solo: as práticas inadequadas de uso da terra, a realização de atividades agropecuárias sem um manejo apropriado, os desmatamentos e a urbanização intensiva próxima aos recursos hídricos contribuem de forma expressiva nos aspectos quantitativos e qualitativos da água.

A conservação de mananciais, nesse âmbito, é a primeira medida de controle a ser adotada visando à proteção dos recursos hídricos, assegurando assim a produção de água para atendimento ao consumo humano. Ainda cabe ressaltar que durante o período de captação é imprescindível que sejam feitos a caracterização da água e o monitoramento frequente dos parâmetros a fim de subsidiar as tomadas de decisão e até mesmo para permitir a análise da eficiência do tratamento empregado (REIS, 2004).

Enaltecendo-se então a importância dos mananciais, é notório que existe no Brasil algumas tentativas de proteção desses recursos através de disposições legais. A Lei das Águas (Lei nº 9.433 de 1997), por exemplo, instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), que tem como objetivo principal garantir a acessibilidade à água não somente para as gerações atuais, mas também as futuras, sendo suas diretrizes (BRASIL, 1997):

- Gestão sistemática dos recursos hídricos, com atenção para os aspectos de quantidade e qualidade;
- Associar a gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais brasileiras;
- Integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- Articulação da gestão de recursos hídricos com a gestão do uso do solo;e

- Integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Outro instrumento em âmbito federal é o Código Florestal (Lei nº12.651 de 2012) que disciplina as relações de uso e ocupação do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP), almejando, dentre outras coisas, a preservação dos recursos hídricos (BRASIL, 2012).

A nível estadual, em Minas Gerais a Lei nº 20.922 de 2013 dispõe sobre as políticas florestais e de proteção a biodiversidade do Estado, apresentando consonância com a PNRH (MINAS GERAIS, 2013).

Ainda, a Lei nº 15.910 de 2005, dispõe sobre o Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais – Fhidro, que objetiva implantar a gestão de recursos hídricos; fornecer aporte financeiro, quando necessário, aos comitês de bacia; promover a racionalização de uso e melhoria dos recursos hídricos e prevenir inundações e controlar a ocorrência de erosão do solo no Estado (MINAS GERAIS, 2005).

Tendo em vista o abastecimento público, as fontes de água devem se apresentar em condições adequadas para serem utilizadas, isso implica na realização do manejo sustentável de toda a bacia a qual o manancial pertence, já que o meio ambiente é um sistema interdependente e a conservação da água simplesmente não seria facilmente obtida sem que outros recursos naturais fossem preservados (LIMA, 2008).

### **3.3. Influência da cobertura vegetal na qualidade de água**

A relação de uso do solo em uma bacia hidrográfica é um fator relevante a ser considerado na produção de água bem como na sua qualidade. O processo de urbanização, por exemplo, exerce impacto sobre os deflúvios de microbacias em virtude da impermeabilização das superfícies provocando, assim, o aumento do escoamento superficial, dos picos de cheia e do processo de assoreamento de cursos d'água, além da poluição hídrica decorrente das atividades socioeconômicas realizadas no espaço (BUENO, GALBIATTI e BORGES, 2005).

A cobertura florestal é responsável pela provisão de vários serviços ambientais em uma bacia hidrográfica, como a regulação de microclima, preservação do solo e influencia ainda alguns processos hidrológicos como a interceptação, transpiração, infiltração e percolação (RIZZI, 1985).

De acordo com o estudo do *World Bank* e WWF (2003), a porcentagem de cobertura vegetal nas bacias atua de forma a reduzir o transporte de outros contaminantes, a ocorrência

de processos erosivos e o movimento de massas, o que minimiza o processo sedimentação e o carreamento ou deposição de partículas sólidas em cursos d'água, além de filtrar e imobilizar sedimentos e nutrientes utilizados na agricultura e regular a temperatura da água.

As alterações na bacia hidrográfica por meio da impermeabilização nas áreas urbanas e do desmatamento ocasionam o aumento do escoamento superficial, um dos principais transportadores de poluentes para os corpos d'água. As partículas carregadas podem conter elementos como nitrogênio, fósforo, metais pesados presentes em pesticidas que aderem aos sólidos (comuns em áreas agrícolas), sedimentos, matéria orgânica e até mesmo organismos patogênicos (FERREIRA, 2008).

Segundo Bertolet al (2007), a baixa taxa de cobertura florestal nas bacias também está relacionada à ocorrência de erosão, uma das causas da degradação da qualidade da água de mananciais. A erosão trata-se de uma perda de solo que ocorre ao longo do tempo de forma natural (ação da água ou do vento), mas que pode ser intensificada por ações antrópicas, dentre elas o desmatamento (PEREIRA e SOBRINHO, 2014).

A Equação Universal de Perda do Solo é um importante instrumento de avaliação dos processos erosivos, é estimada por meio do produto de seis fatores: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento da vertente, declividade da vertente, uso e manejo do solo e práticas conservacionistas. Dessa forma, esse modelo engloba aspectos naturais e antrópicos que, associados, possuem o potencial de causar perdas de solo. Essa equação pode, então, ser utilizada para identificar vulnerabilidades em escalas regionais de bacias (BARBOSA et al., 2015).

A Agência Nacional de Águas – ANA (2012) realizou uma análise para o Brasil a qual aponta aumento dos custos de tratamento de água, conservação de estradas e depreciação de reservatórios associada ao processo de erosão na ordem de R\$13,3 bilhões por ano.

Conhecendo-se então, a importância do manejo florestal no que tange a manutenção da qualidade e quantidade de água, vários países têm adotado medidas conservacionistas com o intuito de reduzir custos e garantir o acesso a esse recurso para gerações atuais e futuras (World Bank e WWF, 2003)(Tabela 3).

Tabela 3 - Cidades que investem na proteção florestal no mundo.

<b>Cidade/País</b>	<b>Manejo florestal para proteção de bacias hidrográficas</b>
<b>Seul, República da Coreia do Sul</b>	Na bacia do Nakdong foram criadas zonas de proteção especial, mantendo matas ciliares para restringir atividades comerciais nas proximidades dos rios da bacia.
<b>Tokyo, Japão</b>	É realizado um gerenciamento florestal nas nascentes do rio Tama, tendo em vista o aumento da capacidade de recarga do corpo d'água, evitar a sedimentação do reservatório Ogochi, aumentar a capacidade de depuração da água e preservar o meio ambiente.
<b>Pequim, China</b>	As bacias hidrográficas a montante do reservatório Miyun (principal fonte de abastecimento da cidade) são objeto de gestão para conservação dos recursos hídricos.
<b>Yangon (Rangoon), Myanmar</b>	As barragens de Gyobu e Phugyi, que fornecem água potável para a cidade, são geridas pelo Departamento Myanmar de Floresta, que é responsável por executar atividades de conservação florestal da bacia.
<b>Santiago, Chile</b>	Criou-se a Instituição de Áreas Ecológicas de Conservação para fins de preservação em condições naturais para assegurar e contribuir para a qualidade ambiental. As florestas são a fonte de água potável da Empresa Metropolitana de Obras Sanitárias, que abastece o município de La Reina, correspondendo a aproximadamente 20% de água potável demandada por Santiago.
<b>Estocolmo, Suíça</b>	Os lagos Malaren e Borsjon suprem a demanda de água da cidade e, para manter esse abastecimento, há um controle de 2.323 ha da bacia do lago Borsjon, ou seja, cerca de 40% corresponde a uma área florestal produtiva certificada. A gestão está voltada para a proteção da qualidade da água e destinação de áreas para conservação e restauração.

(continua....)



Continuação Tabela 3 – Cidades que investem na proteção florestal no mundo.

Cidade/País	Manejo florestal para proteção de bacias hidrográficas
<b>Munique, Alemanha</b>	Desde a fundação do sistema hidráulico de Munique, por volta do ano de 1900, o manejo florestal se deu com o objetivo de garantir uma boa qualidade de água. Atualmente, uma área de 2.900 ha é administrada sendo que uma área adicional de 1.900 ha está sob contratos de longo prazo com os agricultores locais, para que se comprometam com a agricultura ecológica/orgânica.
<b>Minsk, Bielorrússia</b>	Implantou-se um cinturão verde (com cerca de 80 km) ao redor da cidade e uma zona de proteção em torno do reservatório, os quais desempenham um papel importante na manutenção da qualidade da água. O regime de proteção nessas zonas é bastante rigoroso. A exploração de madeira, por exemplo, é proibida. Graças a estas restrições, a floresta da cidade de Minsk não foi degradada.
<b>Sydney, Austrália</b>	Cerca de 25% da captação de água é gerida dentro de "zonas especiais", que atuam como uma zona tampão para evitar o carreamento de nutrientes e outras substâncias que possam afetar a qualidade da água.
<b>Melbourne, Austrália</b>	90% do abastecimento de água de Melbourne vem de florestas intactas de bacias montanhosas ao norte e ao leste de Melbourne. A companhia Melbourne Água administra a coleta de água proveniente dessas áreas florestais e tem apoio legislativo para proteção dos recursos hídricos. As prioridades da gestão nas bacias hidrográficas florestadas incluem o combate aos incêndios florestais.

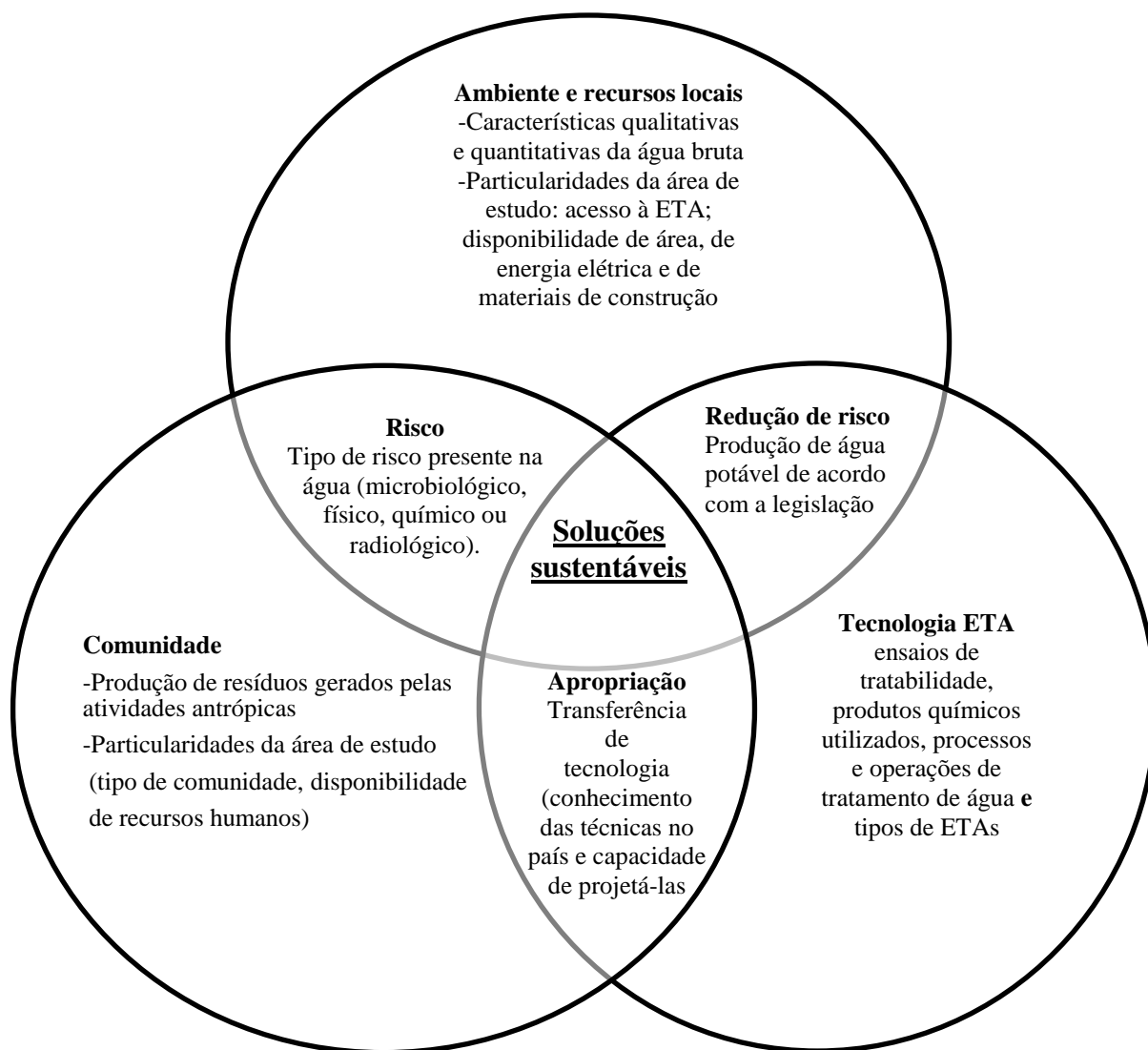
Fonte: World Bank e WWF (2003).

### 3.4. Tratamento de água para consumo humano

A captação de água para fins de abastecimento para consumo humano, do ponto de vista técnico pode ocorrer em qualquer corpo d'água, independente do seu estado de degradação. No entanto, considerando-se o aspecto econômico, alguns poluentes presentes na água tornam o tratamento mais oneroso e com aspectos operacionais mais complexos (VIANNA, 2010).

Diante do exposto, a seleção da tecnologia para o tratamento de água de abastecimento público abrange vários quesitos como: a qualidade do manancial disponível, demanda pelo recurso, áreas de instalações requeridas para o sistema, a capacidade de sustentação (mão-de-obra) e os recursos financeiros a serem alocados para esse fim (Figura 1) (MIERZWA et al., 2008).

Figura 1 – Visão sistêmica para seleção de tratamento de água.



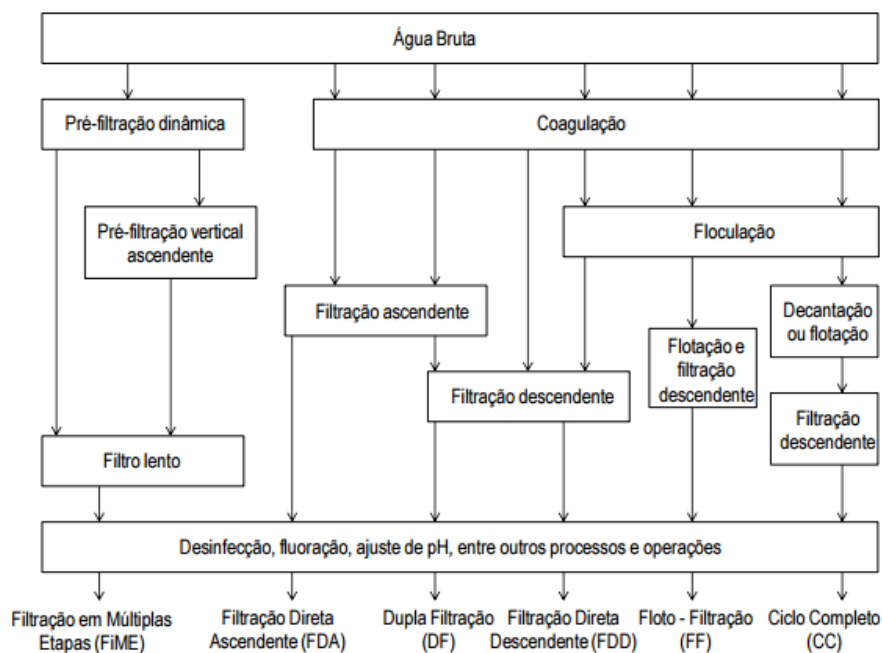
Fonte: AZEVEDO (2013)

Existe, atualmente, uma gama de técnicas de tratamento de água. Essas podem ser segregadas em três grupos: os tratamentos simplificados, convencionais e avançados. Devido ao aumento da população, descobertas de compostos naturais e sintéticos que contaminam os

corpos d'água, surgimento de novos processos, entre outros, muitas vezes há a necessidade de tratamentos menos convencionais a fim de assegurar a segurança sanitária da água tratada (NETTO, 1974).

Os tratamentos simplificados são aqueles que correspondem ao processo de clarificação através da filtração e posteriormente desinfecção. Se preciso, também poderá ser realizada uma correção de pH. O tratamento convencional, por sua vez, engloba processos físico-químicos (coagulação, floculação e separação sólido/líquido), além da desinfecção e correção de pH. Por fim, os tratamentos avançados são técnicas utilizadas com o intuito de remover ou inativar constituintes presentes na água bruta, resistentes ao processo convencional de tratamento (Figura 2) (AZEVEDO, 2013).

Figura 2 - Tecnologias de tratamento de água para abastecimento humano



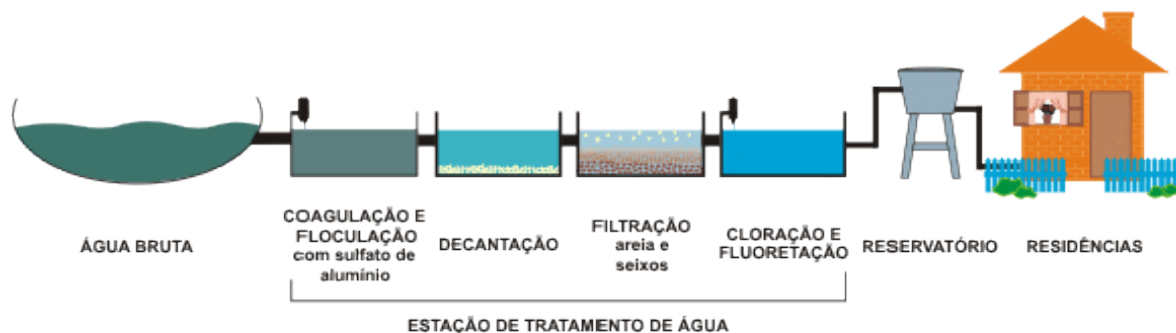
Fonte: AZEVEDO (2013)

No Brasil, os sistemas foram concebidos há mais de 35 anos, apresentando-se em sua maioria como modelos convencionais. Ainda na atualidade esse cenário se mantém, principalmente porque o tratamento convencional - quando aplicável à situação, é mais viável por conter variáveis mais simplistas (OLIVEIRA, 2010).

### 3.4.1. Tratamento convencional

O tratamento convencional também pode ser definido como ciclo completo e é o mais usual no Brasil. Nesse caso, a clarificação da água bruta ocorre através de unidades sequenciais: coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração, desinfecção e fluoretação (LIBÂNIO,2010) (Figura 3).

Figura 3 - Planta de tratamento convencional



Fonte: SANEP (2017).

A coagulação é uma etapa do tratamento de caráter físico-químico que almeja promover a desestabilização das partículas coloidais. Dessa forma, aplicam-se produtos químicos, como por exemplo, sais de alumínio ou de ferro (coagulante) em unidades responsáveis por proporcionar energia e agitação da água bruta com o coagulante: as chamadas unidades de mistura rápida (AZEVEDO, 2013).

A adição do coagulante em meio alcalino origina hidróxidos que reagem com partículas de carga negativa em suspensão, formando assim flocos (partículas maiores) e facilitando sua posterior remoção. No entanto, para que isso ocorra deve ser feita uma escolha certa do coagulante considerando-se os custos, a eficiência, as dosagens a serem aplicadas, entre outros aspectos. Para tal, é imprescindível a realização de estudos em escala piloto – *Jar Test*(FRANCISCO, POHLMAN e FERREIRA, 2011).

De acordo com Gonçalves, Piotto e Resende (1997), existem quatro mecanismos de coagulação: compressão da dupla camada, neutralização- adsorção de cargas, varredura e formação de pontes. A ocorrência destes depende de fatores como: condições de mistura, pH, potencial elétrico, entre outras interações complexas.

A compressão da dupla camada é um mecanismo de natureza eletrostática, ou seja, adicionam-se íons de carga oposta aos presentes na água – geralmente sais, que serão atraídos pelos íons dos coloides de cargas diferentes e repelidos pelos íons de mesma carga. Por esse princípio, os íons que se aproximaram das superfícies das partículas provocam a compressão

da dupla camada, a qual reduz a ocorrência de repulsão dos coloides, caracterizando assim o processo de coagulação (SORIANI, 2015).

A neutralização – adsorção de cargas se dá em virtude da adição de um coagulante que em certa faixa de pH favorece a formação de espécies hidrolisadas que tendem a serem adsorvidas nas superfícies das partículas. A dosagem do coagulante, nesse caso, é proporcional à área superficial do coloide (LIBÂNIO, 2010).

Di Bernardo e Dantas (2005) esclarecem que é possível que, observadas as características da água, o coagulante empregado - bem como sua dosagem e o pH da mistura originem precipitados como por exemplo o  $\text{Al}(\text{OH})_3$  e o  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Nesse processo, observa-se que os flocos apresentam-se em dimensões maiores e sedimentam-se mais facilmente. Esse mecanismo é denominado varredura.

Por fim, a formação de pontes se estabelece a partir da adição de polímeros à água bruta que atuam como uma ponte entre os sítios ativos dessas moléculas e os coloides, o que permite com que haja uma aglutinação das impurezas. Esse mecanismo provoca um aumento da densidade dos flocos e reduz a quantidade de coagulante empregado (GONÇALVES, PIOTTO e RESENDE, 1997).

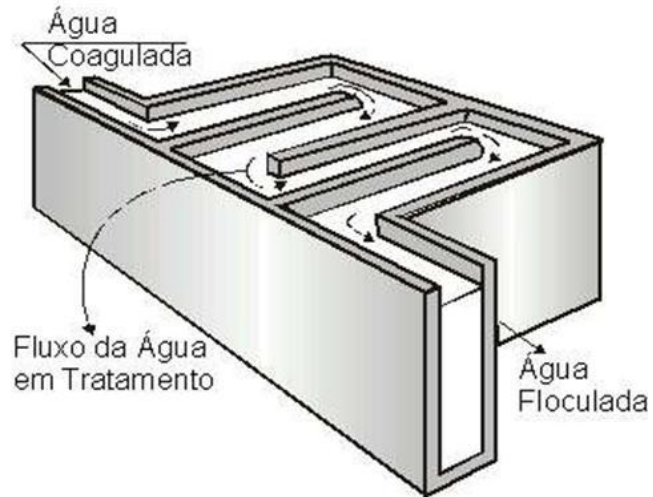
A partir da desestabilização ocasionada na coagulação, tem-se a floculação, que objetiva promover o choque das partículas e formar coágulos ainda maiores: os flocos. Para isso, inicialmente a água deve ser intensamente agitada de forma homogênea em um tempo curto. À medida que esses flocos são formados, estes adquirem peso e por isso a intensidade da agitação deve ser menor já que a força de cisalhamento imposta aos mesmos seria capaz de gerar a ruptura dos flocos (MEDEIROS FILHO, 2009).

O transporte das partículas desestabilizadas pode ocorrer de três formas: pelo movimento browniano, pericinético ou ortocinético. O movimento browniano é definido como aleatório e é impulsionado pela energia térmica. Quando esta agitação térmica direciona-se para partículas menores que  $1\mu\text{m}$  e as mesmas se chocam e se agregam em detrimento da ação da gravidade ocorre o movimento pericinético. Por sua vez, o movimento ortocinético se dá quando as partículas são maiores que  $1\mu\text{m}$  com introdução de energia externa. Dessa forma, a hidrodinâmica do escoamento passa a ser mais relevante na aglomeração dos flocos (TRENTO, 2005).

A floculação objetiva garantir a formação de flocos com boas características de sedimentabilidade para que seja efetuada a remoção das impurezas da água na etapa seguinte. Existem dois tipos de flocladores: os hidráulicos que são dispositivos que impõem mudanças

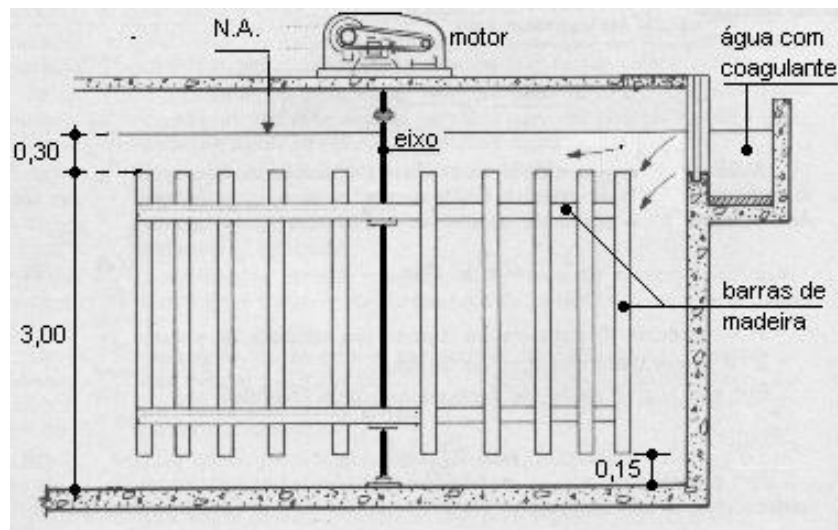
de direções durante todo o fluxo da água coagulada (Figura 4), e os mecânicos que com auxílio de equipamentos mecânicos asseguram a manutenção de uma agitação uniforme (VIANNA, 2010) (Figura 5).

Figura 4- Desenho esquemático de um floculador hidráulico



Fonte: SANEAGO (2006)

Figura 5- Corte esquemático de um floculador mecânico



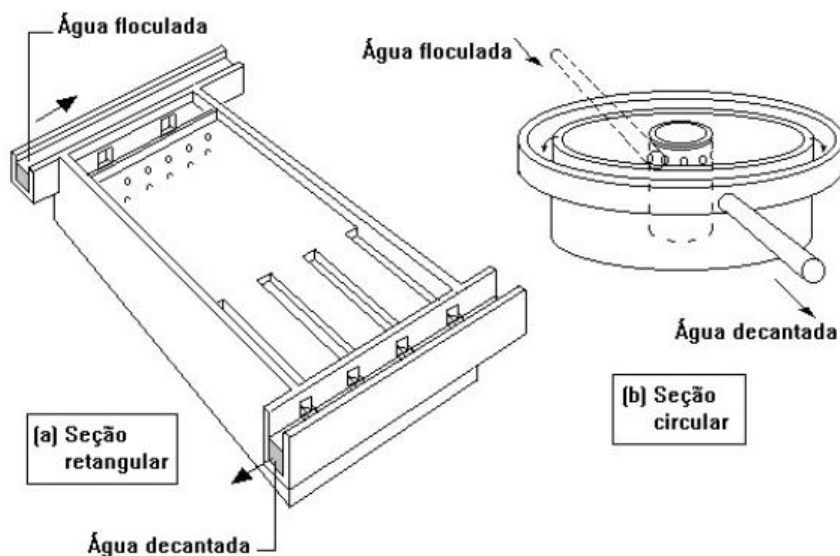
Fonte: MEDEIROS FILHO (2009).

Finalizado o processo de floculação ocorre, pois, a decantação. Essa etapa compreende a maior unidade de uma estação de tratamento de água e utiliza-se da força gravitacional como forma de clarificação da água: as partículas de densidade superior a da água se depositam no fundo do decantador (RITCHER e NETO 1991).

De acordo com Vianna (2010), a taxa de escoamento superficial é o fator mais importante para a análise do desempenho do decantador e representa a velocidade de sedimentação de projeto. Os limites dessa taxa são determinados pela NBR 12.216 e variam conforme a capacidade da ETA.

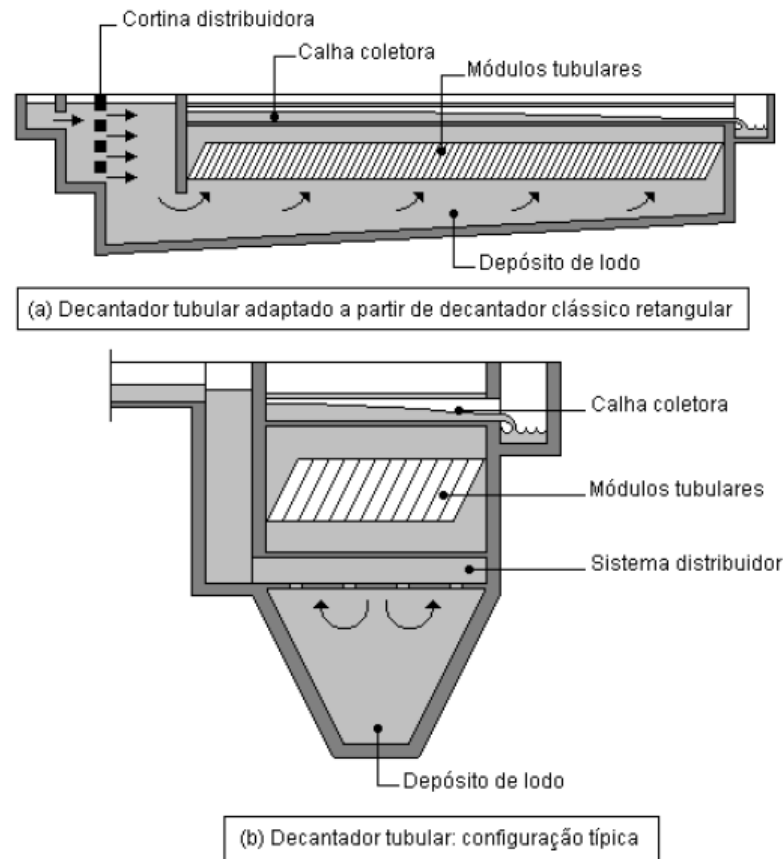
No Brasil, são empregados dois tipos de decantadores: os clássicos e os tubulares. Os primeiros podem apresentar configuração retangular ou circular, embora a eficiência de ambos seja similar, os decantadores retangulares são mais viáveis no que se refere aos aspectos construtivos (Figura 6). Já os decantadores tubulares, geralmente são utilizados em situações as quais há um requerimento de ampliação da ETA e não há viabilidade em se implantar decantadores clássicos (SANEAGO, 2006) (Figura 7).

Figura 6- Decantadores clássicos



Fonte: VIANNA (2010).

Figura 7- Tipos de decantadores tubulares



Fonte: VIANNA (2010).

A flotação é uma etapa aplicada quando o sistema de tratamento não recorrer ao processo de decantação. Trata-se de um processo de separação sólido-líquido em que, a partir de uma injeção de bolhas de ar é promovido um contato bolha-partícula que tende a ascender à superfície, uma vez que possui densidade menor que a da água, permitindo então a remoção do lodo flotado (SAAE, 2006).

A filtração, no contexto de um tratamento convencional, é a etapa seguinte à decantação ou flotação e seu papel é remover as partículas suspensas ou coloidais remanescentes na água através de um leito filtrante composto por materiais porosos como areia e carvão (MEDEIROS FILHO, 2009).

Nogueira (2015) afirma que o desempenho dos filtros está relacionado a alguns fatores, como as propriedades do meio filtrante utilizado (tamanho dos grãos, porosidade, dureza, por exemplo), características da água (teor de turbidez, cor, microrganismos) e outros.



Quando realizada por processos predominantemente biológicos a filtração pode ser definida como lenta, no entanto, quando ocorrem principalmente os processos físicos, químicos e físico-químicos, a etapa denomina-se filtração rápida (VIANNA, 2010).

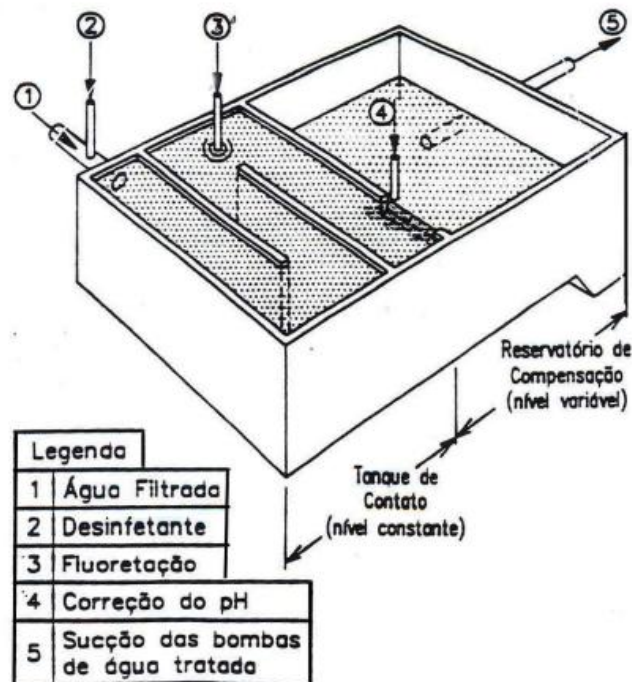
A filtração lenta é uma tecnologia de polimento aplicável às águas com baixa turbidez e cor operando assim com baixas taxas de filtração. Como a velocidade de filtração é reduzida, a utilização desses filtros geralmente requer uma grande área ou vazões pequenas. Apesar disso, apresenta vantagens como simplicidade operacional, eficiência na remoção de microrganismos, turbidez, odor e sabor (MEDEIROS FILHO, 2009).

Nas estações de tratamento, a filtração rápida é a alternativa mais empregada, isso porque pode operar com taxas de filtração maiores que do filtro lento e suas configurações se apresentam menores, nesse sentido, são considerados importantes barreiras sanitárias no que tange a retenção de impurezas da água, como os organismos patogênicos *Toxoplasma Gondii*, *Giardiae* e *Cryptosporidium* (WAJSMAN, 2014).

Após a realização desse percurso nas unidades sequenciais, a água é finalmente desinfetada, ou seja, caso exista algum microrganismo indesejável o mesmo é destruído e/ou inativado pela adição de algum agente desinfetante. No Brasil, a substância mais difundida é o gás cloro, mas outras podem ser utilizadas, como o ozônio, raios ultravioletas e o dióxido de cloro. Cabe ressaltar que a escolha do produto químico a ser utilizado deve ser de fácil acesso, viável economicamente, apresentar eficiência de destruição, não deve ser tóxico e deve deixar um residual como medida de segurança (REIS, 2016).

Ainda como parte do tratamento complementar (Figura 8) tem-se a fluoretação, importante principalmente na manutenção da saúde bucal, já que o flúor apresenta capacidade de redução da incidência de cáries dentárias. Além disso, é realizada na saída do tanque uma correção de pH da água a fim de assegurar a integridade dos equipamentos e tubulações do sistema de abastecimento, evitando assim as corrosões e incrustações (SANEAGO, 2006).

Figura 8- Tanque de contato para desinfecção, fluoretação e correção de pH



Fonte: SANEAGO (2006).

#### 3.4.1.1.A química do Sulfato de Alumínio

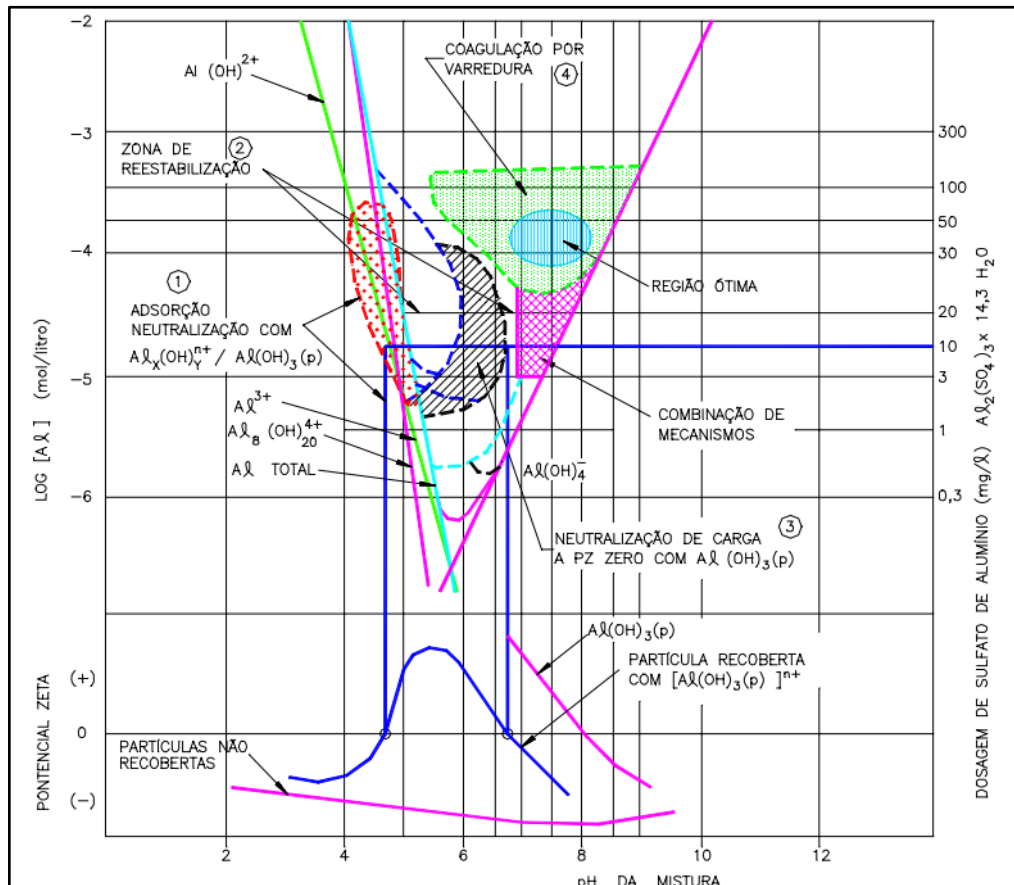
Existe, atualmente, uma grande variedade de coagulantes no mercado. No entanto, a escolha deste produto químico não envolve fatores isolados, mas sim um criterioso estudo de viabilidade econômica e técnica. Uma vez que, em virtude do tratamento de água ocorrer em unidades subseqüências, a ineficácia já na etapa de coagulação pode comprometer todo o sistema (WASJSMAN, 2014).

Segundo Cardoso et al. (2008), o sulfato de alumínio é um dos coagulantes mais empregados nos tratamentos convencionais no Brasil, isso porque além de apresentar custo acessível, sua eficiência é satisfatória e ainda pode atuar em uma ampla escala de pH.

Tendo em vista a importância desse processo para as estações de tratamento de água, Amirtharajah e Mills (1982) desenvolveram uma importante ferramenta nomeada como diagrama de coagulação, a qual permite estabelecer condições “pH de coagulação x dosagem de coagulante”. Esse diagrama é elaborado a partir de ensaios de *Jartest*, promovendo variações de coagulante e pH a fim de obter a melhor eficiência para remoção das impurezas da água bruta, como por exemplo a turbidez (PRADO, 2016).

Amirtharajah e Mills (1982), construíram o diagrama de coagulação para o sulfato de alumínio variando dosagens de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14,3 \text{ H}_2\text{O}$  para diferentes valores de pH da mistura. Observa-se na Figura 9, a formação de diferentes regiões associadas a cada mecanismo de coagulação, todos explicitados na seção anterior.

Figura 9– Diagrama de coagulação para o sulfato de alumínio



Fonte: DI BERNARDO (2004).

- A) **Região 1:** devido a presença de espécies hidrolisadas positivas de alumínio, as cargas das partículas coloidais são neutralizadas, adsorvendo o alumínio na superfície coloidal. À medida que o pH aproxima-se de 4,8, nota-se que o potencial zeta tende a zero. Mantidas essas condições, a dosagem do coagulante pode, então, oscilar de 5 a 70 mg/L (PAVANELLI, 2001).
- B) **Região 2:** nessa área há uma predominância do fenômeno da re-estabilização, isso porque as cargas positivas em excesso cujos coloides adsorveram permitem a reversão de cargas, tornando-os positivos e favorecendo a re-estabilização (VIANNA,

2010). Segundo Di Bernardo (2004), a concentração da dispersão coloidal e a dosagem de sulfato de alumínio estão estequiometricamente relacionados, o que constitui a região inferior da zona de re-estabilização.

- C) **Região 3:** para valores de pH próximos a 4,8 e uma dosagem média de 10 mg/L do sulfato de alumínio, o potencial zeta atinge seu máximo, mas diminui ao passo que o pH alcança o valor de 6,9, aproximadamente; e isso ocorre em virtude da carga positiva do hidróxido de alumínio. Essa área é utilizada para promover coagulação em tecnologias de filtração direta. As dosagens variam de 3 a 30 mg/L (PAVANELLI, 2001).
- D) **Região 4:** nota-se nessa área do diagrama, que valores de pH entre 6 e 8, considerando-se dosagens superiores a 30 mg/L formam precipitados de hidróxido de alumínio que captam as partículas coloidais presentes na água. Trata-se do mecanismo da varredura, região ideal para realizar tratamentos de ciclo completo, já que esse fator facilita a remoção de impureza na etapa posterior: decantação (DI BERNARDO, 2004).

### 3.5A valoração ambiental como ferramenta de gestão

A preocupação com recursos naturais renováveis e não renováveis tem aumentado nos últimos anos, criando a necessidade de se praticar medidas que visem um relacionamento harmônico entre as disponibilidades ambientais e a necessidade da sociedade (SILVA e LIMA, 2004).

Nesse contexto, a variável ambiental vem assumindo um importante papel no desenvolvimento de políticas de gestão, de tal modo que a legislação e as ações, tanto governamentais como não governamentais, destacam a importância desse tema (BARBISAN et al., 2009).

Os ecossistemas são formados por um conjunto de comunidades, ou seja, fatores bióticos, dos quais fazem parte os organismos vegetais, animais e micro-organismos que coexistem juntamente com o meio abiótico. Dessa forma, ocorrem diferentes processos naturais capazes de garantir a sobrevivência das espécies, além de produzirem bens e serviços que beneficiam a sociedade, o que é classificado como funções dos ecossistemas (MMA, 2011).

Segundo Grootet al. (2002) as funções dos ecossistemas dão origem aos serviços ecossistêmicos, definidos como um potencial que pode trazer benefício para o homem. A Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA, 2005), foi a primeira a tentativa de descrever a variação dos serviços ecossistêmicos prestados à população, dividindo-os em quatro grupos: suporte, regulação, provisão e culturais.

As áreas florestais das bacias hidrográficas são responsáveis pela provisão dos seguintes serviços: regulação climática, preservação da biodiversidade, produção de água; subsistência às pessoas do entorno; insumos para a produção de medicamentos e cosméticos; madeira para comercialização para diversos fins, além de evitar erosões e empobrecimento do solo (SANT'ANNA e NOGUEIRA, 2010).

A relação existente entre as diferentes atividades econômicas e o meio ambiente geram impactos ambientais, o que ocorre devido ao fato de que a maioria dos bens e serviços ambientais não têm valores de mercado. Sendo assim, os valores ambientais são separados em dois grupos pautados na análise econômica e, posteriormente, somados para estimar o valor total do recurso (BARBISAN et al., 2009).

O primeiro grupo insere o valor de uso, que corresponde aos bens e serviços capazes de serem consumidos de forma direta e indireta. Estão incluídos no valor de uso direto os produtos que podem ser aproveitados e comercializados de maneira legal e sustentável tais como a madeira, alimentos, entre outros, também os que são retirados da natureza de forma ilegal, ou seja, flora, fauna, ouro e os que podem ser aproveitados pela sociedade como recreação, estética, pesquisa e de valor espiritual (OBARA, 1999).

Já o valor de uso indireto está atrelado aos benefícios fornecidos por uma área natural, como por exemplo o controle climático e erosivo, manutenção da qualidade da água, preservação da biodiversidade, entre outros. O segundo grupo é compreendido pelo valor de não uso, o qual está relacionado ao altruísmo, sendo composto por valores de opção, de existência e de herança (BARBISAN et al., 2009).

Há diversos métodos de valoração ambiental, podendo ser divididos em métodos baseados em preços de mercado (função de produção), que corresponde à obtenção do preço através do levantamento de preços no comércio, como é o caso dos alimentos, flores, plantas ornamentais e medicinais, entre outros, ou em métodos não baseados em preços de mercado, que são a maioria dos elementos da natureza, caracterizados pelo valor de não uso (MOTTA, 2006).

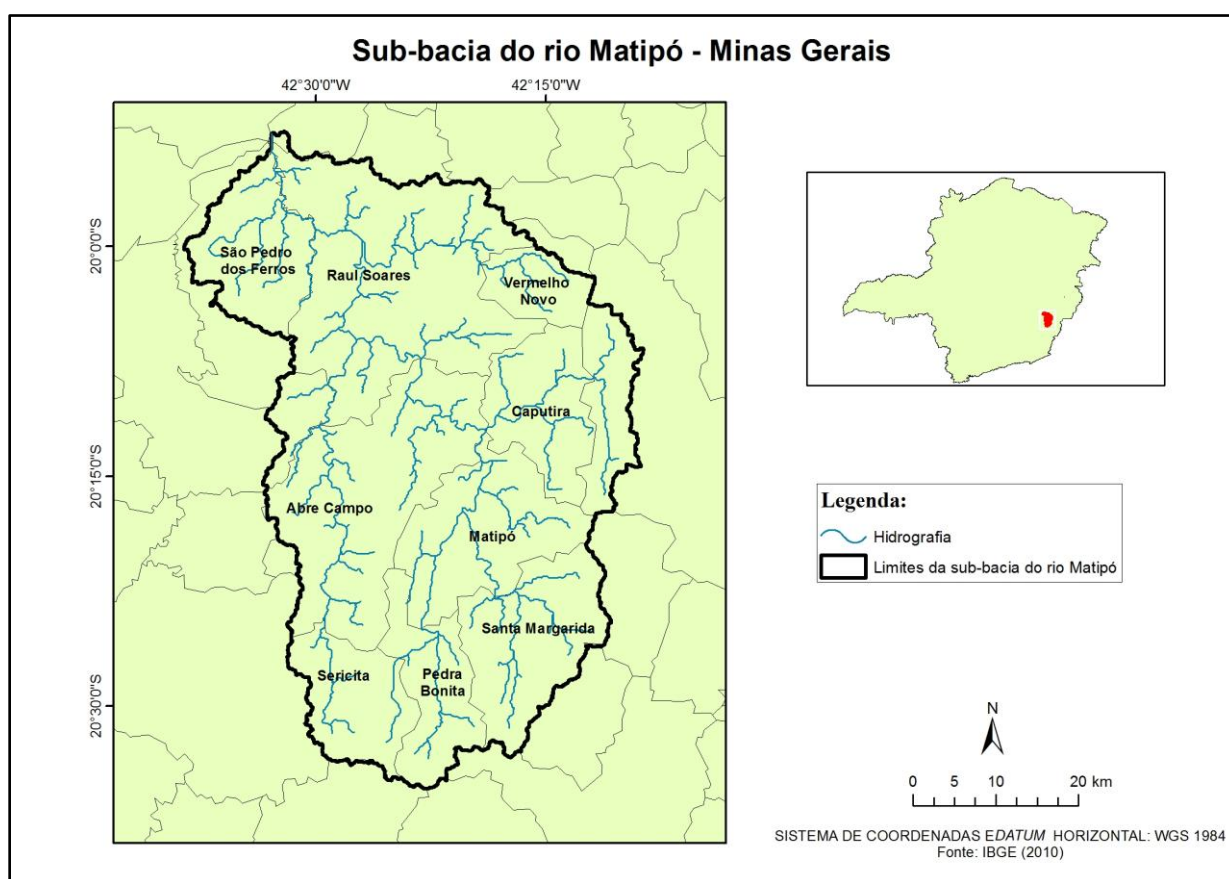
Os métodos da produtividade marginal e de mercados de bens substitutos (custo evitado) são classificados como métodos de função de produção por Motta (1997) porque consideram que o recurso natural atua como o substituto da prestação de um serviço privado ou o próprio insumo, de modo que as alterações na qualidade ambiental implicam em mudanças na produtividade e seus custos associados. Pode-se citar como exemplo a melhoria da qualidade de água, em virtude de projetos de recuperação de cobertura vegetal que pode aumentar a vida útil e produtividade de hidrelétricas, reduzir custos de tratamento de água, entre outros.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

A sub-bacia do rio Matipó está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (UPGRH DO1- Bacia do Rio Piranga), localizada na região da Zona da Mata do estado de Minas Gerais. Os municípios pertencentes a essa unidade hidrográfica são: Abre Campo, Caputira, Matipó, Pedra Bonita, Raul Soares, Santa Margarida, São Pedro dos Ferros, Sericita, Vermelho Novo (Figura 10) (REIS, 2015).

Figura 10 - Localização da sub-bacia do rio Matipó –MG



Fonte: Própria autora.

A nascente do rio Matipó é verificada nos municípios de Sericita/Pedra Bonita. O curso baixo ocorre à divisa entre os municípios de São Pedro dos Ferros e Raul Soares, até desaguar no rio Doce (IGAM, 2010).

Conforme Reis (2015) o relevo da sub-bacia é representado por terrenos planos, ondulados e montanhosos e nas confluências do rio Matipó é identificado solo do tipo Latossolo Amarelo Distrófico.

A textura argilosa é uma característica desse tipo de solo, além disso apresentam boa permeabilidade e capacidade de retenção de umidade. Dessa forma, a utilização desse solo é voltada para pastagens, cultivo de cana-de-açúcar, reflorestamento de eucalipto, entre outros. Ainda, cabe ressaltar que o Latossolo Amarelo Distrófico apresenta baixa fertilidade e os problemas de compactação podem ser comuns (EMBRAPA, 2006).

As atividades principais da região são a agricultura e pecuária. Sendo expressivos os cultivos de cana-de-açúcar, arroz, feijão, milho, café. Na silvicultura há um destaque para o eucalipto. Em termos menos significativos, há atividades industriais e mineradoras de extração e beneficiamento de granito, gnaisse e quartzito (REIS, 2015).

No que tange à suscetibilidade à erosão, existem regiões da área analisada em que a vulnerabilidade é muito forte, como nas proximidades das nascentes do rio Matipó. Tal fato se justifica pela expansão das atividades agropecuárias, comuns ao local e a própria característica do solo e da bacia que favorece o escoamento superficial. Não obstante a verificação desse estado de degradação, nota-se que as práticas conservacionistas não têm sido difundidas (IGAM, 2010).

A sub-bacia objeto de estudo está inserida no bioma da Mata Atlântica e aproximadamente 95% de sua vegetação corresponde a Floresta Estacional Semidecidual. Este tipo de formação vegetal é caracterizado por apresentar maior cobertura foliar nas estações chuvosas e menores em estações quentes, sendo a caducifolia a principal marca das florestas semidecíduas (VENTUROLI, 2008).

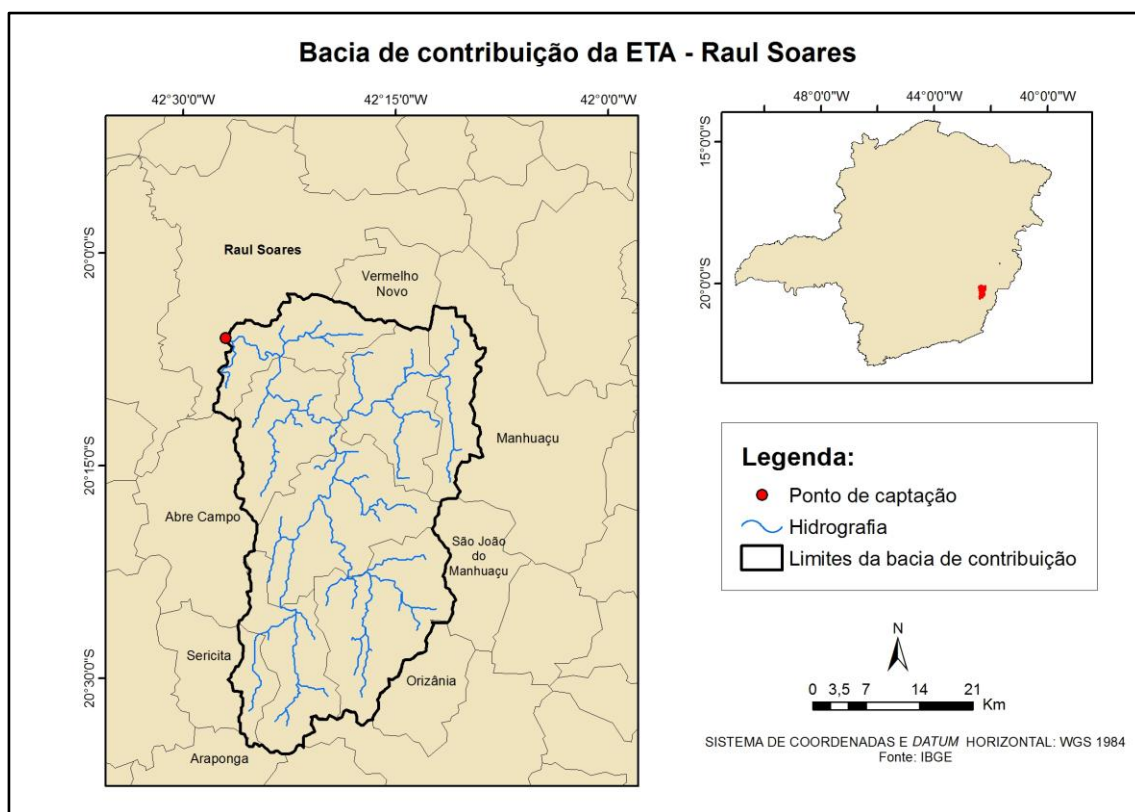
Em detrimento das relações de uso e ocupação do solo, estabelecidas principalmente por meio da pecuária e atividades agrícolas, a área apresentou, no ano de 2010, um cenário de 82% de solo exposto, 16% de vegetação, 1,06% de água e 0,95% de área urbana (REIS, 2015).

Na sub-bacia do Rio Matipó, delimitou-se através do software proprietário ArcGis 10.2, a área que contribui exclusivamente para o ponto de captação da ETA – Raul Soares, permitindo assim uma análise mais específica. Para tanto, utilizou-se a base cartográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (folha SF-23-X-B), cuja escala é 1:250.000 e o Sistema de Coordenadas Geográficas e *Datum* WGS 84 (IBGE, 2010).



Essa bacia de contribuição apresenta, aproximadamente, 139.000 ha, enquanto a sub-bacia do Rio Matipó abrange um espaço territorial de 255.950 ha. A área de estudo está localizada sob as coordenadas 42°15' O e 20°15' S (Figura 11).

Figura 11 - Delimitação da bacia de contribuição da ETA-Raul Soares



Fonte: Próprio autor.

O clima na região de estudo, é caracterizado como sub-tropical úmido conforme classificação de Köpen ., Sendo assim, os verões são úmidos e os invernos configuram períodos de estiagem (REIS,2015).

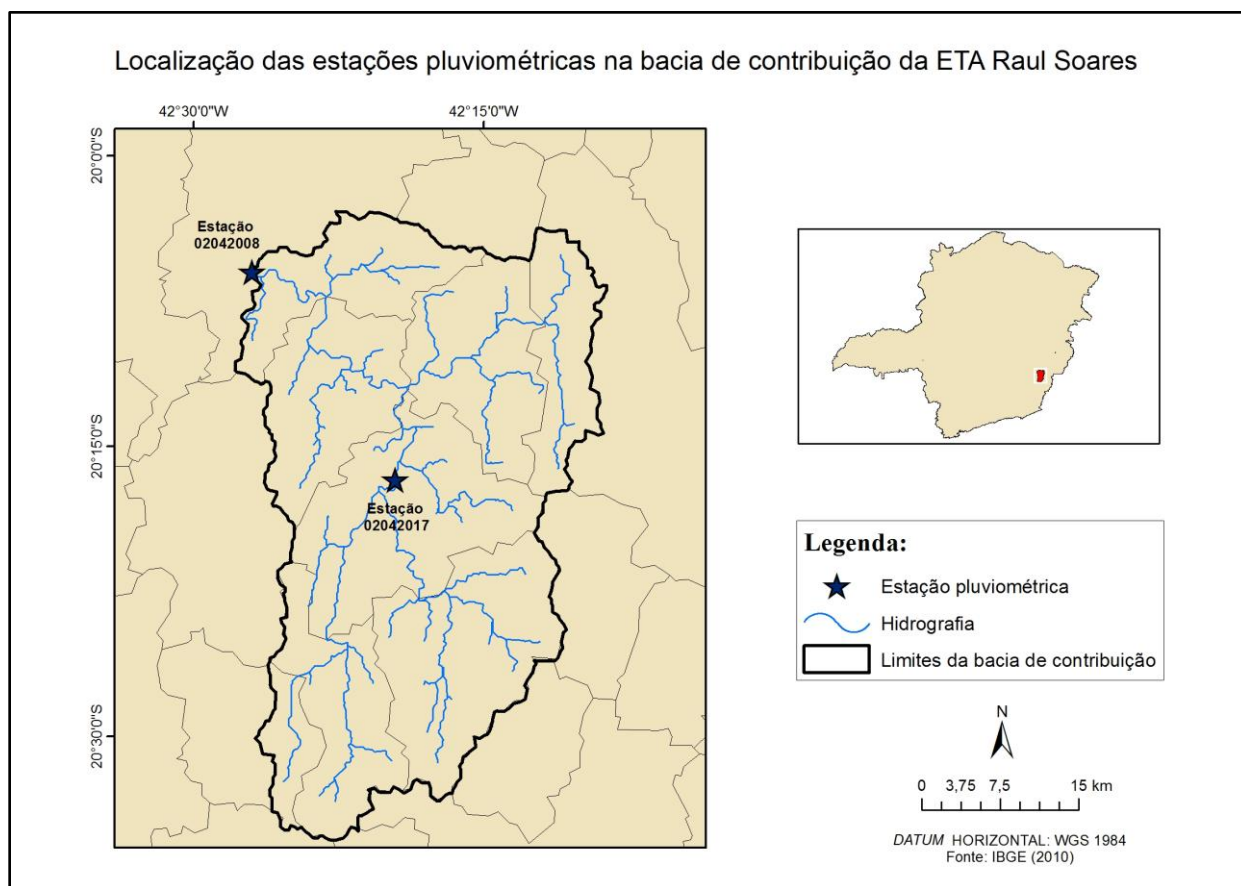
Foram coletados os dados disponíveis de precipitação mensal no período entre 1978 e 2015 de duas estações de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) situadas na área de interesse (municípios de Raul Soares e Matipó). Por fim, realizou-se o método da média aritmética a fim de estimar a precipitação incidente na região. As informações pertinentes às estações utilizadas são descritas a seguir (Tabela 4 e Figura 12) e os dados de precipitação são apresentados nos Anexos A ao E.

Tabela 4 - Estações pluviométricas utilizadas para obtenção de dados

Município	Matipó	Raul Soares
Nome da estação	Matipó	Raul Soares - Montante
Código da estação	02042017	02042008
Latitude	20°16'38" S	20°06'13" S
Longitude	42°19'32" O	42°26'24" O
Altitude (m)	595	305

Fonte: ANA (2015)

Figura 12 - Identificação das estações pluviométricas na bacia de contribuição da ETA - Raul Soares



Fonte: Própria autora

#### 4.2.A ETA Raul Soares

A Estação de Tratamento de Água (ETA) que atende o município de Raul Soares realiza tratamento do tipo convencional. No ano de implantação, em 1967, a vazão correspondia a 25 L.s<sup>-1</sup>. Em 2015, a operação se deu com uma capacidade de 40 L.s<sup>-1</sup>.

A ETA realiza a captação no rio Matipó à sua margem direita por tomada simples e é composta pelas unidades fundamentais do tratamento convencional (Tabela 5). A ETA ainda, possui a Casa de Química com laboratório, permitindo assim as análises de turbidez, pH, alcalinidade, teor de CO<sub>2</sub>, residual de cloro, concentração do íon fluoreto e coliformes fecais e totais (SAAE RAUL SOARES, 2015).

Tabela 5- Unidades de tratamento na ETA- Raul Soares

<b>Unidade</b>	<b>Descrição</b>
<b>Mistura rápida</b>	Calha Parshall de 6" em fibra de vidro
<b>Mistura Lenta</b>	Câmaras de mistura lenta
<b>Decantadores</b>	Decantadores de fluxo horizontal, seção retangular, operação contínua.
<b>Filtração</b>	Quatro filtros rápidos
<b>Desinfecção</b>	Cloro gasoso
<b>Correção de pH</b>	Cal
<b>Fluoretação</b>	Flúor
<b>Reservatório de contato</b>	-
<b>Coagulante</b>	Sulfato de Alumínio

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

O ponto de captação da ETA é enquadrado, segundo a Resolução CONAMA n° 357 de 2005, como classe 2. Dessa forma, essa legislação prevê alguns valores de referência a serem atendidos no curso d'água, como por exemplo, turbidez até 100 UNT, DBO com valor máximo de 5 mg/L, entre outros. Segundo dados da estação de monitoramento do rio Matipó - RD021 (IGAM, 2010), os parâmetros Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais, P Total, DBO, Fenóis Totais, Ferro Dissolvido, Cobre Total e Sulfetos não atenderam ao padrão de enquadramento classe 2 no ano de 2008.

O monitoramento do ano de 2012 da Estação Fluviométrica Raul Soares – Montante(Código 56484998) situada no ponto de captação da ETA, registrou os dados de vazão do rio Matipó, apresentados na Tabela 6 (IGAM, 2012).

Tabela 6 - Vazões do rio Matipó no ponto de captação da ETA

Vazão (m <sup>3</sup> /s)	
Vazão média anual de longa duração (Q <sub>md</sub> )	19,963
Vazão mínima associada à permanência de 95% (Q <sub>95</sub> )	4,628
Vazão mínima associada à permanência de 90% (Q <sub>90</sub> )	6,189
Vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos(Q <sub>7,10</sub> )	3,006

Fonte: IGAM (2012).

### 4.3. Quantificação da cobertura vegetal da área de estudo

Considerando-se o período compreendido entre 1978 e 2015, foram utilizadas algumas técnicas de sensoriamento remoto com o intuito de avaliar a cobertura vegetal da área. De acordo com Jensen (2009), cientistas têm direcionado cada vez mais suas pesquisas para a extração de dados biofísicos de vegetação mediante o processamento das imagens de satélite, facilitando assim as análises espaciais.

O sensoriamento remoto é um recurso que se baseia na interação entre radiação eletromagnética e a superfície de estudo, ou seja, sua refletância, a qual será registrada por um sensor, gerando produtos passíveis de serem interpretados (PONZONI, 2002).

Foram utilizadas imagens do Landsat-5, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (DGI, 2016) nas quais se aplicou uma correção geométrica por meio de pontos de controle obtidos a partir de uma imagem da área previamente corrigida.

As imagens Landsat-5 estão disponíveis apenas para o período entre 1984 e 2011, sendo que algumas dessas cenas apresentam ruídos, como nuvens, que inviabilizam a quantificação anual de cobertura florestal. Nesse sentido, tendo em vista a qualidade das imagens para obtenção de resultados mais coerentes, foram adquiridas cenas dos anos de 1986, 1989, 1994, 2000, 2001, 2003, 2007, 2009 e 2010, as quais embasaram as posteriores análises (Anexo F).

Os sensores do Landsat-5 (*Thematic Mapper* - TM) possuem sete bandas que captam uma determinada faixa do espectro eletromagnético, sendo que as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 apresentam resolução geométrica de 30 m, enquanto a 6 tem resolução de 120 m (Tabela 7). Ainda, esse satélite apresenta uma resolução temporal de 16 dias (DGI, 2016).

Tabela 7- Características e aplicações das bandas do satélite Landsat -5

<b>Banda</b>	<b>Intervalo espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Principais características e aplicações das bandas TM do satélite LANDSAT 5</b>
<b>1</b>	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
<b>2</b>	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
<b>3</b>	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
<b>4</b>	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
<b>5</b>	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
<b>6</b>	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
<b>7</b>	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: DGI(2016).

Existem modelos numéricos que permitem avaliar o comportamento espectral de um objeto, traduzidos em índices, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Esse método é comumente utilizado por ser bastante prático em termos de análise de uso do solo (PONZONI, 2002).

O NDVI é um índice que permite avaliar a cobertura vegetal porque aborda o comportamento espectral da vegetação, apontando seu aumento ou redução ao longo do tempo. As faixas adotadas nesse método são o vermelho e do infravermelho próximo, uma vez que nessas regiões há diferentes respostas espectrais da vegetação (ABREU e COUTINHO, 2014). Dessa forma, é possível obter o valor do índice, que varia de -1 a 1, por meio de uma equação proposta por Rouse et al. (1973) (Equação 1).

$$NDVI = \frac{IVP-V}{IVP+V} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

IVP = refletância no infravermelho próximo (0,75 – 0,90  $\mu\text{m}$ ), banda 4 no Landsat-5;

V = a refletância no vermelho (0,63 – 0,70  $\mu\text{m}$ ), banda 3 no Landsat-5

Diante desse contraste gerado, é possível identificar o comportamento da vegetação, interpretando que nas imagens NDVI os dados de maior refletância correspondem a áreas de vegetação mais densa, como florestas. Por outro lado, menores valores de NDVI se referem a solos expostos, edificações, corpos d'água e nuvens, por exemplo (KARIYEVA e VAN LEEUWEN, 2011).

De acordo com Almeida e Adami (2016), pixels iguais ou acima de 0,6 indicam a presença de florestas. Cabe ressaltar que como o NDVI é influenciado pela sazonalidade, buscou-se trabalhar com cenas somente do período seco.

Dessa forma, através dos elementos de fotointerpretação e da ferramenta “Reclassify” do software proprietário ArcGis 10.2, utilizado para processamento dos dados, extraiu-se das imagens geradas as estimativas das áreas florestais na bacia de contribuição para a ETA- Raul Soares.

Melo, Sales e Oliveira (2011) utilizaram tal metodologia a fim de determinar a cobertura vegetal em uma escala temporal. Tendo em vista a aplicabilidade do índice ao tema proposto, este estudo apresentou abordagem similar.

#### **4.4. Levantamento e tratamento de dados referentes à ETA**

Para a avaliação proposta neste estudo, utilizaram-se dados mensais disponíveis de turbidez (NTU), consumo de sulfato de alumínio (kg) – produto químico de maior valor e consumo utilizado na ETA, e volume de água bruta (m<sup>3</sup>), no período de 1978 a 2015, sendo estes fornecidos pela concessionária de saneamento do município de Raul Soares.

Em virtude da inacessibilidade aos dados de sólidos suspensos - parâmetro fortemente associado ao carregamento de partículas para cursos d'água, utilizou-se a turbidez, que é uma medida indireta do primeiro parâmetro citado e também um dos principais indicadores de eficiência de uma ETA (SILVA et al., 2008).

A fim de avaliar a influência da cobertura vegetal nos aspectos referentes ao tratamento de água e, conseqüentemente, nos custos incorridos na ETA, analisou-se a correlação existente envolvendo precipitação, turbidez, consumo de sulfato de alumínio e cobertura vegetal.

Para isso, utilizou-se o coeficiente de correlação (R), que estima o grau de associação entre variáveis, em uma escala de -1 a 1, sendo 0 um indicador de que os dados são independentes entre si, -1 uma correlação negativa perfeita apontando que a medida em que uma variável aumenta a outra diminui igualmente, e 1 a correlação positiva perfeita, que significa que ambas variáveis alteram na mesma intensidade (LIRA e NETO, 2008).

Dessa forma, após analisar o nível de associação entre os dados, utilizou-se então a regressão a fim de evidenciar se há entre as variáveis estudadas uma relação de causa e efeito (HOFFMAN, 2016). A escolha desse método é embasada pelo fato dos modelos de regressão serem os mais conhecidos e utilizados nas análises estatísticas (MAZUCHELI e ACHCAR, 2008).

A regressão é um método que visa obter uma equação explicativa da variação da variável dependente (Y) em função da variável independente (X). Essa função pode se apresentar de diversas formas: linear, quadrática, cúbica, logarítmica, entre outras. Logo, a partir do comportamento dos pontos de um diagrama de dispersão, almeja-se obter o melhor ajuste de um modelo matemático que descreva tal função (PETERNELLI, 2004).

Um modelo linear se dá quando a relação entre as variáveis é representada por uma tendência de padrão retilíneo. Dessa forma, a reta de regressão traduz a estimativa linear entre variáveis aleatórias através de uma equação de reta (HENRIQUES, 2011).

A regressão não-linear é notada em casos cuja variável dependente apresenta uma deficiência no ajuste linear dos parâmetros. Esse modelo geralmente é empregado a partir de

informações prévias sobre as variáveis a serem modeladas, do comportamento do diagrama de dispersão, das restrições envolvidas no modelo e ainda requer a realização de métodos iterativos para a estimativa dos parâmetros (ZEVIANI, RIBEIRO JÚNIOR e BONAT, 2013).

Tendo em vista que muitas vezes o modelo de regressão não é perfeitamente ajustado, utiliza-se o erro padrão para determinar a extensão do erro existente entre os valores previstos de Y nas estimativas do modelo e os valores reais de Y. Este valor é obtido através da razão entre o desvio padrão populacional e a raiz quadrada do tamanho da amostra (LUCHESA e CHAVES NETO, 2011).

Todas as análises foram realizadas com auxílio do software proprietário Minitab 17 e considerou-se um nível de confiança de 95% ( $p < 0,05$ ).

#### **4.5. Método do custo evitado**

O custo evitado é um método de valoração ambiental que consiste em aferir custos a bens substitutos de forma que o recurso natural não tenha sua qualidade ou quantidade alterada. No tema proposto, o método pode ser identificado pelo custo incorrido nas estações de tratamento de água com produtos químicos, por exemplo, frente à degradação da qualidade de água causada pela má conservação da bacia hidrográfica em questão (MOTA, 2011).

Devido à indisponibilidade de alguns dados de custos incorridos pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto do município, os dispêndios referentes ao sulfato de alumínio, principal produto químico utilizado na ETA, foram estimados com base na cotação dos preços de mercado e corrigidos monetariamente com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) utilizado pelo Banco Central do Brasil (Anexos R ao V).

Obtidos os custos anuais de 1978 a 2015, foi possível então, avaliar os gastos com sulfato de alumínio associados à cobertura vegetal e à turbidez e discutir a influência da preservação florestal nos custos de tratamento de água, em termos econômicos.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Quantificação das áreas florestais na região de estudo

Com auxílio de um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) e uso de imagens de satélite, identificou-se pelo método NDVI áreas florestais da bacia de contribuição para o ponto de captação da ETA Raul Soares. A quantificação se deu a partir de imagens disponíveis para o período, cuja resolução não prejudica a aplicação do método, de forma a assegurar a confiabilidade dos dados (Tabela 8).

Tabela 8– Quantificação da cobertura florestal da bacia hidrográfica de contribuição para o ponto de captação da ETA Raul Soares

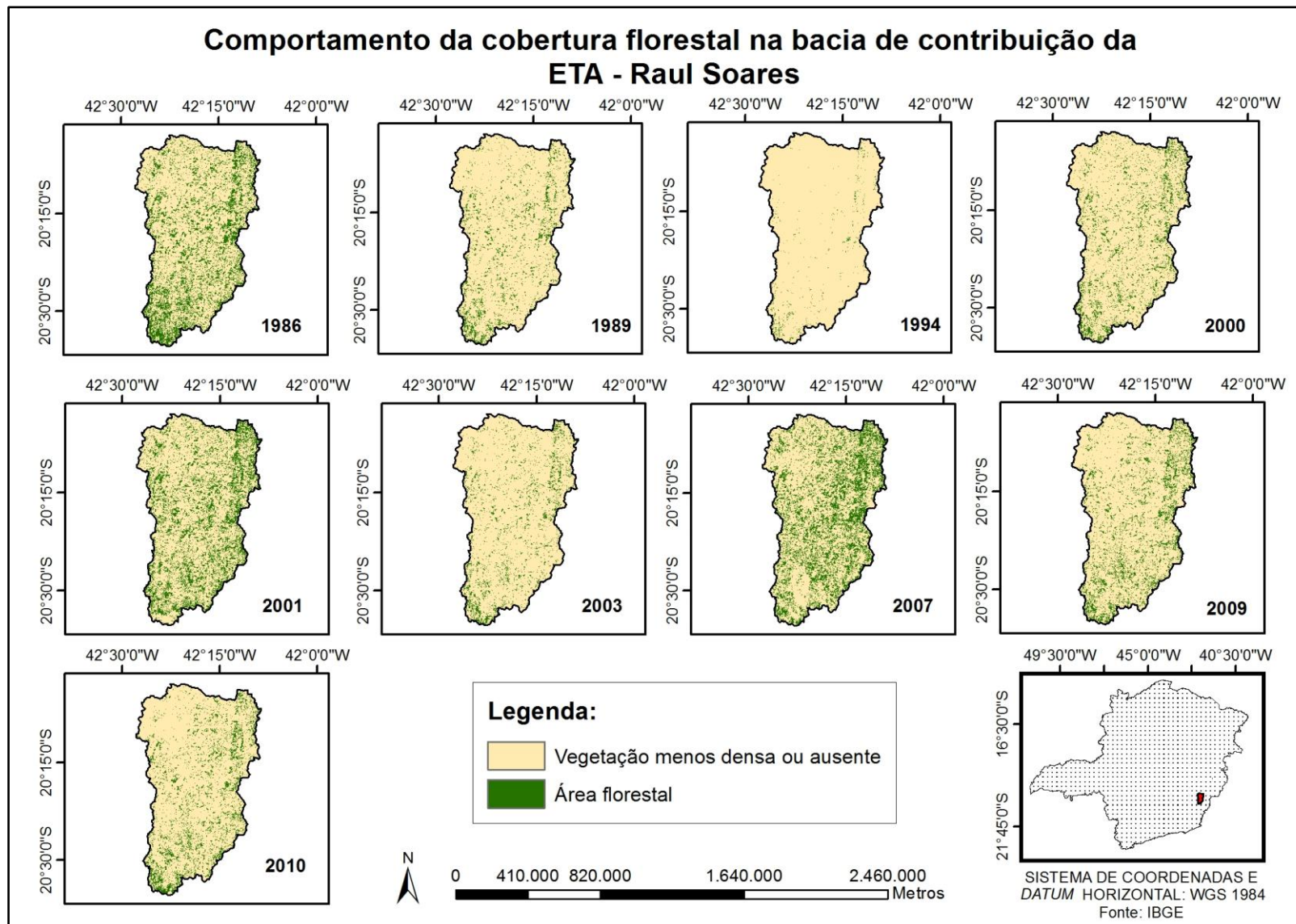
Ano	Área florestal (ha)	% de cobertura florestal em relação à área da bacia de contribuição
1986	17.944,30	13%
1989	11.871,95	9%
1994	1.832,33	1%
2000	16.291,81	12%
2001	36.104,82	26%
2003	11.323,89	8%
2007	40.931,18	29%
2009	19.729,41	14%
2010	17.845,49	13%

Fonte: Própria autora.

Segundo o estudo de Camargo (2012), não somente a sub- bacia do rio Matipó, mas toda a bacia do rio Piranga possui alta suscetibilidade à erosão no período entre 2001 e 2010, graças a redução da vegetação ocorrida em detrimento da expansão da agricultura e pecuária. Esse fator, possivelmente, justifica os altos decréscimos de cobertura florestal entre períodos curtos, como entre os anos 2001 e 2003 e também entre 2007 e 2009 (Figura 13).

Ainda, segundo o IGAM (2010), a sub-bacia do rio Matipó apresentou grande produção de sedimentos, a qual está relacionada ao regime de chuvas, o relevo da região e o tipo de solo (incluindo o manejo realizado na área). A questão referente à cobertura vegetal é importante porque influencia na precipitação efetiva e no escoamento superficial na bacia (CARDOSO et al., 2006).

Figura 13- Mudanças na cobertura vegetal na bacia de contribuição da ETA Raul Soares



Fonte: Própria autora.

## 5.2. Tratamento dos dados

### 5.2.1. Análise turbidez x precipitação

Foram utilizados para a análise de correlação de Pearson (R) e de regressão linear (R<sup>2</sup>) as médias de cada mês (considerando-se o período entre 1978 e 2015) dos dados de turbidez e precipitação, não se efetuou uma média anual porque ambas variáveis são dados que oscilam ao longo do ano (Anexos AaEeG a K). Posteriormente, os dados foram processados no software Minitab 17 (Tabela 9).

Tabela 9– Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x precipitação

<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,963
R <sup>2</sup>	0,927
R <sup>2</sup> ajustado	0,92
Erro padrão	8,55
Valor – p ( $\alpha = 5\%$ )	$5,28 \times 10^{-7}$
Equação de regressão	$Y = 9,593 + 0,324X$

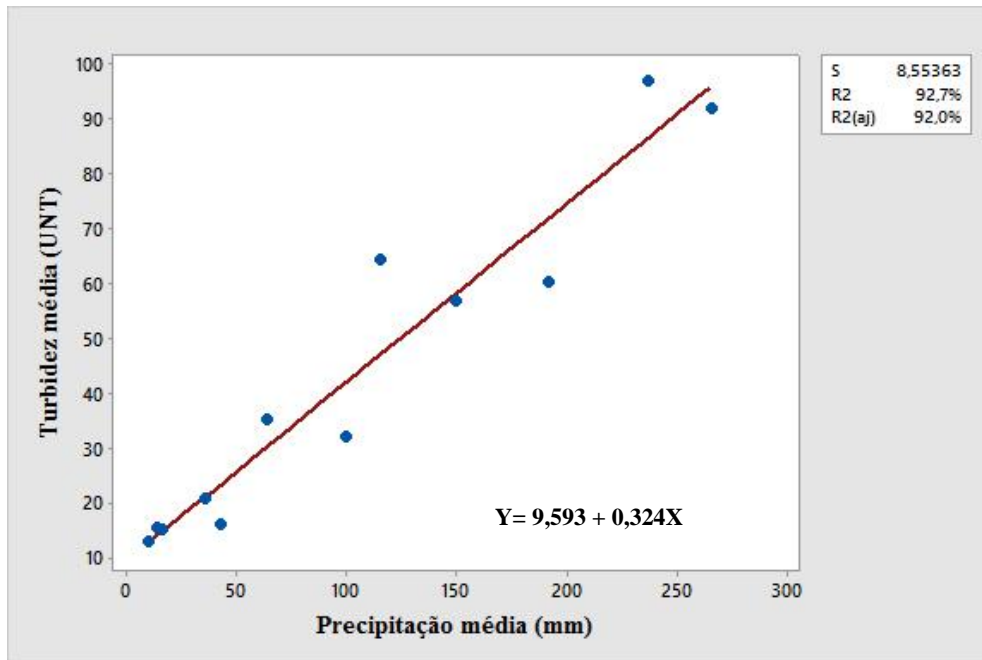
Fonte: Própria autora.

Conforme esperado e corroborado por estudos como o de Krupek, Branco e Peres (2008), a turbidez apresentou alta correlação com a precipitação ( $R = 0,96$ ), sendo este coeficiente superior aos determinados por Alves et al. (2008), os quais foram todos inferiores a 0,58 e Santos (2015), que obteve uma correlação próxima a 0,68, sendo este o maior valor encontrado dentre as amostras observadas em sua pesquisa.

Este comportamento era previsto, uma vez que em períodos chuvosos a água pluvial favorece o carreamento de partículas suspensas e sedimentos para os corpos hídricos, o que implica em um aumento de turbidez, principalmente se observados processos erosivos às margens dos cursos d'água (CASTRO et al., 2015).

Comprovada a interação entre as variáveis, realizou-se uma análise de regressão linear a fim de verificar o quanto o parâmetro turbidez pode ser explicado pela precipitação incidente na bacia de contribuição (Figura 13).

Figura 14– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e precipitação no período de 1978 a 2015



Fonte: Própria autora.

Considerando-se que foi adotado um nível de significância equivalente a 5% para as análises, nota-se que o valor de  $p$  é inferior a 0,05, o que implica que esse valor é significativo. Em outras palavras, as variáveis turbidez e precipitação são dependentes entre si.

O coeficiente de determinação ajustado observado indica que 92% da variação da turbidez pode ser causada pelo aumento do escoamento superficial nos períodos de maior pluviosidade. O ajuste apresentado na reta de regressão mostrou-se, dessa forma, satisfatório.

Santos (2015) alcançou em seu estudo um coeficiente de determinação ajustado equivalente a 0,459 para o mesmo tipo de análise na microbacia do Rio do Campo, localizada em Campo Mourão - PR. A autora justificou a baixa relação entre as amostras pelo fato de não haver estações pluviométricas inseridas na bacia de estudo as quais registrariam dados específicos para a região.

Tal obstáculo foi superado no presente estudo, visto que foram utilizadas informações das estações disponíveis e pertencentes à bacia de contribuição (Raul Soares e Matipó), aplicando, posteriormente, o método da média aritmética para determinar a precipitação média da área, conforme abordagem de Macêdo et al. (2013).

### 5.2.2. Análise turbidez x consumo de sulfato de alumínio

Sabe-se que a seleção dos coagulantes utilizados em uma ETA ocorre em detrimento, dentre outros aspectos, das características da água bruta (PADILHA et al., 2011). Sendo assim, é pertinente avaliar o quanto a qualidade da água no que tange a sua turbidez está relacionada e influencia a dosagem de coagulante.

Para realizar as análises estatísticas realizou-se a média mensal de turbidez e consumo de sulfato de alumínio no período compreendido entre 1978 e 2015, foram obtidos assim, 12 médias para cada variável, as quais foram tratadas estatisticamente (Anexos G aoO e Tabela 10).

Tabela 10- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x sulfato de alumínio

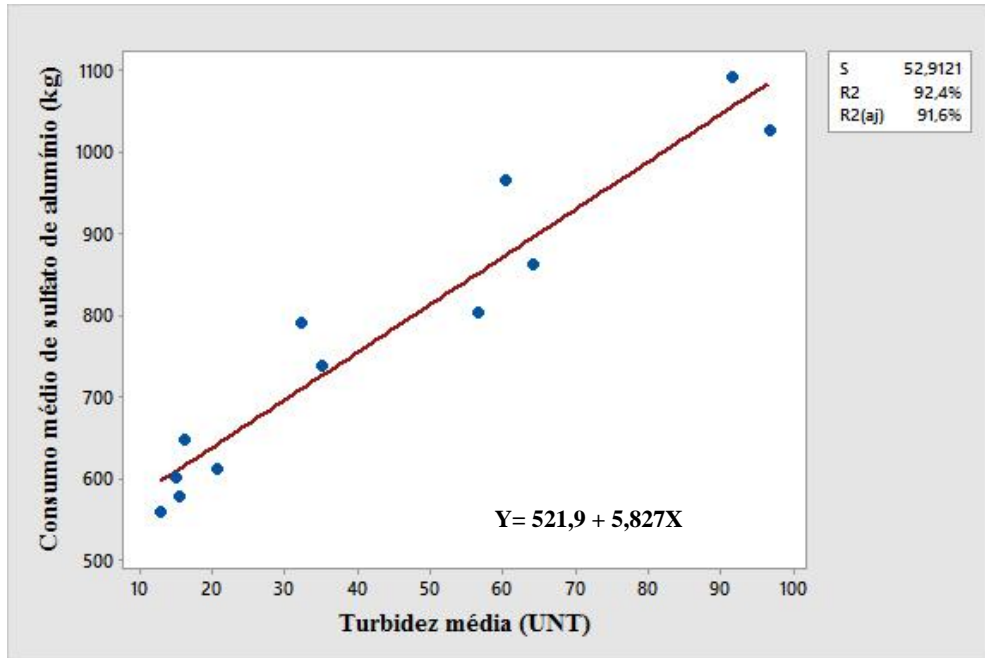
<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,961
R <sup>2</sup>	0,924
R <sup>2</sup> ajustado	0,916
Erro padrão	8,72
Valor – p ( $\alpha = 5\%$ )	$6,5 \times 10^{-7}$
Equação de regressão	$Y = 521,9 + 5,827X$

Fonte: Própria autora.

É perceptível que, devido ao valor de p ( $6,5 \times 10^{-7}$ ) ser inferior ao nível de significância, considera-se, então, que o valor é significativo. Portanto, existe dependência entre as variáveis.

Interpreta-se, conforme Conti (2011), que há uma forte correlação entre turbidez e sulfato de alumínio (R=0,961). Ainda, conclui-se que essa relação se dá de forma direta, ou seja, ao passo em que se aumenta a turbidez, ocorre também um consumo mais alto de coagulante.

Figura 15– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e consumo de sulfato de alumínio no período de 1978 a 2015



Fonte: Própria autora.

Dessa forma, o fato das variáveis apresentarem um alto grau de ajuste (Figura 14), podendo ser associadas como causa e efeito ( $R^2$  ajustado= 0,916), mostrou-se em consonância com Arantes (2010), cujas análises resultaram em  $R^2=0,99$ . O estudo citado empregou um coagulante elaborado com solução à base de sementes de *Moringa oleífera*, o qual comprovou a existência de uma relação proporcional entre a dosagem de coagulantes e a turbidez.

Por outro lado, o estudo de Franco (2009) na ETA Funil apontou que a dosagem ótima de sulfato de alumínio tende a aumentar conforme eleva-se a turbidez até certa faixa (na estação estudada, o autor obteve um valor de 500 UNT) e, ao ultrapassar esse valor, a dosagem passa a ser constante, apresentando uma relação linear apenas no período inicial.

### 5.2.3. Análise turbidez x cobertura vegetal

De acordo com Tundisi e Matsumura-Tundisi (2010), o desmatamento de áreas florestais gera impactos negativos na provisão de serviços ambientais, incluindo o aumento de turbidez nos mananciais. Muitos estudos salientam essa importância da cobertura vegetal no

que tange a manutenção da qualidade de água, mas poucos estabelecem a relação estatística entre as variáveis.

Nesse sentido, realizou-se as análises estatísticas a fim de compreender o comportamento das variáveis turbidez e cobertura vegetal através de um modelo de regressão não-linear, por ser mais adequado para o comportamento das variáveis envolvidas (VELOSO, 2013). Utilizou-se, então, a média anual de turbidez referente ao ano do dado de cobertura vegetal, conforme Anexo Q, e aplicou-se o tratamento estatístico (Tabela 11).

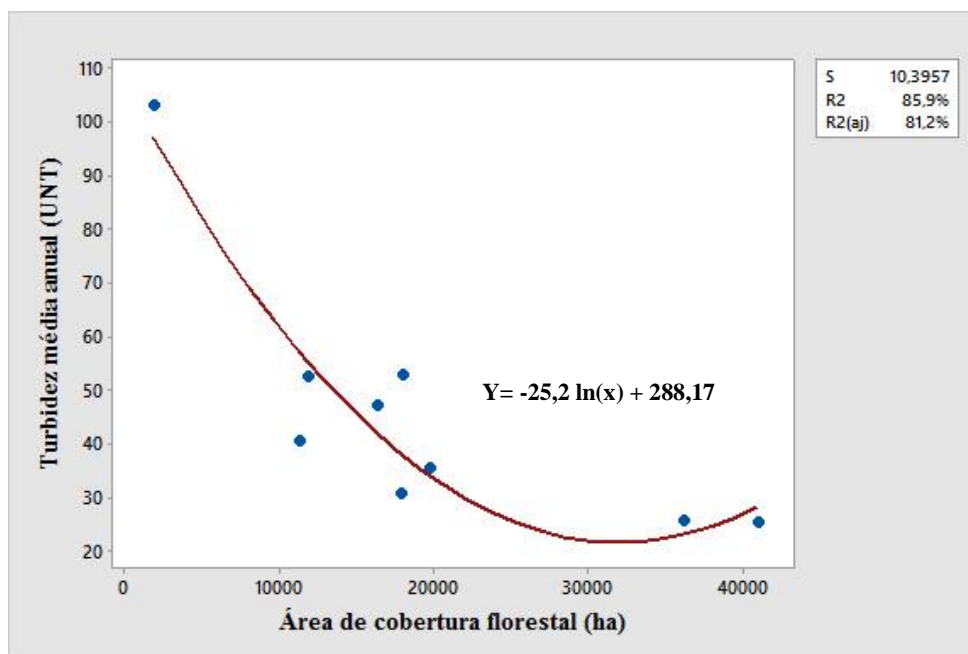
Tabela 11- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x cobertura florestal

<i>Estatística de regressão</i>	
R	-0,75
R <sup>2</sup>	0,859
R <sup>2</sup> ajustado	0,812
Erro padrão	10,39
Valor – p ( $\alpha = 5\%$ )	0,003
Equação de regressão	$Y = -25,2 \ln(x) + 288,17$

Fonte: Própria autora.

Conforme o coeficiente de correlação ( $R = -0,75$ ) nota-se que, como previsto, as variáveis se inter-relacionam de forma inversa. Isso quer dizer que o aumento da turbidez se dá à medida que há uma diminuição do nível de cobertura floresta.

Figura 16– Análise de dispersão dos dados de turbidez e cobertura vegetal



Fonte: Própria autora.

Conforme o gráfico de dispersão (Figura 15) é perceptível que os dados apresentam um bom ajuste ( $R^2$  ajustado = 0,812), o que corrobora a hipótese inicial de que o percentual de cobertura vegetal tem potencial de afetar a qualidade da água, no que se refere ao parâmetro turbidez.

Reis (2004) avaliou o impacto da cobertura florestal nos custos de 6 estações de tratamento de água e concluiu que nas regiões cuja cobertura florestal é menor do que 15%, foram verificados maiores picos de turbidez que comprometeram a qualidade do manancial. Na área deste estudo, apenas os anos de 2001 e 2007 apresentaram nível de cobertura vegetal superior à porcentagem apontada pela autora.

Souza (2012) analisou a influência de matas ciliares sobre a turbidez. Seus resultados, não conseguiram comprovar uma correlação forte e isso foi justificado sob dois pontos de vista: i) as áreas florestais em topos de morro também estão associadas a esse parâmetro de qualidade de água, as quais a autora não considerou em sua avaliação e; ii) a presença ou ausência de vegetação não pode ser o único motivo responsável pela alteração da turbidez em um corpo d'água.

Esta última argumentação apresentada pela autora é consistente, principalmente no que tange o estudo de variáveis ambientais, as quais são bastante sensíveis e geralmente influenciadas por mais de um fator. Assim sendo, é cabível o levantamento de questões como o tipo de manejo realizado na bacia, se há lançamento de efluentes responsáveis pelo



incremento de turbidez no corpo hídrico, características do meio aquático (ambiente lântico ou lótico), a precipitação tal como levantado na seção anterior, entre outras.

#### 5.2.4. Análise turbidez x custos de sulfato de alumínio

A turbidez é um importante parâmetro de controle operacional nas ETA's e seu aumento configura uma preocupação, porque implica em aumento de dosagens de produtos químicos, logo, em maiores gastos para a estação (REIS, 2004).

Portanto, é fundamental o entendimento do relacionamento das variáveis turbidez e custos com sulfato de alumínio, para que possam ser adotadas medidas de controle para essa problemática. A estatística foi realizada considerando as médias mensais de turbidez e custo de sulfato de alumínio a partir do ano de 1978 até 2015, os dados podem ser visualizados nos Anexos G ao Ke Rao V.

Tabela 12- Parâmetros estatísticos estimados para a análise turbidez x custos associados ao sulfato de alumínio

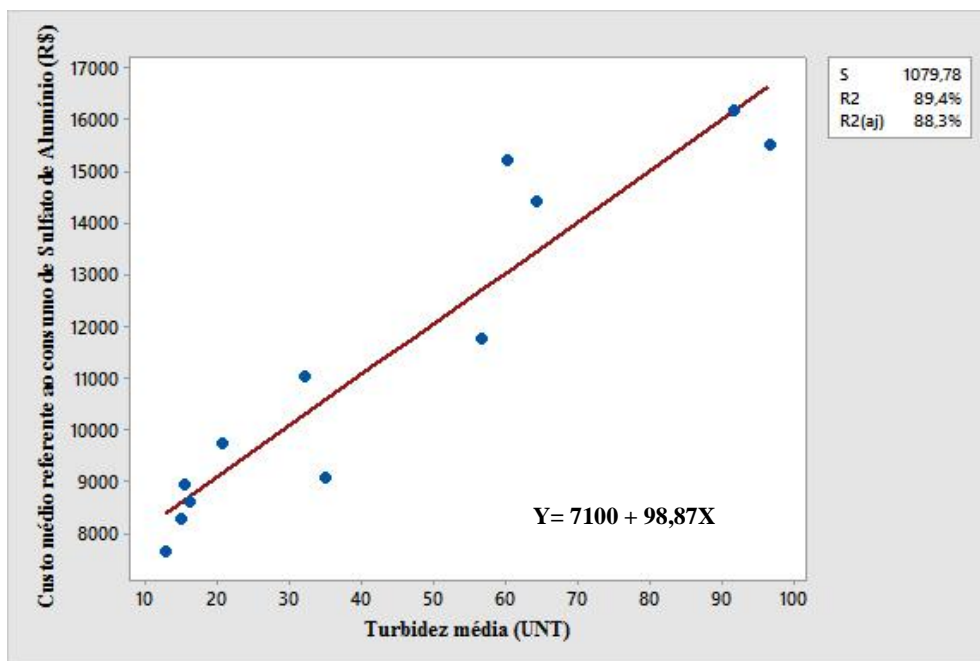
<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,95
R <sup>2</sup>	0,894
R <sup>2</sup> ajustado	0,883
Erro padrão	1079,78
Valor – p ( $\alpha = 5\%$ )	$3,5 \times 10^{-6}$
Equação da regressão	$Y = 7100 + 98,87X$

Fonte: Própria autora.

No que tange o grau de associação entre as variáveis, compreende-se que apresentam uma forte correlação linear positiva ( $R=0,95$ )(Tabela 12). Desse modo, o aumento da turbidez provoca uma alteração, em mesma direção, nos custos.

Conforme Lunet, Severo e Barros (2006), o erro padrão determina a variabilidade existente entre as amostras avaliadas. Neste estudo observou-se um alto erro padrão, que pode, entretanto, ser justificado pela obtenção de várias amostras oscilantes para a variável turbidez, que está sujeita à influência da sazonalidade.

Figura 17– Análise de dispersão dos dados mensais de turbidez e custos associados ao sulfato de alumínio no período de 1978 a 2015



Fonte: Própria autora.

A determinação do quanto a variável x (no caso, a turbidez) é explicativa no que se refere a variável y (custos), por meio da regressão linear simples, induziu à conclusão de que há uma elevada relação entre turbidez e custos, sendo  $R^2$  ajustado = 0,883, como esperado (Figura 16).

Constantino e Yamamura (2009) reforçam os resultados obtidos ao argumentarem em seus estudos, que em períodos chuvosos - nos quais são verificados valores mais altos de turbidez, foram constatados custos mais elevados na estação de tratamento de água.

### 5.3. Aplicação do Método do Custo Evitado

As análises estatísticas permitiram avaliar o comportamento das variáveis quando associadas. De um modo geral, a turbidez está fortemente associada à precipitação e ao consumo de sulfato de alumínio, e em grau pouco menor com a cobertura vegetal e custos referentes ao consumo de sulfato de alumínio.

Tabela 13- Custos totais de consumo de sulfato de alumínio (R\$) associados ao percentual de cobertura florestal na bacia de contribuição para a ETA Raul Soares.

<b>Ano</b>	<b>Área florestal (ha)</b>	<b>Custos referentes ao consumo anual de sulfato de alumínio (R\$)</b>	<b>Custos associados ao sulfato de alumínio por hectare (R\$/ha)</b>
<b>1986</b>	17.944,30	49.630,91	2,766
<b>1989</b>	11.871,95	357.832,21	30,141
<b>1994</b>	1.832,33	1.428.598,17	779,662
<b>2000</b>	16.291,81	8.262,71	0,507
<b>2001</b>	36.104,82	5.506,85	0,153
<b>2003</b>	11.323,89	13.526,85	1,195
<b>2007</b>	40.931,18	3.561,33	0,087
<b>2009</b>	19.729,41	6.536,65	0,331
<b>2010</b>	17.845,49	5.343,03	0,299

Fonte: Própria autora.

Ao analisar a evolução da vegetação de 1994 para 2000 (Tabela 13), verifica-se que o custo do primeiro ano é aproximadamente 172 vezes maior do que o segundo. No entanto, cabe salientar que a instabilidade econômica vivenciada no Brasil até o ano de 1994, contribuiu para o aumento dos valores observados nesse período.

Tundisi e Matsumura-Tundisi (2010) afirmam que os mananciais degradados em função do desmatamento impactam, imediatamente, as estações de tratamento de água aumentando os custos cerca de 20 a 30 vezes.

Por sua vez, Reis (2004) aponta que o custo para realizar o tratamento de água do Sistema Cantareira, a cada 1000 m<sup>3</sup> de água tratada, é aproximadamente 13 vezes inferior aos custos de tratamento das águas do rio Piracicaba. Sendo que o percentual de cobertura florestal associado ao rio Piracicaba corresponde a 4,3% e ao Cantareira, 27%. Todavia, a autora considerou custos incorridos no consumo de todos os produtos químicos e de energia elétrica, enquanto o presente estudo considerou apenas os gastos referentes ao coagulante – sulfato de alumínio.

Em 2001 a cobertura florestal da bacia de contribuição totalizava 36.104,82 ha, enquanto em 2007 havia 40.931,18 ha (Tabela 12). Assim sendo, observa-se que com o aumento de 13% de área florestal, são evitados cerca de 35% dos custos com coagulante.

Ainda, entre os anos de 2003 e 2007, onde houve um aumento da área florestal em 29.607,29 hectares, ou seja, um adicional de 261% de vegetação que resultou em uma diminuição da ordem de 73,7% nos custos da estação referentes ao consumo de produtos químicos.

Cunha, Sabogal-Paz e Dodds (2016), contudo, não alcançaram um resultado positivo ao relacionar os custos de infraestrutura e operacionais ao tipo de uso do solo em uma bacia paulista. Segundo os autores, a ETA situada em área florestal apresentou custo de tratamento de 25 a 30% mais elevado. No entanto, isso se justificou pela escolha inadequada da planta de tratamento, que por ora, tornou o processo mais oneroso do que deveria.

De acordo com Reis (2004), cerca de 60% dos custos operacionais de uma ETA se devem ao consumo de produtos químicos, em geral. Sendo a coagulação, responsável por 40% das despesas totais (COSTA, 2013).

Tendo em vista a economia de recursos financeiros promovida pela conservação da vegetação na área, é possível investir na recuperação das áreas florestais com o intuito de, não somente minimizar custos na ETA Raul Soares, mas também de contribuir para o equilíbrio ambiental da bacia.

Um projeto de recuperação visa assegurar que o ambiente da bacia se reestabeleça de forma que os recursos naturais sejam capazes de prestar seus respectivos serviços ambientais, podendo ser exploradas diversas técnicas para este fim, dentre elas cita-se: plantio adensado, plantio de enriquecimento, cercamento e poleiros.

Segundo Campos (2013), recomenda-se a utilização da técnica do plantio adensado em áreas cujo estado de degradação é avançado tal que a regeneração natural é inviável, sendo necessário um maior número de mudas, dispostas em linhas com espécies pioneiras e não-pioneiras. Por outro lado, o plantio em área total pode ser empregado em locais de baixa cobertura vegetal em que não se observa solo exposto, como áreas de pastagem, mas próximos a florestas, permitindo assim um espaçamento maior entre as mudas.

O método do plantio de enriquecimento objetiva melhorar o processo de regeneração natural por meio da sementeira direta ou plantio de mudas na região. A utilização desse sistema requer uma escolha criteriosa das espécies a serem utilizadas e assim como quaisquer técnicas, deve-se atentar para as características da área, de modo que seja assegurada a eficácia do projeto. Sendo assim, geralmente utilizam-se espécies nativas, devido à facilidade de desenvolvimento e disponibilidade (VENTUROLI, FAGG e FELFILI, 2011).

A recuperação de uma área através de poleiros, sejam naturais ou artificiais, ocorre devido à atração da avifauna, de modo que ao se deslocarem entre as áreas florestais e pousarem nesses poleiros, ocorre a deposição de sementes por esses animais nas proximidades. É um método de baixo custo e que não exige manutenção, apesar de ocorrer de forma lenta (SOARES, 2009).

O método do cercamento consiste em isolar o espaço, de modo a afastar agentes degradantes, o gado, por exemplo, para que a área tenha a capacidade de autorecuperação (ZANZARINI e ROSOLEN, 2008).

Campos (2013) estimou os custos de implantação de Planos de Recuperação em propriedades rurais degradadas na Zona da Mata Mineira, mesorregião a qual a bacia deste estudo está inserida, considerando as técnicas de Plantio adensado, enriquecimento, plantio em área total, cercamento e poleiros (Tabela 14).

Tabela 14- Custo de Implantação de Plano de Recuperação para cada técnica (R\$/ha)

<b>Técnica</b>	<b>Mão de Obra (R\$/ha)</b>	<b>Insumos (R\$/ha)</b>	<b>Manutenção (2 e 3 anos) (R\$/ha)</b>	<b>Total (R\$/ha)</b>
<b>Plantio Adensado</b>	R\$ 1.762,50	R\$ 3.157,76	R\$ 3.443,52	R\$ 8.363,78
<b>Plantio de Enriquecimento</b>	R\$ 468,75	R\$ 485,30	R\$ 780,30	R\$ 1.734,35
<b>Plantio em Área Total</b>	R\$ 587,50	R\$ 768,20	R\$ 1.092,70	R\$ 2.448,40
<b>Cercamento</b>	R\$ 500,00	R\$ 947,70	-	R\$ 1.447,70
<b>Poleiros</b>	R\$ 315,63	-	-	R\$ 315,63

Fonte: Campos (2013).

Desse modo, considerando-se um cenário de recuperação de uma área adicional de pelo menos 20% na bacia de contribuição, ou seja, aumentando-se cerca de 27.800 ha na cobertura florestal, é possível estimar o custo referente à implantação das técnicas citadas para a bacia de contribuição da ETA Raul Soares (Tabela 15).

Tabela 15 - Custo de recuperação de 20% da área da bacia de contribuição (R\$)

<b>Técnica</b>	<b>Custo total (incluído mão de obra, insumos e manutenção), em reais</b>
<b>Plantio Adensado</b>	R\$ 232.513.084,00
<b>Plantio de Enriquecimento</b>	R\$ 48.214.930,00
<b>Plantio em Área Total</b>	R\$ 68.065.520,00
<b>Cercamento</b>	R\$ 40.246.060,00
<b>Poleiros</b>	R\$ 8.774.514,00

Fonte: Própria autora.

Os preços estimados neste estudo (Tabela 15) consideraram a utilização da mesma técnica para toda área a recuperar, apenas para fins de comparação de valores. No entanto, no âmbito de bacias hidrográficas, utilizam-se diferentes técnicas ou a combinação destas para cada região, conforme suas características. A seleção do método de recuperação está associada ao

estágio de degradação da área, para isso, é fundamental um amplo conhecimento da dinâmica dos ecossistemas florestais (MORAES, CAMPELLO e FRANCO, 2010).

Nota-se que, de um modo geral, os custos de recuperação são altos quando comparados aos gastos com produtos químicos. Todavia, é possível que a longo prazo o abastecimento seja comprometido pelo manejo inadequado na bacia, o que implicaria em grande ônus (CHABARIBERY et al., 2008).

O Plano de Ações de Recursos Hídricos para Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce afirma que na sub-bacia do rio Matipó o saldo hídrico ainda se mantém favorável, no entanto este aspecto apresentou redução, em uma projeção para o ano de 2030, o que pode comprometer, inclusive, a manutenção do atual enquadramento em virtude da demanda de diluição de efluentes não ser atendida (IGAM, 2010).

O referido Plano, objetiva, a partir da análise da bacia, concentrar as ações em saneamento (disposição adequada dos resíduos sólidos e serviços de coleta e tratamento de esgotos), além do controle de erosões que ocorrerá a partir da melhoria da gestão em microbacias, recuperação de nascentes, preservação de APP e da vegetação de topos de morro.

Ainda, cabe ressaltar que conforme previsto na Lei Estadual nº 12.503 de 1997 que cria o Programa Estadual de Conservação da Água, as empresas concessionárias de abastecimento de água e geração de energia elétrica são obrigadas a investir, pelo menos 0,5% do valor total da receita operacional, na proteção e preservação ambiental da bacia hidrográfica explorada (MINAS GERAIS, 1997).

No ano de 2015, a receita operacional total da SAAE do município de Raul Soares foi de R\$ 2.950.873,50, isso quer dizer que a concessionária deveria investir nesse ano um valor mínimo de R\$ 14.754,37 na preservação da bacia do Rio Matipó, o que possibilitaria o reflorestamento, por meio de plantio de mudas, de  $1,76 \text{ ha.ano}^{-1}$ . Levando em consideração o valor de receita do ano de 2015 da SAAE Raul Soares e projetando um horizonte de tempo de 30 anos, poderiam ser reflorestados cerca de 53 ha da bacia do Rio Matipó, o que poderia gerar R\$ 4.800,00 de custos evitados com sulfato de alumínio. Este valor pode ser considerado baixo, entretanto, outros serviços ambientais estão relacionados ao manejo e conservação das bacias hidrográficas que não foram computados neste estudo e que apresentam valor positivo como, por exemplo, estocagem de carbono, regulação do ciclo hidrológico, conservação da biodiversidade, dentre outros.

Além disso, tendo em vista os dispositivos legais existentes e almejando-se uma integração de iniciativas entre os diversos setores para a conservação e recuperação de bacias hidrográficas, os custos de recuperação também podem ser redistribuídos entre as esferas da sociedade, uma vez que será assegurada a provisão de serviços ambientais não somente para o abastecimento público, mas também para garantir a regulação climática, redução de problemas de enchentes, recargas de aquíferos.

Existem alguns entraves no que tange a implantação dos Planos de Recuperação: o engajamento de proprietários rurais torna-se limitado em virtude da perda de áreas produtivas em detrimento da preservação, a falta de instrumentos e gestão, além da baixa conscientização acerca da importância dessas ações (SMA, 2004).

Nesse sentido, podem ser articulados entre governo, produtores rurais e companhias de saneamento, programas que viabilizem a adoção desses Planos por meio de compensações: o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Um exemplo é o Bolsa Verde, que concede incentivos financeiros a posseiros e pequenos produtores que se comprometem a conservar, preservar e/ou recuperar a vegetação nativa da área, de modo a promover um desenvolvimento sustentável na área (GRACIANO, 2016).

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

A conservação das florestas é crucial, não somente ao que se refere à estabilização do ciclo hidrológico, mas também à manutenção da qualidade de água ao prover serviços como filtração de nutrientes, diminuição de escoamento superficial (e conseqüentemente de sedimentos carregados para os corpos d'água), recarga de aquíferos, entre outros.

As alterações na cobertura florestal na região hidrográfica do estudo, de fato estão diretamente associadas à qualidade da água. O baixo nível de vegetação observado em alguns períodos na bacia de contribuição apresentou interação com maiores picos de turbidez, possivelmente justificados pela ocorrência de processos erosivos verificados na sub-bacia do rio Matipó, o que implicou em custos maiores no tratamento de água da ETA Raul Soares.

Nesse sentido, a valoração ambiental tem o papel de apresentar uma reflexão acerca do suposto antagonismo entre meio ambiente e economia, apontando que é possível a existência de uma gestão sustentável em bacias hidrográficas, sendo os custos evitados importantes indicadores de benefícios ambientais.

Para futuros estudos, recomenda-se a utilização de outros parâmetros associados à qualidade de água, como os sólidos suspensos e aplicação de métodos de valoração que

englobem outros serviços ambientais promovidos pelas florestas e não somente aqueles referentes à qualidade hídrica.

Em virtude da dificuldade de acesso a alguns dados, este estudo considerou apenas os custos de sulfato de alumínio. Seria pertinente avaliar a questão econômica para outros aspectos da estação de tratamento de água, como por exemplo, consumo de energia elétrica, mão-de-obra, produtos químicos em geral, custos de implantação da tecnologia de tratamento, entre outros.

A aplicação do método do custo evitado na bacia de estudo exigiu a compreensão da distribuição temporal do recurso natural, no caso, a área florestal. Sendo assim, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto é fundamental nesse tipo de estudo, principalmente quando não há disponibilidade de dados específicos para a área. No entanto, essa etapa requer cautela, pois a baixa resolução de algumas imagens de satélite produzem dados incoerentes, os quais podem induzir conclusões inadequadas. Dessa forma, sugere-se a realização de correções atmosféricas nas imagens de modo a reduzir possíveis erros.

Os resultados obtidos endossam a importância do desenvolvimento de políticas e ações para conservação de bacias, a fim de evitar maiores dispêndios com tratamento de água, por exemplo. Para tanto, faz-se necessário o entendimento do contexto de cada unidade de gestão, considerando-se as atividades econômicas desempenhadas, as projeções populacionais e as características físicas e bióticas da região.

Dessa forma, o desenvolvimento de programas como o PSA, que visa estimular o manejo adequado e o uso sustentável de florestas através de compensações financeiras à produtores rurais e garantir assim a provisão dos serviços ambientais; constitui uma alternativa viável para harmonização de interesses existentes em uma bacia.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, K.M.P.; COUTINHO, L.M. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes: v.16, n.1, p.173-198, jan.-abr. 2014.

Agência Nacional de Águas – ANA. **Hidroweb**: séries históricas. 2015. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

Agência Nacional de Águas - ANA. **Programa produtor de água**: manual operativo. Brasília: ANA, 2012.

ALMEIDA, J.; ADAMI, S.F. Aplicação de índice de vegetação por diferença de normalidade para identificar a estrutura e dinâmica florestal. In: XI Sinageo, 2016, **Anais**, Maringá, 2016.

ALVES, E. C.; SILVA, C. F.; COSSICH, E. TAVARES, C. R. G.; SOUZA FILHO, E. E.; CARNIEL, A. Avaliação da qualidade da água da bacia do rio Pirapó–Maringá, Estado do Paraná, por meio de parâmetros físicos, químicos e microbiológico. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá: v. 30, n. 1, p. 39-48, abr. 2008.

ARANTES, C. C. **Utilização de coagulantes naturais à base de sementes de Moringa oleífera e tanino como auxiliares da filtração em mantas não tecidas.** Dissertação (Mestrado). Campinas: 2010.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K. M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. **Journal (American Water Works Association)**, p. 210-216, abr. 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216:Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público: procedimento.** Rio de Janeiro, 1992, 18 p.

AZEVEDO, A. C. **Estudos de Flotação por Ar Dissolvido com Bomba Multifásica (FAD-B) e Sedimentação Lamelar (SL) no tratamento de água bruta para abastecimento público.** Tese (Doutorado). Canoas:2013.

BARBISAN, A. O.; REINEHR, R.; MARTINS, M. S.; PANDOLFO, L. M.; GUIMARÃES, J.; ROJAS, J. W.J. Técnica de valoração econômica de ações de requalificação do meio ambiente: aplicação em área degradada. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Online: v. 14, n. 1, p. 119-128, jan./mar, 2009.

BARBOSA, A. F.; OLIVEIRA, E. F.; MIOTO, C.L.; PARANHOS FILHO, A. C. Aplicação da Equação Universal de Perda do Solo (USLE) em Softwares Livres e Gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro: v. 38, n. 1, p. 170-179, jun. 2016.

BASTOS, R.; HELLER, L.; PRINCE, A. A.; BRANDÃO, C. C. S.; COSTA, S. S.; BEVILACQUA, P.D.; ALVES, R. M. S. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde—Manual para os responsáveis pela vigilância e controle.** Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

BERTOL, O. J.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 04, p. 781-792, jul./ago., 2007.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 9jan, 1997. Disponível em: <[www.lei.adv.br/9433-97.htm](http://www.lei.adv.br/9433-97.htm)>. Acesso em: 26 ago. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. . **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 mai 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.html)>. Acesso em: 14 ago. 2016.

BRASIL, Portaria n°. 2.914 de 2011, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 14 dez 2011. Disponível em: <  
<http://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/PORTARIA%20No-%202.914,%20DE%2012%20DE%20DEZEMBRO%20DE%202011.pdf>>. Acesso em: 13 ago 2016.

BUENO, L.F.; GALBIATTI, J. A.; BORGES, M. J. Monitoramento de variáveis de qualidade da água do Horto Ouro Verde-Conchal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 742-748, 2005.

CAMARGO, R. A. **Avaliação da suscetibilidade à erosão e proposição de zoneamento estratégico com vistas à sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Piranga, MG**. Dissertação (Pós- Graduação). Viçosa: 2012.

CAMPOS, R. A. **Elaboração de planos de adequação ambiental e determinação de custos de recuperação em Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Rio Xopotó-MG**. 2013. 63f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2013.

CARDOSO, C. A.; TEIXEIRA, H. C.D; SOARES,C. P.B.;MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa: v. 30, n.2, p.241-248,2006.

CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R.; COSSICH, E. S.; MORAES, L. C. K.Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleiferaLam. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CASTRO, T.; SILVA, J.; NASCIMENTO, M. V.; SOUZA, P. S.; SILVA, M. B.; ALVES, M. T. R. Qualidade da água do Córrego Lava-Pés-Ipameri-GO e sua relação com o uso do solo. In: II Congresso de ensino e extensão da UEG. **Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE)**. Pirenópolis, 2015.

CESA, M.V.; DUARTE, G. M. **A qualidade do ambiente e as doenças de veiculação hídrica**.Geosul, Florianópolis: v.25, n. 49, p. 63-78, jan.-jun. 2010.

CHABARIBERY, D.; SILVA, J. R.; TAVARES, L. F. J.; LOLI, M. V. B.; SILVA, M. R.; MONTEIRO, A. V. V. M. Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Informações Econômicas**, Fortaleza: v. 38, n. 6, p. 07-20, nov. 2008.

CHAPMAN, D.**Waterqualityassentments: a guidetothe use of biota, sedimentsandwater in environmentalmonitoring**. 2. ed.GreatBritain: University Press, Cambridge, 1996.

CHAVES, E.M. B. **Tomada de Decisão e Otimização de Alternativas no Planejamento com Múltiplos Objetivos em Unidades de Gerenciamento-Bacia do Rio dos Sinos**.Tese (Doutorado). Porto Alegre: 2004.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. In: **Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Anais.** Maringá-PR, 2009.

CONTI, F. **Regressão e correlação.** 2011. Disponível em: <<http://www.cultura.ufpa.br/dicas>>. Acesso em: 12 mar. de 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em : 13 de agosto de 2016.

COSTA, T. F. R. **Investigação de diagramas de coagulação utilizando coagulantes e auxiliares de coagulação de fontes renováveis.** Dissertação (Mestrado). Uberlândia: 2013.

CUNHA, D. G.F.; SABOGAL-PAZ, L. P.; DODDS, W. K. Land use influence on raw surface water quality and treatment costs for drinking supply in São Paulo State (Brazil). **Ecological Engineering**, São Carlos: v. 94, p. 516-524, abr.- jun. 2016.

DIVISÃO DE GERAÇÃO DE IMAGENS – DGI. **Os satélites Landsat 5 e 7.** INPE, 2016. Disponível em: <[http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57\\_PT.php](http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php)>. Acesso em: 31 de março de 2017.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.** Tese (Doutorado). São Paulo: 2004.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- EMPRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.** Brasília (DF). 2006. 412 p.

FERNANDES, M.M. **Valoração dos Serviços Ambientais da Floresta da Mata Atlântica associados à qualidade e quantidade da água na APA do Sana.** Tese (Doutorado). Seropédica: 2009.

FERREIRA, L. C.A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN-Brasil.** Dissertação (Mestrado). Natal: 2008.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.** Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: 2009.

FRANCISCO, A.A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL IBEAS**, 2011, Londrina. p. 485-492.

GONÇALVES, R. F.; PIOTTO, Z. C.; RESENDE M. B. Influência dos mecanismos de coagulação da água bruta na reciclagem de coagulantes em lodos de estações de tratamento de água. In: **CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**: v. 19, p. 1353-1363. , Foz do Iguaçu, 1997.

GRACIANO, M. C. **Políticas públicas e desenvolvimento rural sustentável: uma análise da efetividade do programa Bolsa Verde no Assentamento Canudos em Goiás**. Dissertação (Mestrado). Goiânia:2016.

GROOT,R.; WILSON, M.; BOUMANS, R. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecologicaeconomics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, jun. 2002.

HENRIQUES, C. **Análise de regressão linear simples e múltipla**. 2011. Disponível em: <<http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/psarabando/Ambiente%202010-2011/Slides/Regressaoalunos.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010, v. 1.

HOFFMANN, R. **Análise de regressão**: uma introdução à econometria. 4. ed. rev. com algumas alterações. São Paulo: O autor, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Bases e referenciais. 2015. Disponível em: <>. Acesso em:

Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce e dos Planos de Ações de Recursos Hídricos para as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos no Âmbito da Bacia do Rio Doce**. Volume I – Relatório Final. CONSÓRCIO ECOPLAN – LUME. Jun. 2010. Disponível em: <[http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH\\_Doce\\_Volume\\_I.pdf](http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2016.

Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. **Estudo de regionalização de vazão para o aprimoramento do processo de outorga no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: IGAM, 2012.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C.N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: ParênteseEditora, 2009.  
KARIYEVA, J.; VAN LEEUWEN, W.J.D. Environmental Drivers of NDVI – Based Vegetation Phenology in Central Asia. **Remote Sensing**, Tucson: v.3, n.2, p.203-246, feb. 2011.

KRUPEK, R. A.; BRANCO, C.C. Z.; PERES, C. K. Variação sazonal de alguns parâmetros físicos e químicos em três rios pertencentes a uma bacia de drenagem na região centro-sul do Estado do Paraná, Sul do Brasil. **Acta Scientiarum: BiologicalSciences**, p. 431-438, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: USP, 2008.

LIRA, M. M. S. **Relatório de estágio supervisionado obrigatório: controle de qualidade de águas: Companhia de Águas e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Natal: 2016.

LIRA, S.A.; NETO, A.C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinais e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **Ciência & Engenharia**, Uberlândia: v. 15, n. 1/2, p. 45-53, jan.-dez. 2008.

LUCAS, A.; FOLEGATTI, M.; DUARTE, S. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, São Paulo: v. 14, n. 9, p. 937-943, abr., 2010.

LUCHESA, C. J.; CHAVES NETO, A. Cálculo do tamanho das amostras nas pesquisas em administração. 2011. Disponível em: <[http://www.unicuritiba.edu.br/sites/default/files/publicacoes/arquivos/calculo\\_do\\_tamanho\\_da\\_amostra\\_-\\_texto\\_final\\_para\\_impressao1.pdf](http://www.unicuritiba.edu.br/sites/default/files/publicacoes/arquivos/calculo_do_tamanho_da_amostra_-_texto_final_para_impressao1.pdf)>. Acesso em } : 21 jun. 2017.

LUNET, N.; SEVERO, M.; BARROS, H. Desvio padrão ou erro padrão. **Arquivos de Medicina**, v. 20, n. 1-2, p. 55-59, 2006.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **AmbiÁgua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 206-221. 2013.

MAIA, J. F.; GONÇALVES, L. R. M.; MENDES, P. A.S.; GONÇALVES, R. G. M.; VIANA, T. A. Abastecimento de água para consumo humano. Estudo de caso: Estação de tratamento Morrinhos, Montes Claros–MG. **Revista Intercâmbio**, Montes Claros: v. 4, n. 1, p. 1-15, jun. 2013.

MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. Algumas considerações em regressão não linear. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá: v. 24, p. 1761-1770, 2008.

MEDEIROS FILHO, C. F. **Apostila abastecimento de água**. Campina Grande. 2009.

MELO, E.T.; SALES, M.C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba: v. 23, p.520-533. 2011.

MIERZWA, J.C.; SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. B.; HESPANHOL, I. Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, São Paulo: .v.13, n.1, p.78-87, fev., 2008.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT - MEA. **Ecosystem and Human WellBeing: Synthesis**. Washington: Island Press, 2005.

MINAS GERAIS. Lei nº 12.503, de 30 de maio de 1997. Cria o Programa Estadual de Conservação da Água. **Diário do Executivo**. Minas Gerais, 31 mai. 1997. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/consulte/legislacao/completa/completa.html?tipo=Lei&num=12503&ano=1997>>. Acesso em: 30 mai. 2017.

MINAS GERAIS. Lei nº 15.910 de 21 de dezembro de 2005. Dispõe sobre o Fundo de Recuperação, Proteção e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais - Fhidro, criado pela Lei nº 13.194, de 29 de janeiro de 1999, e dá outras providências. **Diário do Executivo**. Minas Gerais, 22 dez. 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5267>>. Acesso em: 23 abr. 2017

MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade do Estado. **Diário do Executivo**. Minas Gerais, 17 out. 2013. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. **Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Fátima Becker Guedes e Susan EddaSeehusen (Ed.). Brasília: MMA, p. 12, 2011.

MORAES, L. F. D.; CAMPELLO, E. F.C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para o monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 437-451, jun. 2010.

MOTA, J. A. Métodos econômicos para a valoração de danos ambientais. **MPMG Jurídico**, Belo Horizonte, v. 23, p.18-23. 2011.

MOTTA, R. S. **Economia ambiental**. 1.ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2006.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. 1997. Disponível em: <<http://www.terrabrasilis.org.br/ecotecadigital/pdf/manual-para-valoracao-economica-de-recursos-ambientais.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

NETO, S. **Análise físico-química de parâmetros de qualidade da água de abastecimento de uma cidade localizada no alto sertão do estado de Pernambuco**. Trabalho de Conclusão de Curso. Campina Grande: 2013.

NETTO, J. M. A. Processos gerais de tratamento de água. In: **Técnica de abastecimento e tratamento de água**. São Paulo: CETESB, v. 2, cap. 18, p.589-615. 1974.

NETTO, J.M. A.; RICHTER, C. **Tratamento de água tecnologia atualizada**. 2. ed. São Paulo: EDGARD BLUCHER LTDA, 2003.

NOGUEIRA, R. N. **Estudo da remoção esperada de adenovírus no tratamento convencional de água para consumo humano**. Tese (Doutorado). Faro: 2015.  
OBARA, A. T. **Valoração Econômica de Unidades de Conservação: o método devaloração de contingente. Caso de estudo: Estação Ecológica de Jataí, Luiz Antonio, SP**. Tese (Doutorado). São Carlos: 1999.

OLIVEIRA, T. F. **Tratamento de água para abastecimento público por sistema de separação por membrana de ultrafiltração: estudo de caso na ETA Alto da Boa Vista (São Paulo, SP)**. Tese (Doutorado). São Paulo: 2010.

PADILHA, D. J.; CERUTI, F. C.; VIDAL, C. M. S.; MARTINS, C. H. Análise da utilização de três diferentes coagulantes na remoção da turbidez de água de manancial de abastecimento. In: VII Encontro Internacional de Produção Científica. **Anais Eletrônicos**. Maringá, 2011.

PAULINO, M. B. **Diagnóstico da relação entre o uso do solo e a qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos-Novo Hamburgo-RS, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). Curitiba:2014.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. Tese (Doutorado). São Paulo: 2001.

PEREIRA, C. S. S.; SOBRINHO, T. A. Programas de controle da erosão hídrica no âmbito rural: um breve panorama brasileiro. **Revista Ambientia**, Paraná:v. 10, n.3, p. 851-867, set.-dez. 2014.

PETERNELLI, L. A. **Capítulo 9: Relação Linear e Correlação**. 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.ufv.br/~peterNELLI/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>> Acesso em: 21 jun. 2017.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Revista Florestal**, Viçosa:v. 18, n. 3, p.1-9, 2012.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica**. São José dos Campos, Brasil: INPE, 2002.

PRADO, N.S. **Avaliação em escala de bancada da eficiência da quitosana e do sulfato de alumínio na remoção de Microcystisaeruginosa e Cylindrospermopsisraciborskii por sedimentação e da liberação e degradação de cianotoxinas em função do tempo de armazenamento do lodo**. Dissertação (Mestrado). Brasília: 2016.

REIS, C. G. **Análise dos processos de clarificação e filtração da água para consumo humano estações de tratamento de água do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso. Porto Alegre:2016.

REIS, D. A.. **Estudo ambiental sobre a bacia hidrográfica do Rio Matipó**. Dissertação (Mestrado). Ouro Preto: 2015.

REIS, L. V. S. **Cobertura florestal e custo do tratamento de águas em bacias hidrográficas de abastecimento público: caso do manancial do município de Piracicaba**. Tese (Doutorado). Piracicaba: 2004.

RENATRADER. **Matemática Financeira**. 2011. Disponível em: <<https://www.renatrader.com.br/matematica-financeira.html>>. Acesso em: 30 de março de 2017.



RICHTER, C.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água – Tecnologia atualizada**. 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda,1991.

RIZZI, N. E. Função da floresta na manutenção da qualidade da água para uso humano. **Revista Florestal**, São Carlos:v.15, n.12, p. 54-65. 1985.

ROUSE, J.W; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **PROCEEDINGS OF THE THIRD ERTS SYMPOSIUM**, SP-351 Goddard Space Flight Center, Washington: NASA, 1973 p. 309–317.

Saneamento de Goiás – SANEAGO. **Operação de estação de tratamento de água**. Goiás: SANEAGO, 2006.

SANT'ANNA, A.C.;NOGUEIRA, J.M. Valoração econômica dos serviços ambientais de florestas nacionais. **Revistade Administração e Negócios da Amazônia**, v.2, n.1, jan-abr., 2010

SANTOS, B. P. **Estudo da relação de sedimentos em suspensão com a precipitação e turbidez na micromicrobacia do Rio do Campo**. Trabalho de Conclusão de Curso. Campo Mourão: 2015.

Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - SMA. **Projeto de Recuperação de Matas Ciliares**: Nota Conceitual. São Paulo: SMA, mai. 2004.

Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE. **Sistemas de tratamento de água**.Aracruz: SAAE, 2006.

Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE RAUL SOARES. **Sistema de abastecimento de água: Abastecimento de água e esgotamento sanitário**.Raul Soares: SAAE, 2015.

Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas – SANEP. **Tratamento**. 2017. Disponível em: <<http://www.pelotas.rs.gov.br/sanep/tratamento/>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 38, p. 733 – 742. 2008.

SILVA, F. P.; ROCHA, C. H. B.; NETO, R. M. Conflitos de uso da terra na Área de Preservação Permanente (APP's) da bacia hidrográfica do Ribeirão Ubá–MG. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, Juíz de Fora: v. 5, n. 2, p.141-156, jul. 2015.

SILVA, R. G.; LIMA, J. E. Valoração contingente do parque" Chico Mendes": uma aplicação probabilística do método Referendum com bidding games. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília: v. 42, n. 4, p. 685-708, out.- dez. 2004.

SOARES, Sílvia Maria Pereira. **Técnicas de restauração de áreas degradadas**. 2009. Disponível em: <[http://www.ufjf.br/ecologia/files/2009/11/estagio\\_Silvia\\_Soares1.pdf](http://www.ufjf.br/ecologia/files/2009/11/estagio_Silvia_Soares1.pdf)>. Acesso Em: 13 mai 2017.

SORIANI, M. **Eficiência da Moringa oleífera como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**. Trabalho de Conclusão de Curso. Londrina: 2015.

SOUZA, M.C. B. Influência da mata ciliar na qualidade da água de trecho do Rio Jararecica-Maceió/AL. Dissertação (Mestrado). Maceió: 2012.

TRENTO, A. E. **Dinâmica da flocculação no transporte de sedimentos finos**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro: 2005.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos/Potencial impactsofchanges in the Forest Law in relationtowaterresources. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 4, p. 67. 2010.

VELOSO, R. B. **Proposta de um modelo não linear de crescimento e produtividade florestal**. Tese (Doutorado). Lavras: 2013.

VENTUROLI, F.; FAGG, C. W.; FELFILI, J.M. Desenvolvimento inicial de dipteryxalatavogel e myracrodruonUrundeuvaallemão em plantio de enriquecimento de uma floresta estacional semidecídua secundária. **BioscienceJournal**, Uberlândia: v. 27, n. 3, p. 482-493, mai. 2011.

VENTUROLI, F. **Manejo de floresta estacional semidecídua secundária em Pirenópolis, Goiás**. Tese (Doutorado). Brasília: 2008.

VIANNA, M. R. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 5. ed. Belo Horizonte: Imprimatur, 2010.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014, v. 1.

WAJSMAN, E. N. **Concepção de estação piloto de tratamento de água no centro experimental de saneamento ambiental da UFRJ-CESA/UFRJ**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro:2014.

WINWARD, G. P.; AVERY, L. M.; STEPHERSON, T.; JEFFERSON, B. Chlorine disinfection of grey water for reuse: Effect of organics and particles. **Water Research**, v. 42, n. 1, p. 483-491, jan. 2008.

World Bank/World Wildlife Fund- WWF. **Running pure: the importance of forest protected areas to drinking water**. Nigel Dudley e Sue Stolton (Ed.). Washington: World Bank/World Wildlife Fund, 2003.

ZANZARINI, R. M.; ROSOLEN, V. Mata ciliar e nascente no Cerrado brasileiro: análise e recuperação ambiental. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, Araguari: v. 12, p. 701-712. 2008.

ZEVIANI, W.M.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; BONAT, W. H. **Modelos de regressão não-linear**. 2013. Disponível em: <<http://www.leg.ufpr.br/~walmes/cursoR/mrnl2013/master.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

**ANEXO A1– Dados de precipitação mensal (mm) no período entre 1978 e 2015**

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<b>jan</b>	138,3	458,65	300,45	120,55	227,75	319,55	144,45	661,40	177,00	190,75	295,25	116,35
<b>fev</b>	167,2	327,70	100,35	71,55	79,20	192,65	55,00	96,20	66,00	54,65	152,85	229,20
<b>mar</b>	62,8	235,40	39,45	216,70	228,10	149,70	111,45	149,00	41,00	191,85	144,75	184,15
<b>abr</b>	45	105,60	178,40	20,20	46,55	91,85	44,45	48,90	26,00	75,70	44,80	17,65
<b>mai</b>	75,05	103,90	75,00	26,30	59,80	39,85	6,85	30,05	29,00	59,45	46,05	14,00
<b>jun</b>	9,75	0,65	27,40	46,25	1,70	22,00	0,00	0,00	20,20	26,40	10,70	60,65
<b>jul</b>	55,5	41,85	0,00	0,00	14,20	12,50	27,55	0,00	20,00	8,65	0,30	20,90
<b>ago</b>	2,2	52,65	3,30	28,15	8,95	0,00	82,90	23,50	39,00	16,45	0,00	2,40
<b>set</b>	43,2	33,25	11,70	5,70	20,65	64,05	83,90	47,10	20,00	56,80	0,50	36,00
<b>out</b>	165,65	125,30	34,70	79,70	77,65	128,10	115,60	103,25	20,00	47,30	178,85	156,40
<b>nov</b>	160,8	302,20	113,15	398,30	50,85	190,20	193,60	224,30	37,00	143,60	84,50	255,70
<b>dez</b>	204,35	377,75	319,75	187,70	223,95	274,65	493,50	225,20	140,00	304,30	236,15	194,95

Fonte: ANA (2015)

**ANEXO B– Dados de precipitação mensal (mm) na década de 1990**

	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
<b>jan</b>	32,25	316,00	332,20	211,50	401,55	56,40	68,95	370,30	199,30	168,75
<b>fev</b>	124,20	226,15	203,80	12,75	46,30	158,60	62,05	56,50	148,50	75,10
<b>mar</b>	52,65	237,05	34,20	38,25	294,40	100,20	98,10	125,65	17,75	177,35
<b>abr</b>	30,85	53,05	83,70	67,20	114,15	82,50	64,10	71,20	39,50	22,15
<b>mai</b>	15,85	24,30	29,05	15,30	37,45	30,95	56,55	26,35	80,40	4,10
<b>jun</b>	8,05	1,00	9,35	41,30	16,35	2,05	2,65	30,60	1,40	8,25
<b>jul</b>	24,10	6,50	14,55	4,50	3,40	7,15	2,35	0,90	1,00	0,00
<b>ago</b>	52,70	1,60	22,25	16,00	0,00	0,40	5,75	5,10	51,50	2,75
<b>set</b>	30,70	88,15	102,65	38,05	0,00	19,90	89,30	86,45	7,45	18,70
<b>out</b>	63,05	103,75	100,35	85,55	52,90	87,55	130,45	113,65	186,45	81,50
<b>nov</b>	119,30	217,10	279,60	97,80	80,05	149,35	310,05	131,50	224,25	337,45
<b>dez</b>	107,35	171,10	361,60	252,25	263,15	262,25	247,30	220,50	195,20	155,50

Fonte: ANA (2015)

**ANEXOC– Dados de precipitação mensal (mm) na década de 2000**

	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>jan</b>	210,50	369,70	310,70	529,25	270,35	242,25	5,65	265,90	216,15	355,90
<b>fev</b>	141,65	28,60	214,70	35,30	308,00	214,70	62,75	100,20	71,25	126,20
<b>mar</b>	256,50	107,05	59,45	62,40	223,10	408,85	158,95	64,55	131,75	180,40
<b>abr</b>	17,55	39,35	12,75	52,65	146,45	50,30	107,25	54,30	93,70	61,00
<b>mai</b>	17,80	32,05	36,90	2,35	22,10	47,25	2,60	9,75	4,70	9,35
<b>jun</b>	5,05	4,55	0,10	0,00	18,85	38,45	1,25	7,60	12,55	18,40
<b>jul</b>	1,20	3,10	0,50	0,00	27,10	10,45	0,90	1,45	7,25	4,35
<b>ago</b>	31,45	6,65	1,15	29,40	4,25	48,10	11,15	0,00	21,05	13,95
<b>set</b>	42,60	48,85	109,05	38,20	0,00	128,45	54,75	11,80	63,80	105,85
<b>out</b>	95,20	110,30	56,35	54,30	91,70	46,60	181,05	100,90	60,45	123,60
<b>nov</b>	233,75	231,20	211,90	206,35	157,75	209,95	259,85	88,35	224,70	63,10
<b>dez</b>	328,95	279,95	354,25	149,40	411,85	116,95	355,30	205,40	559,85	391,70

Fonte: ANA (2015)

**ANEXOD– Dados de precipitação mensal (mm) no período entre 2010 e 2015**

	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>jan</b>	57,55	174,70	223,45	351,30	41,70	46,65
<b>fev</b>	45,25	58,90	54,05	51,25	17,00	121,75
<b>mar</b>	198,15	345,65	125,45	252,55	74,55	81,55
<b>abr</b>	51,40	124,15	75,75	50,45	68,80	34,95
<b>mai</b>	35,00	4,75	90,85	65,15	2,95	86,45
<b>jun</b>	9,25	13,75	1,70	11,45	3,40	15,10
<b>jul</b>	1,20	0,60	0,35	0,05	27,80	7,05
<b>ago</b>	0,55	0,40	2,75	7,60	20,90	1,50
<b>set</b>	16,65	9,40	5,15	28,35	9,20	41,65
<b>out</b>	141,75	192,50	40,20	95,75	82,60	76,20
<b>nov</b>	286,15	265,10	261,60	130,30	186,95	144,95
<b>dez</b>	458,30	370,85	91,60	288,85	102,15	197,55

Fonte: ANA (2015)

**ANEXO E – Média mensal de precipitação mensal (mm) no período entre 1978 e 2015**

<b>Mês</b>	<b>Média mensal de precipitação (mm)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Janeiro</b>	236,30	144,10
<b>Fevereiro</b>	114,69	78,89
<b>Março</b>	148,97	92,11
<b>Abril</b>	63,53	36,79
<b>Mai</b>	35,67	27,86
<b>Junho</b>	13,37	14,52
<b>Julho</b>	9,45	12,88
<b>Agosto</b>	16,27	19,84
<b>Setembro</b>	42,58	35,02
<b>Outubro</b>	99,66	44,46
<b>Novembro</b>	191,12	84,62
<b>Dezembro</b>	265,30	111,53

Fonte: ANA (2015)

**ANEXO F – Descrições das imagens Landsat -5utilizadas para o método NDVI**

Data de passagem	Órbita	Ponto	Identificação da cena	Cobertura de nuvens (%)			
				Q1	Q2	Q3	Q4
17/03/1986	217	74	L5TM21707419860317	0	10	0	0
17/07/1989	217	74	L5TM21707419890715	0	0	0	0
01/10/1994	217	74	L5TM21707419941001	0	0	0	0
27/06/2000	217	74	L5TM21707420000627	0	0	0	0
27/04/2001	217	74	L5TM21707420010427	10	0	0	10
06/07/2003	217	74	L5TM21707420030706	0	0	0	0
14/05/2007	217	74	L5TM21707420070514	0	10	0	10
07/08/2009	217	74	L5TM21707420090807	0	0	10	0
26/06/2010	217	74	L5TM21707420100826	0	10	0	0

Fonte: DGI (2016)



**ANEXO G- Dados de Turbidez (UNT) de 1978 a 1989**

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<b>jan</b>	76,3	80,10	138,60	48,50	87,10	247,00	70,00	176,00	177,00	95,00	263,00	50,00
<b>fev</b>	74,6	191,20	117,00	120,20	52,10	125,00	58,00	305,00	66,00	58,00	88,00	131,00
<b>mar</b>	41,5	90,90	68,50	93,30	127,80	110,00	48,00	192,00	41,00	99,00	64,00	79,00
<b>abr</b>	31,1	40,40	96,20	37,80	77,60	51,00	36,00	61,00	26,00	50,00	37,00	20,00
<b>mai</b>	22,2	22,72	61,20	20,00	37,00	24,00	20,00	39,00	29,00	25,00	22,00	20,00
<b>jun</b>	37,8	37,10	20,00	37,20	25,10	32,00	20,00	21,00	20,20	21,00	33,00	29,00
<b>jul</b>	36	24,50	20,00	20,20	24,80	24,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	22,00
<b>ago</b>	20,2	30,20	20,20	41,70	24,10	20,00	60,00	35,00	39,00	21,00	20,00	23,00
<b>set</b>	26,8	25,60	20,00	20,00	22,30	21,00	33,00	37,00	20,00	33,00	20,00	20,00
<b>out</b>	69,9	24,80	30,20	24,50	50,50	61,00	50,00	94,00	20,00	28,00	72,00	79,00
<b>nov</b>	74,3	57,60	45,80	116,50	20,50	124,00	29,00	123,00	37,00	53,00	221,00	66,00
<b>dez</b>	88,8	70,60	133,40	137,70	77,10	112,70	211,00	115,00	140,00	128,00	61,00	92,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

### ANEXO H– Dados de turbidez (UNT) na década de 1990

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>jan</b>	28,00	172,00	111,00	89,00	121,00	28,10	57,10	136,00	7,00	60,30
<b>fev</b>	52,00	156,00	55,00	21,40	34,30	64,90	22,50	42,50	7,00	12,00
<b>mar</b>	23,00	99,00	40,30	32,80	73,00	24,20	30,60	63,40	7,00	29,00
<b>abr</b>	28,00	44,00	64,72	25,60	54,00	47,60	27,40	20,40	7,10	8,60
<b>mai</b>	39,00	26,00	17,90	16,30	23,10	21,90	10,60	28,70	7,10	5,00
<b>jun</b>	20,00	20,00	20,00	11,40	20,40	20,00	6,90	25,40	7,10	3,40
<b>jul</b>	28,00	20,00	20,50	8,90	20,30	20,00	5,60	-	7,10	4,30
<b>ago</b>	20,00	20,00	21,00	20,50	20,00	13,60	6,30	13,70	7,10	3,90
<b>set</b>	22,00	24,00	22,10	20,00	20,00	3,20	26,00	53,00	7,10	4,10
<b>out</b>	31,00	95,00	71,50	23,20	20,80	13,20	58,30	68,90	7,10	10,80
<b>nov</b>	89,00	128,00	101,70	62,20	16,30	52,00	115,70	66,30	7,00	50,30
<b>dez</b>	98,00	88,00	73,00	58,10	117,00	69,00	75,00	97,40	6,90	52,90

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

### ANEXO I – Dados de turbidez (UNT) na década de 2000

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
<b>jan</b>	1019,30	944,60	1040,00	1330,00	1170,00	1205,00	784,40	959,00	983,40	1099,00
<b>fev</b>	927,80	697,30	877,00	818,00	989,00	927,00	820,00	740,40	1113,00	697,00
<b>mar</b>	850,70	799,90	824,00	834,00	924,70	991,70	842,90	708,00	887,00	653,00
<b>abr</b>	823,10	674,30	704,70	731,30	719,00	735,30	747,30	716,00	851,00	613,00
<b>mai</b>	659,00	542,70	637,00	601,00	640,90	600,00	694,30	620,00	816,00	473,00
<b>jun</b>	603,10	485,30	588,00	610,60	593,60	463,40	563,70	610,00	756,00	423,00
<b>jul</b>	701,00	606,70	648,00	567,00	634,60	472,70	808,00	614,00	795,70	484,10
<b>ago</b>	676,60	680,70	645,00	619,00	611,10	515,00	835,70	573,00	888,20	483,00
<b>set</b>	620,00	415,00	726,90	700,00	679,30	613,00	688,00	528,00	826,00	526,00
<b>out</b>	800,00	287,50	1148,00	826,70	761,00	853,00	898,50	704,00	1009,00	765,00
<b>nov</b>	806,90	1913,00	1145,00	998,00	818,40	868,00	1037,00	949,00	1220,00	811,00
<b>dez</b>	1140,00	1104,00	1285,00	1143,00	1265,00	968,00	1110,00	1030,00	1367,00	932,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

### ANEXO J– Dados de turbidez (UNT) de 2010 a 2015

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
jan	667,00	817,00	736,00	1147,40	1298,08	1600,00
fev	667,00	564,00	632,30	841,83	1050,50	1250,00
mar	766,00	693,00	633,00	830,20	1035,78	1300,00
abr	667,00	528,00	575,30	788,46	896,80	1150,00
mai	667,00	407,00	490,60	629,17	786,92	1050,00
jun	667,00	331,00	445,50	570,42	779,91	950,00
jul	666,00	281,00	429,70	508,28	656,96	950,00
ago	766,00	445,00	472,16	544,21	594,35	1050,00
set	513,00	503,00	452,65	607,71	850,00	1100,00
out	639,00	578,00	526,73	753,48	1100,00	1350,00
nov	863,90	702,00	989,81	909,70	1250,00	1250,00
dez	1060,00	852,00	1309,00	1335,79	1500,00	2150,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOK– Média mensal de turbidez (UNT) de 1978 a 2015**

<b>Mês</b>	<b>Média Turbidez (UNT)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Janeiro</b>	96,61	63,50
<b>Fevereiro</b>	64,16	58,65
<b>Março</b>	56,56	39,29
<b>Abril</b>	35,07	20,07
<b>Maio</b>	20,70	20,59
<b>Junho</b>	15,46	10,89
<b>Julho</b>	12,85	9,45
<b>Agosto</b>	15,00	13,26
<b>Setembro</b>	16,16	11,45
<b>Outubro</b>	32,07	26,78
<b>Novembro</b>	60,26	43,02
<b>Dezembro</b>	91,59	36,8

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOL– Consumo de sulfato de alumínio (kg) no período entre 1978 e 1989**

	<b>1978</b>	<b>1979</b>	<b>1980</b>	<b>1981</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>
<b>jan</b>	777,9	766,70	1081,20	1184,60	1085,10	1167,00	1162,40	1227,00	866,80	1075,30	1310,49	832,30
<b>fev</b>	558,3	741,30	1050,80	1113,40	885,40	1071,50	765,30	821,00	648,10	891,90	965,556	945,00
<b>mar</b>	519	678,50	858,90	992,60	1003,20	816,00	704,70	916,00	542,90	836,10	775,896	736,60
<b>abr</b>	561,9	696,00	1133,40	1147,90	1035,30	794,80	695,50	859,00	528,70	851,50	504,808	625,50
<b>mai</b>	479,4	461,80	1085,40	764,80	630,00	677,40	614,10	412,00	528,70	625,90	579,178	566,30
<b>jun</b>	553,1	522,80	752,70	806,70	536,00	695,50	513,00	409,00	368,10	556,90	512,784	614,80
<b>jul</b>	416,3	716,60	658,60	615,30	443,80	835,50	547,60	402,00	350,00	482,70	408,033	447,40
<b>ago</b>	328,2	427,70	837,10	624,40	408,30	564,20	738,50	470,00	520,80	667,50	503,53	474,50
<b>set</b>	490,7	577,60	1355,00	585,20	588,80	542,50	723,00	538,00	430,30	873,50	649,197	546,40
<b>out</b>	579,1	513,90	984,80	673,20	778,70	728,60	826,30	659,00	492,30	973,00	852,804	861,40
<b>nov</b>	679,2	746,70	982,90	1249,50	673,90	1003,10	848,80	871,00	606,80	1133,00	781,382	912,60
<b>dez</b>	846,2	800,20	1120,20	1228,70	865,10	913,00	1042,70	768,00	1230,50	1262,50	832,081	887,50

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOM– Consumo de sulfato de alumínio (kg) na década de 1990**

	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>
<b>jan</b>	693,60	1198,90	864,50	756,4	1174	801,00	1088,20	1007,00	991,60	1090,00
<b>fev</b>	702,20	1196,90	689,10	566	1007	999,00	936,30	854,00	846,80	891,00
<b>mar</b>	539,20	857,70	573,07	549,5	856	776,30	984,00	706,00	751,20	950,00
<b>abr</b>	625,10	733,10	609,90	580,6	250	907,00	760,40	638,00	803,80	797,80
<b>mai</b>	594,90	592,20	525,80	495,5	680	690,00	20,20	585,00	702,40	628,00
<b>jun</b>	543,00	546,30	495,00	540,4	556	652,00	609,70	529,00	666,70	540,90
<b>jul</b>	550,10	453,50	255,00	502,6	454	548,00	592,00	539,80	666,60	547,70
<b>ago</b>	551,20	538,50	522,00	511,1	458	584,00	621,00	579,00	773,90	715,40
<b>set</b>	576,60	652,30	540,50	586	509	272,00	765,00	778,30	863,10	773,50
<b>out</b>	571,20	880,90	728,80	675	540	820,20	909,00	996,00	1058,80	919,00
<b>nov</b>	1062,20	962,60	436,10	1070	917	1048,70	1168,00	999,90	1004,60	999,40
<b>dez</b>	1085,00	867,10	772,90	884,2	1181	970,30	963,00	1153,50	1072,00	1158,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXO N– Consumo de sulfato de alumínio (kg) na década de 2000**

	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>jan</b>	1019,30	944,60	1040,00	1330,00	1170,00	1205,00	784,40	959,00	983,40	1099,00
<b>fev</b>	927,80	697,30	877,00	818,00	989,00	927,00	820,00	740,40	1113,00	697,00
<b>mar</b>	850,70	799,90	824,00	834,00	924,70	991,70	842,90	708,00	887,00	653,00
<b>abr</b>	823,10	674,30	704,70	731,30	719,00	735,30	747,30	716,00	851,00	613,00
<b>mai</b>	659,00	542,70	637,00	601,00	640,90	600,00	694,30	620,00	816,00	473,00
<b>jun</b>	603,10	485,30	588,00	610,60	593,60	463,40	563,70	610,00	756,00	423,00
<b>jul</b>	701,00	606,70	648,00	567,00	634,60	472,70	808,00	614,00	795,70	484,10
<b>ago</b>	676,60	680,70	645,00	619,00	611,10	515,00	835,70	573,00	888,20	483,00
<b>set</b>	620,00	415,00	726,90	700,00	679,30	613,00	688,00	528,00	826,00	526,00
<b>out</b>	800,00	287,50	1148,00	826,70	761,00	853,00	898,50	704,00	1009,00	765,00
<b>nov</b>	806,90	1913,00	1145,00	998,00	818,40	868,00	1037,00	949,00	1220,00	811,00
<b>dez</b>	1140,00	1104,00	1285,00	1143,00	1265,00	968,00	1110,00	1030,00	1367,00	932,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)



**ANEXO O – Consumo de sulfato de alumínio (kg) no período entre 2010 e 2015**

	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>jan</b>	667,00	817,00	736,00	1147,40	1298,08	1600,00
<b>fev</b>	667,00	564,00	632,30	841,83	1050,50	1250,00
<b>mar</b>	766,00	693,00	633,00	830,20	1035,78	1300,00
<b>abr</b>	667,00	528,00	575,30	788,46	896,80	1150,00
<b>mai</b>	667,00	407,00	490,60	629,17	786,92	1050,00
<b>jun</b>	667,00	331,00	445,50	570,42	779,91	950,00
<b>jul</b>	666,00	281,00	429,70	508,28	656,96	950,00
<b>ago</b>	766,00	445,00	472,16	544,21	594,35	1050,00
<b>set</b>	513,00	503,00	452,65	607,71	850,00	1100,00
<b>out</b>	639,00	578,00	526,73	753,48	1100,00	1350,00
<b>nov</b>	863,90	702,00	989,81	909,70	1250,00	1250,00
<b>dez</b>	1060,00	852,00	1309,00	1335,79	1500,00	2150,00

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOP– Consumo médio mensal de sulfato de alumínio (kg) no período entre 1978 e 2015**

<b>Meses</b>	<b>Consumo médio de sulfato (kg)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Janeiro</b>	1026,37	208,19
<b>Fevereiro</b>	862,05	176,59
<b>Março</b>	802,56	161,92
<b>Abril</b>	738,44	183,28
<b>Mai</b>	611,94	171,90
<b>Junho</b>	577,92	123,08
<b>Julho</b>	559,39	149,72
<b>Agosto</b>	600,47	147,42
<b>Setembro</b>	646,45	194,60
<b>Outubro</b>	790,05	208,64
<b>Novembro</b>	965,50	243,54
<b>Dezembro</b>	1090,91	254,74

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXO Q- Dados de turbidez e vegetação empregados na análise turbidez x cobertura vegetal**

<b>Ano</b>	<b>Vegetação (ha)</b>	<b>Turbidez média anual (UNT)</b>
mar/86	17.944,30	52,94
jul/89	11.871,95	52,58
jan/90	27.733,37	39,83
out/94	1.832,33	103,23
jun/00	16.291,81	47,22
abr/01	36.104,82	25,70
jul/03	11.323,89	40,38
mai/07	40.931,18	25,19
ago/09	19.729,41	35,43
ago/10	17.845,49	30,64

Fonte: SAAE Raul Soares (2015) e própria autora.

**ANEXO R – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 1978 e 1989**

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
<b>jan</b>	373,392	368,02	518,98	568,61	998,29	1762,17	3661,56	6343,59	6047,24	2877,76	18287,8	35244,16
<b>fev</b>	267,984	355,82	504,38	534,43	814,57	1617,97	2410,70	4244,57	4521,48	2386,94	13474,3	40016,50
<b>mar</b>	249,12	325,68	412,27	476,45	922,94	1232,16	2219,81	4735,72	3787,55	2237,60	10827,6	31191,70
<b>abr</b>	269,712	334,08	544,03	550,99	952,48	1200,15	2190,83	4441,03	3688,48	2278,82	7044,57	26487,11
<b>mai</b>	230,112	221,66	520,99	367,10	579,60	1022,87	1934,42	2130,04	3688,48	1675,06	8082,4	23980,26
<b>jun</b>	265,488	250,94	361,30	387,22	493,12	1050,21	1615,95	2114,53	2568,05	1490,40	7155,87	26034,02
<b>jul</b>	199,824	343,97	316,13	295,34	408,30	1261,61	1724,94	2078,34	2441,78	1291,82	5694,07	18945,38
<b>ago</b>	157,536	205,30	401,81	299,71	375,64	851,94	2326,28	2429,90	3633,37	1786,39	7026,73	20092,94
<b>set</b>	235,536	277,25	650,40	280,90	541,70	819,18	2277,45	2781,46	3001,99	2337,70	9059,5	23137,58
<b>out</b>	277,968	246,67	472,70	323,14	716,40	1100,19	2602,85	3407,03	3434,54	2603,98	11900,8	36476,42
<b>nov</b>	326,016	358,42	471,79	599,76	619,99	1514,68	2673,72	4503,07	4233,35	3032,18	10904,1	38644,51
<b>dez</b>	406,176	384,10	537,70	589,78	795,89	1378,63	3284,51	3970,56	8584,60	3378,75	11611,6	37581,63
<b>Preço unitário</b>	0,48	0,48	0,48	0,48	0,92	1,51	3,15	5,17	6,98	2,68	13,95	42,35
<b>Custo médio</b>	271,572	305,992	476,04	439,452	684,909	1234,31	2410,25	3598,32	4135,91	2281,45	10089,1	29819,4

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOS – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) na década de 1990**

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>jan</b>	65683,70	102609,88	23537,69	52820,3	195429	52852,35	1872,89	785,56	447,22	165,02
<b>fev</b>	66498,12	102438,71	18762,09	39524,5	167630	65916,98	1611,45	666,20	381,91	134,89
<b>mar</b>	51062,07	73407,70	15602,94	38372,3	142494	51222,57	1693,55	550,75	338,80	143,82
<b>abr</b>	59196,77	62743,60	16605,71	40544	41616,1	59846,54	1308,72	497,70	362,52	120,78
<b>mai</b>	56336,84	50684,44	14315,93	34601,4	113196	45528,24	34,77	456,36	316,79	95,07
<b>jun</b>	51421,93	46756,01	13477,34	37736,8	92554,3	43020,89	1049,35	412,67	300,69	81,89
<b>jul</b>	52094,29	38813,56	6942,87	35097,2	75574,9	36158,66	1018,88	421,10	300,64	82,92
<b>ago</b>	52198,46	46088,43	14212,46	35690,7	76240,7	38534,05	1068,80	451,68	349,04	108,31
<b>set</b>	54603,84	55828,20	14716,16	40921,1	84730,4	17947,37	1316,63	607,15	389,27	117,10
<b>out</b>	54092,46	75393,31	19843,00	47136,1	89890,8	54119,22	1564,47	776,98	477,53	139,13
<b>nov</b>	100590,00	82385,75	11873,67	74719,4	152648	69196,33	2010,23	780,02	453,08	151,30
<b>dez</b>	102749,15	74212,22	21043,71	61744,8	196595	64023,27	1657,41	899,84	483,48	175,31
<b>Preço unitário</b>	94,70	85,59	27,23	69,83	166,46	65,98	1,72	0,78	0,45	0,15
<b>Custo médio</b>	63877,30165	67613,48352	15911,13112	44909	119050	49863,87273	1350,6	608,832	383,413	126,295

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOT – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) na década de 2000**

	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>jan</b>	874,80	568,44	842,35	1839,80	1253,49	1098,96	557,01	390,26	588,15	902,59
<b>fev</b>	796,28	419,62	710,33	1131,55	1059,58	845,42	582,29	301,30	665,66	572,43
<b>mar</b>	730,10	481,36	667,40	1153,68	990,69	904,43	598,55	288,12	530,50	536,30
<b>abr</b>	706,42	405,78	570,77	1011,62	770,31	670,59	530,67	291,37	508,97	503,44
<b>mai</b>	565,58	326,58	515,94	831,37	686,63	547,20	493,03	252,31	488,03	388,47
<b>jun</b>	517,60	292,04	476,25	844,65	635,96	422,62	400,29	248,24	452,15	347,40
<b>jul</b>	601,63	365,10	524,85	784,34	679,89	431,10	573,77	249,86	475,89	397,58
<b>ago</b>	580,69	409,63	522,42	856,27	654,71	469,68	593,44	233,18	531,21	396,68
<b>set</b>	532,11	249,74	588,75	968,32	727,77	559,06	488,56	214,87	494,01	431,99
<b>out</b>	686,59	173,01	929,82	1143,58	815,30	777,94	638,04	286,49	603,46	628,28
<b>nov</b>	692,51	1151,20	927,40	1380,55	876,80	791,62	736,39	386,19	729,66	666,06
<b>dez</b>	978,39	664,36	1040,79	1581,13	1355,27	882,82	788,22	419,15	817,58	765,43
<b>Preço unitário</b>	0,86	0,60	0,81	1,38	1,07	0,91	0,71	0,41	0,60	0,82
<b>Custo médio</b>	688,5588	458,904348	693,0894256	1127,24	875,533	700,1196	581,688	296,777	573,773	544,721

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXOU – Custos totais associados ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 2010 e 2015**

	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>jan</b>	413,97	717,26	659,08	1074,13	1355,82	2868,10
<b>fev</b>	413,97	495,15	566,22	788,07	1097,23	2240,70
<b>mar</b>	475,41	608,40	566,84	777,19	1081,85	2330,33
<b>abr</b>	413,97	463,54	515,17	738,11	936,69	2061,44
<b>mai</b>	413,97	357,31	439,33	588,99	821,92	1882,19
<b>jun</b>	413,97	290,59	398,94	534,00	814,60	1702,93
<b>jul</b>	413,35	246,70	384,79	475,82	686,18	1702,93
<b>ago</b>	475,41	390,67	422,81	509,46	620,79	1882,19
<b>set</b>	318,39	441,59	405,34	568,90	887,81	1971,82
<b>out</b>	396,59	507,44	471,68	705,37	1148,93	2419,96
<b>nov</b>	536,17	616,30	886,36	851,61	1305,60	2240,70
<b>dez</b>	657,88	747,99	1172,19	1250,49	1566,72	3854,00
<b>Preço unitário</b>	0,62	0,88	0,90	0,94	1,04	1,79
<b>Custo médio</b>	445,252308	490,24516	574,063776	738,512	1027,01	2263,107

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)

**ANEXO V – Custo médio mensal associado ao consumo de sulfato de alumínio (R\$) no período entre 1978 e 2015**

<b>Mês</b>	<b>Média Custo mensal (R\$)</b>
<b>Janeiro</b>	15506,84
<b>Fevereiro</b>	14405,26
<b>Março</b>	11742,84
<b>Abril</b>	9050,62
<b>Mai</b>	9726,25
<b>Junho</b>	8931,35
<b>Julho</b>	7644,74
<b>Agosto</b>	8265,25
<b>Setembro</b>	8590,18
<b>Outubro</b>	11034,95
<b>Novembro</b>	15196,43
<b>Dezembro</b>	16174,48

Fonte: SAAE Raul Soares (2015)



## APÊNDICE A – Fluxograma metodológico da geração dos dados de vegetação

