

# PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA LITORÂNEA



**PRODUTO 09: PROGRAMA DE  
INTERVENÇÕES NA BACIA**

---

**Revisão 0  
Dezembro 2017**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	2
LISTA DE QUADROS.....	3
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	4
1.INTRODUÇÃO.....	6
2.CRITÉRIOS PARA A ELABORAÇÃO DAS METAS.....	7
3.DEFINIÇÃO DAS METAS E AÇÕES .....	8
4.PLANO DE INVESTIMENTOS.....	9
4.1.Metodologia de Estimativa de Custos para Remoção de Carga .....	9
4.2.Investimentos Assegurados.....	14
5.PROGRAMA PARA A EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO.....	15
6.REFERÊNCIAS .....	16
ANEXO A.....	17

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1. Custo de Lagoa Facultativa + Maturação.....	10
Figura 4.2. Custo de Lagoa Anaeróbia + Facultativa .....	11
Figura 4.3. Custo de Reator Anaeróbio (RALF/ UASB).....	11
Figura 4.4. Custo de UASB + Filtro Biológico + Decantador .....	11
Figura 4.5. Custo de UASB + Filtro Biológico sem Decantador.....	12
Figura 4.6. Custo de UASB + Lodos Ativados.....	12
Figura 4.7. Custo de Lodos Ativados .....	13
Figura 4.8. Custo de Lodos Ativados + Coagulação + Filtração.....	13

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1– Critérios Propostos para o Programa para Efetivação do Enquadramento .....	7
Quadro 4.1 – Custo de emissários por extensão (km) .....	9
Quadro 4.2-- Resumo dos Tratamentos Propostos .....	13

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AEG – Área Estratégica de Gerenciamento

AGUASPARANÁ – Instituto das Águas do Paraná

ANA – Agência Nacional de Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APA – Área de Proteção Ambiental

COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica

IAC – Instituto Agrônomo de Campinas

IAP – Instituto Ambiental do Paraná

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITCG – Instituto de Terras Cartografia e Geociências do Paraná

PLERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos

RPPN – Reserva Particulares do Patrimônio Natural

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC – Unidades de Conservação

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente

SPD – Sistema de Plantio Direto

## APRESENTAÇÃO

O presente documento corresponde ao *Produto 09: Programa de Intervenções na Bacia*, que visa apresentar o Plano para Efetivação do Enquadramento, etapa integrante da elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica Litorânea, relativo ao Contrato celebrado entre o AGUASPARANÁ e a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE).

O Termo de Referência, parte integrante do contrato, estabelece os seguintes produtos a serem desenvolvidos:

- *Produto 00: Plano de Trabalho Revisado;*
- *Produto 01: Caracterização Geral;*
- *Produto 02: Disponibilidades Hídricas;*
- *Produto 03: Demandas Hídricas;*
- *Produto 04: Balanço Hídrico Superficial e Subterrâneo e Definição das UEGs;*
- *Produto 05: Diagnóstico do Uso e Ocupação do Solo;*
- *Produto 06: Eventos Críticos;*
- *Produto 07: Cenários;*
- *Produto 08: Proposta de Enquadramento;*
- *Produto 09: Programa de Intervenções na Bacia;*
- *Produto 10: Rede de Monitoramento;*
- *Produto 11: Prioridades para Outorga;*
- *Produto 12: Diretrizes Institucionais;*
- *Produto 13: Indicadores de Avaliação do Plano de Bacia;*
- *Produto 14: Análise da Transposição Capivari – Cachoeira;*
- *Produto 15: Cobrança pelo Direito de Uso;*
- *Produto 16: Programa de Intervenções;*
- *Relatório sobre a Consulta Pública;*
- *Relatório Final;*
- *Relatório Executivo.*

O *Programa de Intervenções na Bacia*, tem o intuito de apresentar as medidas a serem adotadas ao longo dos anos para que se possa reduzir a carga poluidora na BHL de forma a atender o enquadramento.

## 1. INTRODUÇÃO

O Relatório *P09: Programa de Intervenções na Bacia – Revisão 00* apresenta a metodologia a ser adotada no Programa para a Efetivação do Enquadramento da BHL, por meio do estabelecimento de metas e ações para o alcance do enquadramento pretendido no horizonte de planejamento da PBH Litorânea.

De acordo com a Resolução CNRH 91/2008 que dispõe sobre os procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, o programa para efetivação do enquadramento deve conter propostas de ações de gestão e seus prazos de execução, os planos de investimentos e os instrumentos de compromisso que o compreendam. Dessa forma, na elaboração desse produto a Consultora buscará atender aos itens previstos na legislação e de forma complementar, as considerações da CTINS.

Para fins de enquadramento, o valor da carga a ser reduzida (estimada na etapa de Prognóstico) pode ser trabalhado sobre uma única fonte de poluição ou mais de uma, desde que haja a redução de cargas. Uma vez que no presente Plano, trabalhou-se com o parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), a mesma será adotada para o controle do enquadramento. A partir da consolidação do Cenário a ser trabalhado e da vazão de referência a ser adotada, a metodologia descrita no presente Relatório será executada a fim de estabelecer o Programa para Efetivação do Enquadramento da BHL.

## 2. CRITÉRIOS PARA A ELABORAÇÃO DAS METAS

Após as etapas de diagnóstico e prognóstico foi possível observar as características da bacia que mais precisam de atenção no que se refere às cargas poluidoras geradas e assim elencar intervenções necessárias e cabíveis para a melhoria da qualidade da água de forma que o enquadramento proposto para a bacia seja coerente com os usos dos corpos hídricos.

A fim de auxiliar na definição das metas e prioridades das ações a serem desenvolvidas na BHL, foram selecionados alguns critérios para caracterizar os municípios e servir como ponto de partida para o Programa para Efetivação do Enquadramento.

No Quadro 2.1 são apresentados os critérios propostos para o estudo juntamente com a descrição dos mesmos e as fontes das informações obtidas.

### **Quadro** Erro! Nenhum texto com o estilo especificado foi encontrado no documento..1– **Critérios Propostos para o Programa para Efetivação do Enquadramento**

	<b>Critério</b>	<b>Descrição</b>
1	Possui corpos hídricos que precisam de redução de cargas no Cenário atual ou no Cenário de trabalho	Compreendem os municípios que necessitam de redução de carga de DBO de acordo com a modelagem matemática
2	Não possui IC ou IT;	Compreendem os municípios que não possui índice de coleta e/ou índice de tratamento de efluentes domésticos urbanos
3	Possui investimentos assegurados em esgotamento sanitário (recursos do PAC e/ou FUNASA)	Compreendem os municípios com investimentos identificados de acordo com as informações disponíveis no site do PAC para o tema de esgotamento sanitário e no site da FUNASA
4	Possui déficit entre o assegurado e o previsto no PMSB	Compreendem os municípios com investimento assegurado, porém com déficit de recursos em relação ao planejado no PMSB
5	Possui déficit entre o planejado e o estimado no presente relatório	Compreendem os municípios cujas estimativas de custos no presente relatório forem superiores em relação ao estimado no PMSB
6	Possui unidade de conservação de proteção integral	Compreendem municípios que possuem unidade de conservação de proteção integral em sua área de abrangência de acordo com <i>shapefile</i> do Ministério do Meio Ambiente
7	Possui área indígena	Compreendem municípios que possuem áreas indígenas em sua área de abrangência de acordo com <i>shapefile</i> da Fundação Nacional do Índio
8	Qual a prestadora de serviços de esgoto (SANEPAR, SAAE)	Identifica o atendimento do município quanto à prestadora de água e esgoto (SANEPAR, SAAE ou Prefeitura)
9	Possui indústria de grande porte	Compreendem os municípios que possuem indústrias com Cadastro de Outorgas no ÁGUASPARANÁ

**FONTE:** Elaborado pela Consultora

Através da associação entre esses critérios que o Programa para a Efetivação do Enquadramento será estabelecido. Os critérios 1, 2, 3, 4 e 5 receberão maior destaque na análise, pelo fato de admitir a associação direta entre os municípios que necessitem de intervenções para que se atinja a efetivação do enquadramento proposto e os municípios que possuem recursos assegurados para serviços de esgotamento sanitário.

### 3. DEFINIÇÃO DAS METAS E AÇÕES

A definição de metas é importante para a efetivação do enquadramento uma vez que são necessárias muitas ações de diferentes setores para que o mesmo seja viabilizado. Sendo assim, a elaboração das metas para o Programa de Efetivação da BHL será estabelecida de acordo com a articulação dos critérios definidos no item anterior. Para cada meta será definido um conjunto de ações para que a mesma seja alcançada, sendo que, ao longo da implementação das mesmas, essas ações podem ser ajustadas.

O horizonte do plano a ser trabalhado para que o enquadramento proposto no *Produto 08 Proposta de Enquadramento*, a ser aprovado, seja alcançado é o ano de 2035, conforme previsto pelo Termo de Referência. Esse horizonte pode ser dividido, em curto, médio e longo prazo, para que objetivos, metas, ações e enquadramentos sejam definidos para cada prazo e assim se consiga planejar etapa a etapa, com os possíveis ajustes a serem realizados.

As ações previstas podem ser divididas em estruturais e não estruturais, podendo-se de antemão listar:

- Obras de infraestrutura em coleta, transporte e tratamento de efluentes domésticos;
- Mobilização e otimização dos processos de tratamentos industriais, incluindo ações de reuso entre as próprias indústrias, ou entre as companhias de saneamento e as indústrias;
- Educação ambiental entre os usuários de água da bacia, incluindo ainda escolas e universidades;
- Reestruturação e atualização dos sistemas de emissão de outorgas e de licenciamento ambiental;
- Operacionalização do Fundo Estadual de Recursos Hídricos;
- Programa de Resíduos Sólidos Urbanos;
- Monitoramento das ações do Programa para Efetivação do Enquadramento.

Cabe destacar que essas são ações preliminares propostas pela Consultora e que novas ações poderão ser incluídas após a consolidação do Cenário e vazão de referência a serem adotados, bem como ações que a CTINS e Comitê de Bacia acharem conveniente incluir.

#### 4. PLANO DE INVESTIMENTOS

O plano de investimentos será elaborado com base na estimativa de custos para remoção de carga na BHL e nos investimentos em saneamento previstos para os municípios da bacia. Com base dessas informações será possível estimar como esses investimentos serão realizados de acordo as metas intermediárias a serem definidas, o *déficit* existente e as possíveis fontes de investimento para alcance das ações planejadas.

##### 4.1. Metodologia de Estimativa de Custos para Remoção de Carga

Nesse item serão propostas medidas para estimativa de custos de remoção de cargas oriundas do efluente doméstico. Caso alguns trechos com lançamentos industriais apresentem problemas no Cenário Atual ou no Cenário a ser trabalho, sugere-se que os gestores da bacia procurem juntamente com os representantes desses empreendimentos, estabelecer melhorias nos tratamentos desses efluentes, a fim de envolver todos os usuários na busca pela melhoria da qualidade da água na bacia.

Para os municípios que apresentarem a necessidade de redução de carga de efluente doméstico será realizada a proposição de soluções para os Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) através de duas abordagens principais: (i) identificação/verificação do planejamento existente do SES; e, (ii) proposição de alternativas para adequação do SES.

Do ponto de vista da primeira abordagem, que envolve a apreciação do planejamento existente, o primeiro passo será a identificação de obras já programadas e em andamento, projetos e estudos de novos sistemas ou ampliações de sistemas existentes, a partir da consulta à Sanepar, Companhias Municipais, pesquisa aos Planos Municipais de Saneamento Básico e pesquisa em sites de órgãos que poderiam dispor de informações sobre sistemas de esgotamento sanitário, como o Ministério das Cidades e a FUNASA.

A metodologia de estimativa de custo a ser adotada será a mesma proposta no Atlas Esgotos (ANA, 2017). O detalhamento da metodologia está apresentado no *Anexo A*.

O custo médio per capita para coleta e transporte do efluente doméstico a ser adota será de R\$ 1.210,00/ hab.

Caso haja a necessidade de implantação de emissários, os custos podem ser estimados, considerando as extensões de 6, 10, 15 e 21 km. Para que seja possível a implantação de emissários destes comprimentos foram considerados sistemas com Estações Elevatórias, linhas de recalque e interceptores, seguindo a configuração do Quadro 4.1. O custo final do emissário é a soma dos custos da Elevatória, Linha de recalque e Interceptor.

**Quadro 4.1 – Custo de emissários por extensão (km)**

Extensão (km)	Estação Elevatória	Linha de Recalque	Interceptor
6	100%	40%	60%
10	100%	50%	50%
15	100%	50%	50%
21	100%	50%	50%

**FONTE:** Elaborado pela Consultora

A equação para determinar os custos das Estações Elevatórias de Esgoto foi para alturas manométricas de 15 a 30 metros de coluna da água - mca, sendo a vazão (em L/s) adotada como a variável “x” e “y” o valor expresso em R\$ da equação:

$$y = 241.903 \ln (x) - 66.354$$

A equação para determinar os custos das Linhas de Recalque foi para o material em PEAD (polietileno de alta densidade). A entrada da equação é dada em função de “x” que é o diâmetro nominal – DN (em mm) e “y” o valor expresso em R\$/m da equação:

$$y = 152,37 \ln (x) - 435,48$$

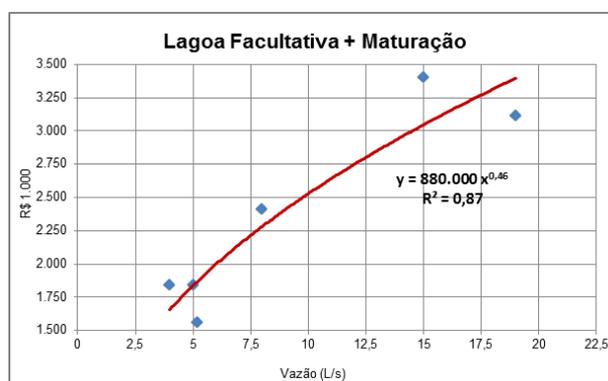
A equação para determinar os custos dos Interceptores foi para DN de 400 a 800 mm em Concreto Armado (CA). A entrada da equação é dada em função de “x” que é o diâmetro nominal – DN (em mm) e “y” o valor expresso em R\$/m da equação:

$$y = 0,0018 x^{2,1118}$$

A seguir estão apresentados as curvas de custos a serem adotadas para estações de tratamento de esgoto – ETEs, por processo de tratamento. Nos eixos das ordenadas (y) está representado o custo da ETE (R\$ 1.000) e nos eixos das abscissas (x) representada a vazão média da ETE em L/s, conforme é apresentado nas figuras a seguir.

Para determinar a curva de custos das Lagoas Facultativas + Maturação (ver figura 4.1) foram utilizados os custos atualizados de projetos destes tipos de lagoas. Ressalta-se que o uso desta curva está restrito para pequenas vazões (população de até 10 mil habitantes).

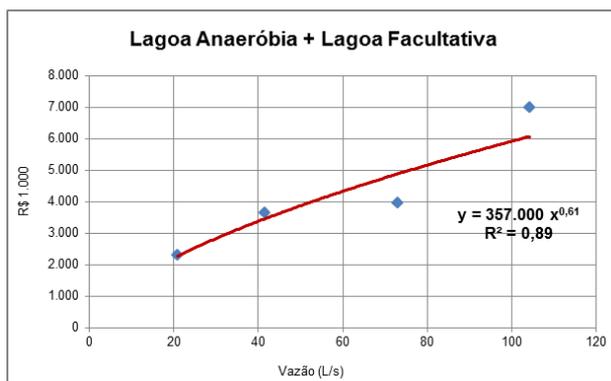
**Figura 4.1. Custo de Lagoa Facultativa + Maturação**



**FONTE:** Elaborado pela Consultora

Para determinar a curva de custos das Lagoas Anaeróbias mais Facultativas foram utilizados custos atualizados de curvas e per capita existentes (Curvas Atlas Regiões Metropolitanas e Nunes *et al*, 2005) destes processos de tratamentos (Figura 4.2). O custo *per capita* deste tratamento ficou em R\$ 166/ hab.

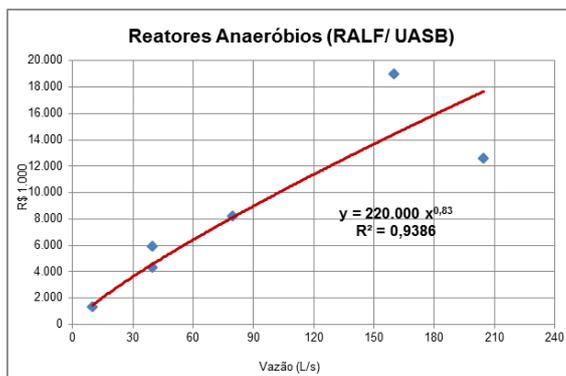
**Figura 4.2. Custo de Lagoa Anaeróbia + Facultativa**



**FONTE:** Elaborado pela Consultora

Para obter os custos apenas dos Reatores Anaeróbios do tipo RALF e UASB, foram considerados os custos de RALFs com filtros anaeróbios e UASBs com filtros biológicos e com decantadores. Depois, os custos dos filtros e decantadores foram subtraídos para resultar na seguinte curva (*Figura 4.3*).

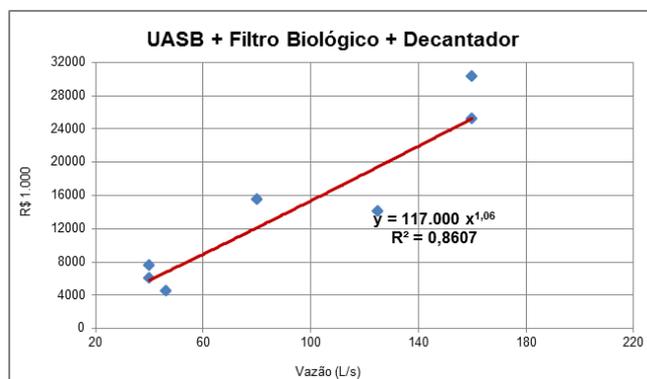
**Figura 4.3. Custo de Reator Anaeróbio (RALF/ UASB)**



**FONTE:** Elaborado pela Consultora

Os custos de RALF/ UASB com filtro biológico seguidos de decantadores secundários foram determinados através de custos atualizados deste tipo de processo, o resultado pode ser observado conforme a *Figura 4.4*.

**Figura 4.4. Custo de UASB + Filtro Biológico + Decantador**

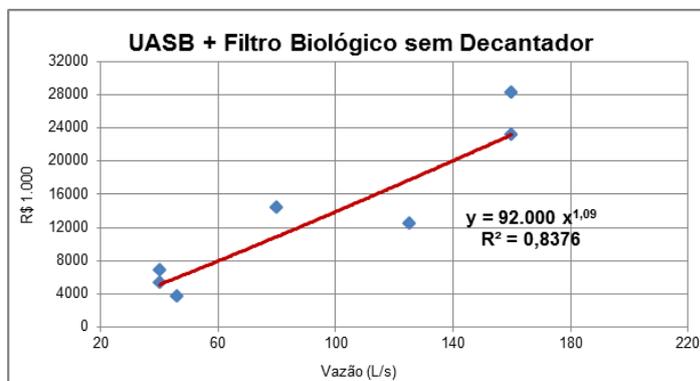


**FONTE:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os RALFs/UASBs com filtros biológicos seguidos de decantadores secundários é de R\$ 308/ hab.

Para se determinar os custos de RALF/UASB com filtro biológico, sem os decantadores secundários, foram subtraídos os custos dos decantadores da equação anterior. O resultado pode ser observado conforme a *Figura 4.5*.

**Figura 4.5. Custo de UASB + Filtro Biológico sem Decantador**

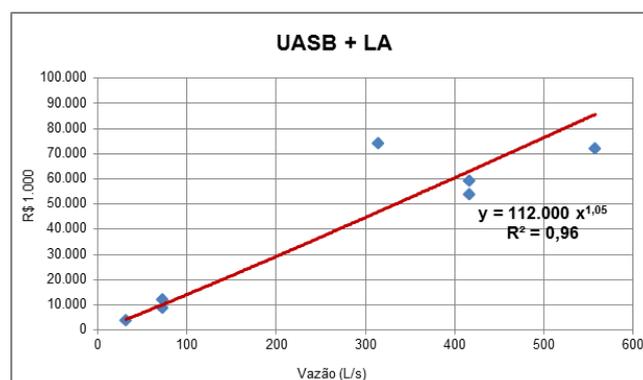


**FONTE:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os RALFs/ UASBs com filtros biológicos sem os decantadores secundários é de R\$ 288/ hab.

Os custos de UASB mais lodos ativados foram determinados através de custos de projetos deste tipo de processo e custos per capita (Nunes *et al*, 2005), ambos atualizados. O resultado da curva pode ser observado conforme a *Figura 4.6*.

**Figura 4.6. Custo de UASB + Lodos Ativados**

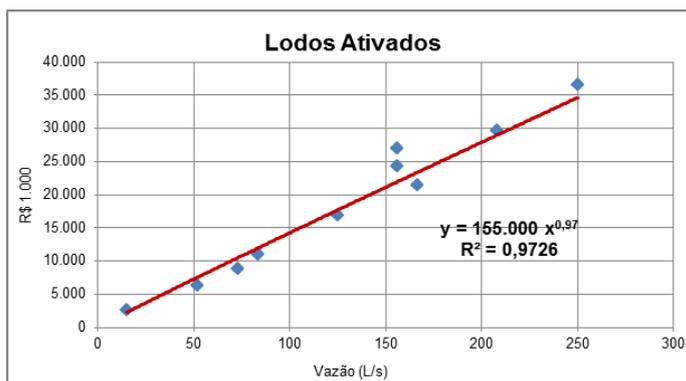


**FONTE:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os UASB mais lodos ativados é de R\$ 294/ hab.

Para determinar a curva de custos das ETEs do tipo Lodos Ativados foram utilizados custos atualizados de curvas e *per capita* existentes (Curvas Atlas Regiões Metropolitanas e Nunes *et al*, 2005) destes processos de tratamentos (*Figura 4.7*).

**Figura 4.7. Custo de Lodos Ativados**

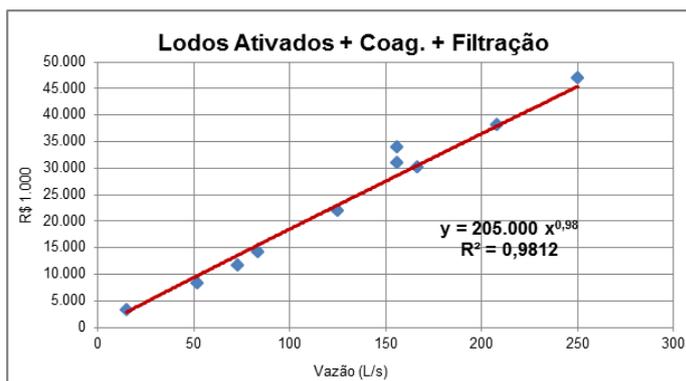


**FONTE:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação deste tratamento ficou em R\$ 296/ hab.

A partir dos custos da *Figura 4.7* foram determinados os custos de lodos ativados com coagulação (Fe) mais filtração. Para isto, foi acrescido 10% dos custos da ETE Lodos ativados, além da adição da equação do tratamento terciário ( $y = 27.000 x$ ), resultando nos custos apresentados na *Figura 4.8*.

**Figura 4.8. Custo de Lodos Ativados + Coagulação + Filtração**



**FONTE:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação da ETE de lodos ativados com coagulação (Fe) mais filtração ficou em R\$ 385/ hab.

O Quadro 4.2 apresenta um resumo dos tratamentos propostos, juntamente com as eficiências e custos médios

**Quadro 4.2-- Resumo dos Tratamentos Propostos**

TRATAMENTO	Eficiência Média - DBO (%)	Eficiência Média - P (%)	Custo Médio <i>per capita</i> (R\$/hab.)
Lagoa facultativa + Lagoa de maturação	80	40	166
Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	75	40	166
Reator anaeróbio	65	30	229
UASB + Filtro biológico + Decantador	78	40	308
UASB + Filtro biológico sem decantador	77	35	288
UASB + Lodos ativados	85	50	294

TRATAMENTO	Eficiência Média - DBO (%)	Eficiência Média - P (%)	Custo Médio <i>per capita</i> (R\$/hab.)
Lodos ativados	85	30	296
Lodos ativados + Coagulação + Filtração	90	50	385

**FONTE:** Elaborado pela Consultora

#### 4.2. Investimentos Assegurados

Será realizada uma pesquisa no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo federal para levantar quais municípios da Bacia Litorânea possuem investimentos previstos na área de infraestrutura de saneamento. O mesmo será realizado junto aos projetos previstos pela Fundação Nacional da Saúde (FUNASA).

## **5. PROGRAMA PARA A EFETIVAÇÃO DO ENQUADRAMENTO**

A consolidação da metodologia apresentada nos capítulos anteriores constituirá o Programa para Efetivação do Enquadramento.

## 6. REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional da Água. **Tomo III Prognóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba**. In: *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba*. Colaboradora: Cobrape – Cia. Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Brasília. DF, 2013.

ANA. Agência Nacional da Água. **Atlas Esgotos**. Colaboradora: Cobrape – Cia. Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Brasília. DF, 2017.

FUNAI – Fundação Nacional do Índio. **Terras indígenas**. *Shapefile* disponível em <<http://www.funai.gov.br/index.php/2013-11-06-16-22-33>>. Último acesso em dezembro de 2017.

MMA – Ministério de Meio Ambiente. **Dados Georreferenciados**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs/dados-georreferenciados>> . Último acesso em dezembro de 2017..

## ANEXO A

### METODOLOGIA DE ESTIMATIVA DE CUSTO PARA SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

#### 1.A. INTRODUÇÃO

Este anexo apresenta o texto da metodologia utilizada no Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Esgotos Urbanos desenvolvida para a Agência Nacional de Águas na íntegra, com o intuito de dar um maior embasamento teórico nas alternativas propostas.

## **2.A. PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES PARA SES**

A proposição de soluções para os sistemas de esgotamento sanitário (SES) no âmbito do Atlas de Despoluição de Bacias Hidrográficas passou por duas abordagens principais: (i) identificação/verificação do planejamento existente do SES; e, (ii) proposição de alternativas para adequação do SES.

Do ponto de vista da primeira abordagem, que envolve a apreciação do planejamento existente, o primeiro passo foi a identificação de obras já programadas e em andamento, projetos e estudos de novos sistemas ou ampliações de sistemas existentes, a partir da consulta às Concessionárias Estaduais, Sistemas Autônomos, Empresas Privadas e Prefeituras Municipais, além dos órgãos federais e estaduais que poderiam dispor de informações sobre sistemas de esgotamento sanitário, como o Ministério das Cidades e as superintendências estaduais da FUNASA.

Para a apreciação do planejamento existente, de forma a assegurar uma análise sistêmica dos dados e aspectos envolvidos na identificação da necessidade de alternativas técnicas, foi utilizado um modelo de qualidade da água para realizar um diagnóstico dos sistemas de esgotamento sanitário e da capacidade de assimilação dos respectivos efluentes desses SES pelos corpos receptores.

Nessa ação foi dada atenção especial à adequação dos processos de tratamento de efluentes existentes ao atendimento dos padrões de lançamento previstos na legislação atual e critérios de lançamento preconizados pela entidade competente, bem como em compatibilidade às exigências necessárias ao enquadramento à classe do corpo receptor. Foi considerado, como mínimo a ser atendido na definição das alternativas técnicas, as metas de coleta e tratamento de esgotos previstas no Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB e os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores preconizados pela resolução CONAMA 430/2011 ou legislações estaduais, quando houver.

De modo a contribuir com a análise preliminar dos municípios que necessitariam da proposição de alternativas técnicas, foi estabelecida uma classificação de todos os municípios brasileiros em tipologias de recursos hídricos, definidas a partir da localização geográfica do município cujas características regionais indicam a disponibilidade ou não de condições favoráveis à diluição do esgoto gerado no município.

### **2.a.1 Alternativas Técnicas**

As alternativas técnicas foram definidas a partir da avaliação das principais características dos municípios, dos corpos receptores próximos da sede urbana e dos sistemas de esgotamento sanitário atuais, onde as propriedades dos efluentes estão diretamente ligadas à disponibilidade hídrica dos corpos receptores e presença de reservatórios ou mananciais.

As principais características que têm influência sobre a concepção do sistema de tratamento e lançamento do esgoto sanitário são:

- Disponibilidade hídrica do corpo receptor

A disponibilidade hídrica foi considerada como sendo o Q95 e no caso da existência de reservatório, a disponibilidade hídrica consiste da vazão defluente do reservatório acrescida do incremental do Q95 à jusante do reservatório. A vazão disponível para diluição é uma questão importante no momento da avaliação da alternativa técnica, pois determina o grau de tratamento a ser necessário.

- Corpos receptores com baixa capacidade de diluição

Quando a capacidade de diluição do esgoto tratado é muito baixa, as condições para o lançamento tornam-se bastante restritivas. Mesmo quando se avalia apenas em termos da remoção de matéria orgânica biodegradável, expressa em termos da DBO, pode ocorrer demanda por processos biológicos mais eficientes em relação a este quesito, levando à opção de tratamento mais oneroso e complexo operacionalmente. Em casos mais extremos, pode também exigir a remoção de sólidos, através de processos de filtração ou flotação, do efluente dos processos biológicos, assistida quimicamente ou não, dificultando ainda mais a operação do sistema. Como alternativa, pode ser avaliada a existência de outros corpos receptores mais distantes da sede urbana, mesmo que a solução possa exigir a construção de emissários mais longos. Em uma última análise, pode-se avaliar a necessidade de propor um enquadramento do corpo receptor mais flexível.

Outra questão importante relacionada a capacidade de diluição dos corpos receptores é a existência de rios intermitentes, em que o lançamento de efluentes nos mesmos pode não estar de acordo com as legislações vigente.

- Existência de reservatório a jusante

Nos casos de existência de reservatório a jusante, ocorre a necessidade de remoção complementar de fósforo, demandando tratamento físico-químico adicional ao biológico, ou ainda, flotação com ar dissolvido. Com isso, para obtenção de níveis elevados de restrição para o lançamento de fósforo, um dos recursos a ser utilizado é a coagulação seguida da floculação química, com posterior separação de sólidos em decantadores, flotores ou filtros. Além da complexidade operacional, este tipo de tratamento final resulta em custo operacional elevado devido ao alto consumo de coagulante e grande produção de lodo químico. A outra alternativa refere-se à utilização da flotação com ar dissolvido, que atualmente é a mais usada, por conta de sua viabilidade em função da menor complexidade operacional.

- Existência de manancial a jusante

Dentre as principais preocupações a respeito do lançamento do esgoto tratado em mananciais se relaciona com a presença de nitrato. Este íon tóxico é resultante da oxidação biológica da amônia e traz grave problema ao abastecimento público de água, razão pela qual sua concentração é limitada por padrão de potabilidade. Portanto, quando é previsto que não há capacidade de diluição suficiente no corpo receptor, a desnitrificação, redução biológica do nitrato a nitrogênio gasoso, é necessária. Essa necessidade torna o tratamento do esgoto mais complexo operacionalmente, inviabilizando o emprego de tecnologias mais simples.

A avaliação dos SES, a partir da aplicação do modelo de qualidade da água, é realizada a partir da consideração de sua eficiência na remoção de DBO, fósforo e nitrogênio. Por conta disso, foi necessária a definição de um conjunto de alternativas técnicas que variassem sua eficiência desde 60% (equivalente ao lançamento de 120 mg/L de DBO) até 97% (equivalente ao lançamento de 10 mg/L de DBO), passando por alternativas que envolvessem o tratamento terciário, necessários para remoção de fósforo e/ou nitrogênio no sistema.

Algumas premissas gerais foram adotadas durante a definição das alternativas técnicas que seriam consideradas pelo estudo, as quais são pontuadas a seguir:

- (i) Em relação ao pré-tratamento, foi estabelecido o tratamento preliminar mecanizado nos sistemas de maior porte e com tratamento biológico de alto grau de mecanização e o tratamento preliminar manual nos sistemas de pequeno porte e baixo grau de mecanização.
- (ii) A Remoção de Nitrogênio, quando necessária, poderá ser feita pelo processo de lodo ativado de fluxo contínuo, ou batelada, com nitrificação e desnitrificação. Nessa opção, o tratamento anaeróbio não poderá ser utilizado como unidade inicial de tratamento, em função da necessidade de carbono rapidamente biodegradável para desnitrificação.
- (iii) A Remoção de Fósforo, quando necessária, poderá ser feita por processo físico-químico, através da adição de coagulantes, sais de alumínio (sulfato de alumínio) ou ferro (cloreto férrico), e processos para remoção dos flocos formados, tais como, sedimentação, flotação ou filtração. Alternativamente, poderá ser considerada a remoção biológica de fósforo conjuntamente com ou sem polimento final através do físico-químico. Nessa opção, o tratamento anaeróbio não poderá ser utilizado como unidade inicial de tratamento, em função da necessidade de carbono rapidamente biodegradável.
- (iv) Foi considerada a necessidade de aplicação de produtos químicos (coagulação) seguida de remoção de sólidos (filtração/flotação) aplicado ao efluente de lodos ativados, nos casos em que se deseja efluentes com DBO igual ou menor que 10 mg/L.
- (v) A desinfecção é considerada principalmente quando a solução para os efluentes sanitários for a disposição no mar com objetivo de atender aos padrões de balneabilidade. A desinfecção poderá ser feita através da cloração ou por radiação Ultravioleta, sempre considerando as condições do efluente previamente tratado. No caso de rios com baixa capacidade de diluição, como os situados na região do Semiárido, a remoção de microrganismos patogênicos poderá ser atingida através de lagoas de maturação, utilizadas como etapa final do processo de tratamento.

Ainda sobre a desinfecção, abordada no item anterior, é desejável em qualquer situação de lançamento, mas a sua aplicação deve ser planejada adequadamente para que seja garantida uma eficiência elevada na inativação de patógenos, sem a formação de subprodutos indesejáveis. Inicialmente, deve ser considerado que a desinfecção não leva à esterilização do esgoto e que as resistências dos diversos grupos de microrganismos aos diversos agentes desinfetantes são diferentes. Cistos de protozoários e ovos de helmintos são resistentes à ação do cloro e à radiação

ultravioleta, podendo ser apenas separados do esgoto e não inativados. Nos sistemas de lagoas de estabilização, dada a baixa velocidade do escoamento, estes organismos são 100% separados por sedimentação. Nas estações de água para abastecimento e nas estações de tratamento de esgoto por outros processos que não pelo emprego de lagoas, há a necessidade de filtração do efluente final para a remoção destes grupos de patógenos para obtenção de eficiência elevada. Sob esta ótica, no caso do semiárido, o emprego de sistemas de lagoas é primordial. Quanto maior o tempo de detenção do esgoto no sistema, aumenta também o decaimento de coliformes termotolerantes, propiciando condições inclusive para o lançamento em águas classe 2 em situação de baixa capacidade de diluição.

No caso dos demais processos de tratamento de esgoto que não as lagoas de estabilização, a cloração é o processo mais usado e tem contra si sua própria ação residual tóxica, além da possibilidade de formação de subprodutos tóxicos. Inclusive, em determinadas situações, pode até ser considerado mais conveniente prescindir da desinfecção do esgoto na ETE para aplicação na fase da ETA, onde a água se encontra mais limpa e, portanto, menos propensa às reações paralelas de formação de trihalometanos e ácidos haloacéticos. Por esta razão e também pela competitividade econômica, os processos à base de aplicação de radiação ultravioleta por meio de lâmpadas artificiais são alternativos, porém, de uso ainda restrito em nosso país. No caso das regiões costeiras, onde há possibilidade de disposição oceânica, a cloração tem sido o recurso mais utilizado. Além do vasto conhecimento de sua aplicação, neste caso o objetivo é garantir a balneabilidade, pois não há uso da água salgada para abastecimento público.

Com a definição das premissas e a avaliação dos tipos de tratamento das ETEs identificadas durante o desenvolvimento do Atlas, foi estabelecido um conjunto de alternativas técnicas que serão utilizadas como referência para o estabelecimento das soluções de tratamento para os municípios que não possuem planejamento.

O *Quadro 2.1* apresenta a relação de alternativas técnicas definida, levando-se em consideração a eficiência na remoção de DBO.

**Quadro 2.1. Eficiências de remoção de DBO das alternativas técnicas**

Remoção de DBO (%)	Opções de Tratamento
60	Fossa Séptica + Filtro
	Primário + Químico
	Reator Anaeróbio
	Lagoa Facultativa
80	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador (sem Decantador)
	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa
	Reator Anaeróbio + Lagoa Facultativa
	Lagoa Aerada
90	Reator Anaeróbio + Lodo ativado
	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantador

Remoção de DBO (%)	Opções de Tratamento
	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação + Flotação com polímero
91	Lodo ativado convencional
93	Reator Anaeróbio + Lodo Ativado de Aeração Prolongada
	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Decantador
	Lodo Ativado em Bateladas + Hipoclorito de Sódio
95	Reator anaeróbio + Lodo ativado de aeração prolongada + Químico
97	Reator Anaeróbio + Filtro Biológico Percolador + Filtro Rápido de Gravidade
	Lodo Ativado com Membrana
	Reator Anaeróbio + Lodo Ativado com Aeração Prolongada + Filtro Rápido por Gravidade

**Fonte:** Elaborado pela Consultora

Como se pode notar no *Quadro 2.1* foram selecionadas alternativas técnicas para remoção de DBO de acordo com o nível de remoção requerido utilizando processos biológicos e/ou alternativas mais complexas envolvendo os processos físico-químicos. Processos adicionais deverão ser considerados quando houver a necessidade de remoção de nutrientes e microrganismos, conforme premissas já apresentados neste item. Com isso, é possível selecionar uma das alternativas que atenda aos requisitos de qualidade do corpo receptor.

### 2.a.2 Estimativas dos Custos de Implantação para SES

No Brasil, ainda há uma carência de informações, no que diz respeito os custos de implantação de sistemas de esgotamento sanitário. Isto não significa que eles não existam, como atestam Brudeki e Aisse (2007); ANA (2008), Lucca, Samways e Aisse (2011), Salazar e Von Sperling (2011), incluindo os custos de tratamento.

Portanto, no Brasil não é comum a divulgação de informações de custos de obras de saneamento e menos ainda, a compilação destes dados para que representem os valores financeiros realizados (COBRAPE-ENGECORPS-GEOAMBIENTE, 2009). É necessário reunir uma base de dados sólida e suficiente para elaborar estimativas de custo para implantação de Sistemas de Esgotamento Sanitário, no contexto de planejamento de soluções integradas, visando soluções viáveis e sustentáveis.

O objetivo desta atividade foi apresentar um método para a estimativa dos custos de implantação para a coleta, o transporte e o tratamento de esgoto, fornecendo subsídio às tomadas de decisões e no auxílio de planejamento.

Sabe-se que os custos de operação (incluindo mão-de-obra, energia, insumos e manutenção) podem fazer diferença na escolha de alternativas de transporte e de tratamento. Entretanto, entende-se que para obter estes custos seria necessário desenvolver diversos estudos econômicos, um para cada município, fazendo o seus respectivos pré-dimensionamentos das unidades para determinar os custos de operação para um determinado período (normalmente para 20 anos), trazendo os custos para o valor presente.

### 2.a.2.1 Redes Coletoras de Esgoto

Na obtenção dos custos de implantação da rede coletora de esgoto foram realizados orçamentos, considerando algumas condições que podem ser encontradas in loco, fato que possibilitou desenvolver uma matriz de orçamentos, de acordo em que os parâmetros são alterados. Para este estudo foram considerados uma rede coletora com solo favorável com urbanização (presença de calçadas e asfaltos para recomposição e interferências na implantação da rede).

Os dados de entrada para os custos das redes coletores de esgoto foram (a) área da sub-bacia, (b) população de saturação da sub-bacia e (c) nível de declividade do terreno.

Para as redes coletoras de esgoto foram considerados o tubo de PVC. Desta forma, este estudo considerou apenas o (ii) diâmetro do tubo que será determinado através do número de habitantes (dado de entrada), da área a ser esgotada, utilizando-se o *Quadro 2.2* (COBRAPE-ENGECORPS-GEOAMBIENTE, 2009). Considerando os dados de projetos existentes, foi realizada uma distribuição dos diâmetros pela capacidade de escoamento por gravidade, obedecendo ao limite de vazão da tubulação descrita para a inclinação de  $i = 0,04\%$ .

**Quadro 2.2. Distribuição da composição dos diâmetros da rede de transporte de esgotos por faixas de população de saturação**

População (hab)	Diâmetros Nominais (mm)						
	150	200	250	350	500	800	1000
1 - 5.000	100%						
5.001 - 10.000	80,00%	20,00%					
10.001 - 20.000	72,73%	18,18%	9,09%				
20.001 - 50.000	69,57%	17,39%	8,70%	4,35%			
50.001 - 100.000	68,09%	17,02%	8,51%	4,26%	2,13%		
100.001 - 200.000	67,37%	16,84%	8,42%	4,21%	2,11%	1,05%	
200.001 - 500.000	67,02%	16,75%	8,38%	4,19%	2,09%	1,05%	0,52%

Fonte Agência Nacional de Águas - ANA (2008).

Quanto à profundidade, foi necessário classificar as redes em relação ao tipo de escoramento. As profundidades dos tubos estão diretamente correlacionadas com a declividade do terreno. O *Quadro 2.3* apresenta os tipos de escoramentos comuns utilizados como parâmetro de projeto e obra, com suas respectivas faixas de profundidade.

**Quadro 2.3. Tipo de escoramento por profundidade de escavação**

Profundidade (m)	Tipo de Escoramento
Até 1,50	Sem escoramento
1,50 – 1,70	Pontalete
1,70 – 2,30	Descontínuo
2,30 – 3,00	Contínuo
3,00 – 4,00	Especial
4,00 – 10,00	Metálico e Madeira

Fonte: Agência Nacional de Águas - ANA (2008)

Para determinar as profundidades, foram atribuídos percentuais de escoramento. Neste caso foram utilizadas como estudo de caso as informações contidas nas planilhas de dimensionamento das redes coletoras, sendo 70 sub-bacias do Projeto de SES Porto Velho (HAGAPLAN-COBRAPE, 2008). Estas informações foram organizadas, classificadas e parametrizadas (de acordo com os parâmetros da Tabela 2), conforme apresentado no *Quadro 2.4*.

**Quadro 2.4. Distribuição da composição do tipo de escoramento por nível de declividade terreno**

Nível de declividade	Sem Escoramento	Pontaletes	Descontínuo	Contínuo	Especial	Metálico e Madeira
1	81%	5%	11%	3%		
2	66%	8%	16%	9%	1%	0%
3	57%	7%	16%	14%	5%	1%
4	48%	6%	15%	15%	11%	5%
5	23%	3%	18%	21%	20%	15%

**Fonte:** Elaborado pela Consultora

Neste estudo foram utilizados os índices do nível de terrenos 3, em destaque no quadro anterior. Os cálculos das porcentagens por nível de terreno foram considerados e adotados os seguintes parâmetros:

- Porcentagens das extensões nas faixas de escoramentos para cada sub-bacia de acordo com o *Quadro 2.4*;
- Pesos para cada faixa de escoramento, proporcionais aos custos de implantação (preço SABESP) da respectiva faixa de escoramento;
- Classificação das sub-bacias por ordem crescente em relação à soma dos pesos;
- Foram adotados cinco níveis para classificação crescente das sub-bacias da média aritmética dos escoramentos sendo, de 0 a 10% para o nível 1, de 10 a 30% para o nível 2, de 30 a 60% para o nível 3, de 60 a 90% para o nível 4 e de 90 a 100% para o nível 5;

O grau de urbanização também é um fator que pode ter influência direta nos custos das redes, ou seja, quanto mais urbanizada é área de implantação (ou sub-bacia), maior é a chance de encontrar interferências, tais como: redes de distribuição de água, redes de drenagem, redes elétrica e telefônica e travessias (de córregos, rodovias e ferrovias) entre outros casos particulares, além dos custos adicionais de recomposição de calçadas e asfalto.

Outro fator determinante é o tipo do solo onde as redes serão implantadas. Para diferentes tipos de solo existem diferentes tecnologias de execução que possuem influência direta nos custos. O resultado para as redes coletoras foram apresentados em R\$/m, em quatro matrizes para cada situação de área de implantação, conforme comentado.

### 2.a.2.2 Coletores e Interceptores

Para a obtenção das equações para os custos de coletores e interceptores foram utilizados 55 orçamentos de projetos, atualizados através do Índice Nacional da Construção Civil - INCC da Fundação Getúlio Vargas – FGV. Destes orçamentos 5 são do Estado de Espírito Santo, 9 do Paraná, 10 de Rondônia e 31 de São Paulo. Foram classificados por diâmetro, material e o resultado final para os custos dos coletores e interceptores apresentados em R\$/m.

### 2.a.2.3 Estação Elevatórias de Esgoto

Inicialmente foram realizadas atualizações de 105 orçamentos de elevatórias de esgoto através do Índice Nacional da Construção Civil - INCC da Fundação Getúlio Vargas – FGV. Os orçamentos são 11 do Estado do Espírito Santo, 8 do Maranhão, 15 do Paraná, 23 de Rondônia e 48 de São Paulo.

Na obtenção dos custos de elevatórias de esgoto foi comum observar diferentes custos para mesma vazão de recalque, por influência dos seguintes fatores:

- Altura manométrica da linha de recalque;
- Tipo do conjunto bomba utilizado (submersível (96%), autoescorvante (2%), deslocamento positivo (2%); e
- Padrão construtivo da estrutura civil da EEE (profundidade do poço, tanque de acúmulo, guindaste, entrada, gerador de energia etc.).

Como a maioria das EEE apresentadas (96%) eram do tipo submersível, para este estudo, propõe-se a seguinte classificação, de acordo com o *Quadro 2.5* que é baseada apenas nas diferentes alturas manométricas.

#### Quadro 2.5. Classificação das alturas manométricas para conjuntos moto bombas das EEEs

Altura Manométrica	Classificação
Até 15 m.c.a.	Baixa
De 15 a 30 m.c.a.	Média Baixa
De 30 a 45 m.c.a.	Média Alta
Maior que 45 m.c.a.	Alta

Fonte: Elaborado pela Consultora

Então, os dados de entrada visando determinar o custo de implantação da EEE são: vazão (L/s) e altura manométrica (m.c.a). Neste estudo foram considerados conjuntos bombas de 15 a 30 m.c.a. (média baixa).

### 2.a.2.4 Linhas de Recalque (Emissários)

Inicialmente foram realizadas atualizações dos custos das linhas de recalque através do Índice Nacional da Construção Civil - INCC da Fundação Getúlio Vargas – FGV. Foram utilizados 137 orçamentos, sendo 11 do Estado do Espírito Santo, 37 do Maranhão, 12 do Paraná, 24 de Rondônia e 43 de São Paulo.

Após a atualização dos custos das linhas de recalque, foi necessário classificá-las de acordo com os materiais, pois, percebeu-se uma grande dispersão dos valores dos materiais (PEAD, PVC, PVC DeFoFo, FoFo, FD, PRFV e RPVC) para o mesmo diâmetro nominal.

O dado de entrada da equação para se determinar os custos das linhas de recalque é o DN. Desta forma, a equação obtida pelo gráfico do tipo custo por vazão foi expressa em função DN e apresenta o resultado em R\$/m.

### **2.a.2.5 Tratamento de Esgoto**

A metodologia para os custos de tratamento das ETEs consistiu, primeiramente, na classificação dos tipos de processos, conforme descrito adiante. Posteriormente, os custos das ETEs foram atualizados e também classificados por vazão.

Em geral, os custos de tratamento de esgoto são fornecidos por gráfico do tipo custo por vazão – que tem relação direta com a população, determinado pelo consumo per capita de água, taxa de retorno e coeficientes ( $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$ ).

Desta forma, as estações de tratamento de esgoto foram analisadas observando a capacidade nominal de projeto e não para o atendimento inicial de plano da população, pois, no início de plano, geralmente as estações se encontram parcialmente ociosas – o que resultaria num custo específico maior para o tratamento.

Os processos de tratamento mais encontrados, na base de dados, foram classificados, como proposição, da seguinte forma:

- (i) Lagoa Facultativa + Maturação;
- (ii) Lagoa Anaeróbia + Facultativa;
- (iii) Reatores Anaeróbios do tipo RALF ou UASB;
- (iv) Reatores Anaeróbios do tipo UASB com filtro biológico e decantadores;
- (v) Reatores Anaeróbios do tipo UASB com lodos ativados; e,
- (vi) Reatores Aeróbios – Lodos Ativados (lodos ativados convencional, lodos ativados por aeração prolongada e lodos ativados de fluxo intermitente).

Então, foram desenvolvidas oito equações de base para se determinar os custos de cada processo e variações. O dado de entrada para as ETEs é a vazão (L/s).

Apesar dos custos das ETEs dependerem diretamente da tecnologia aplicada, quem dita a regra de qual a melhor tecnologia é o corpo receptor. É ele quem demanda uma determinada eficiência de remoção de carga orgânica, de acordo com as suas características, observando as diretrizes da resolução CONAMA 357/05.

Desta forma, sem um estudo aprofundado, recomenda-se cautela na escolha do sistema de tratamento mais adequado, com outros subsídios de escolha além do custo de implantação, inclusive considerando os custos de operação e custos para compra do terreno – não apresentados neste estudo.

## 2.A Resultados

- **Rede Coletora de Esgoto**

Os resultados dos custos das redes coletoras de esgoto, por diâmetro, de acordo com o nível do terreno (1 a 5), podem ser observados no *Quadro 2.6*.

**Quadro 2.6. Custo da RCE (R\$/m) para solo favorável e alta urbanização**

Nível	DN 150 mm (R\$/m)	DN 200 mm (R\$/m)	DN 250 mm (R\$/m)	DN 300 mm (R\$/m)	DN 350 mm (R\$/m)
3	211,83	238,77	282,74	336,73	379,14

Fonte: Elaborado pela Consultora

Estes custos apresentam um solo favorável, mas com certa urbanização, interferências e recomposição de pavimento maior.

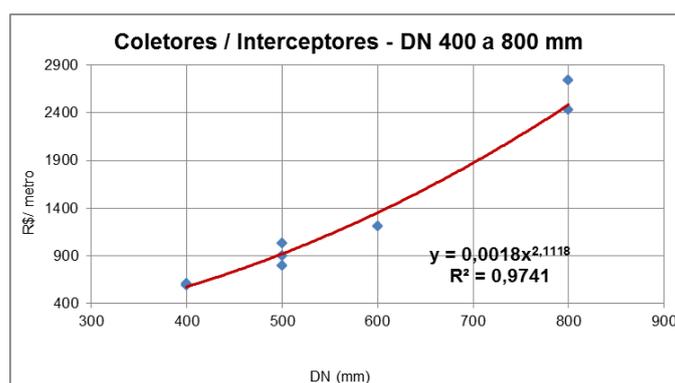
Para se determinar o custo final da rede de uma área é necessário utilizar-se de taxas de implantação de rede, como por exemplo, de 180 m/ha, conforme o sistema viário.

- **Coletores e Interceptores**

A seguir estão apresentados os resultados dos custos dos Coletores e Interceptores por faixa de diâmetro nominal – DN. O dado de entrada das equações de potência está em função de “x”, diâmetro nominal – DN (em mm) do tubo.

Para classificar os diferentes DN's no mesmo coletor e interceptor foi escolhido um DN', de acordo com melhor relação R\$/m. A *Figura 2.1* apresenta a curva e equação para os custos de coletores e interceptores de DN 400 a 800 mm.

**Figura 2.1. Custo dos Coletores/ Interceptores – DN 400 a 800 mm**



Fonte: Elaborado pela Consultora

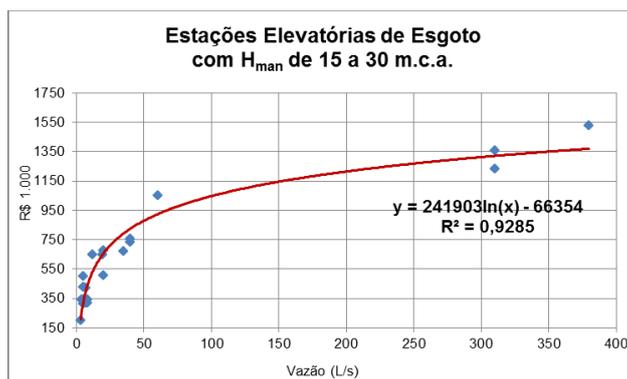
Para se determinar o custo final destas obras lineares é necessário estimar a sua extensão e DN, de acordo com o estudo de concepção ou alternativas de projeto a ser avaliadas. Outra opção é utilizar-se das relações de DN e população da tabela 1, sendo um pré-requisito conhecer a população correspondente do esgoto a ser transportado.

- **Estações Elevatórias de Esgoto**

A seguir está apresentado o resultado para as estações elevatórias de esgoto – EEEs, considerando as diferentes classificações das alturas manométricas, sendo a vazão (em L/s) adotada como a variável “x” da equação.

As estações elevatórias de esgoto na faixa de altura manométrica de 15 até 30 m.c.a possuem uma vazão maior, variando de 3,1 L/s a 380,0 L/s, como é apresentado na *Figura 2.2*.

**Figura 2.2. Custo de EEE com H<sub>man</sub> de 15 a 30 m.c.a.**



Fonte: Elaborado pela Consultora

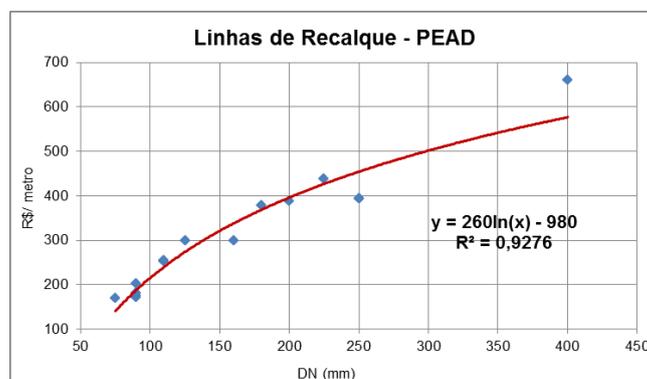
A linha de tendência que melhor representou os custos das estações elevatórias de esgoto H<sub>man</sub> até 15 a 30 m.c.a. foi a logarítmica, pois, o acréscimo de vazão faz o custo inicial da unidade pode ser diluído com o ganho em escala.

- **Linhas de Recalque (Emissários)**

A *Figura 2.3* apresenta o resultado dos custos para as linhas de recalque, também denominadas como emissários.

A equação que melhor pode exprimir os custos para as linhas de recalque para o material PEAD foi a equação do tipo potência, *Figura 2.14*. A entrada da equação é dada em função de “x” que é o diâmetro nominal – DN (em mm) da linha de recalque.

**Figura 2.3. Custo de Linhas de Recalque – PEAD**



Fonte: Elaborado pela Consultora

Para se obter o custo final da linha é necessário conhecer a extensão total. Neste caso, para as extensões, pode se utilizar os dados do estudo de concepção ou da alternativa a ser avaliada.

A partir das curvas, custos de coleta e transporte apresentados, foram realizadas simulações de vários tamanhos de sub-bacias, com um acréscimo proporcional de população, de acordo com o tamanho delas. O objetivo desta simulação é calcular um custo médio per capita para coleta e transporte de esgoto.

Os parâmetros adotados para o cálculo das unidades de coleta e transporte, considerando sub-bacias de esgotamento, são os seguintes:

- Esgoto *per capita* = 180 L/hab.dia
- Taxa de rede = 180 m/ha
- Densidade populacional = 40 hab./ha
- Taxa de Linha de Recalque = 0,25 m/hab.
- Taxa de Coletor-tronco = 1,00 m/hab
- Velocidade no tubo (LR) = 1,50 m/s

Os resultados das simulações dos custos de coleta e transporte de esgoto podem ser observados nos quadros a seguir (*Quadros 2.7 a 2.10*).

**Quadro 2.7. Custo de Coleta e Transporte para sub-bacias de esgotamento pequenas**

Sub-bacia de Esgotamento	Pequena		
	1.500	2.500	4.000
Habitantes			
Rede Coletora	1.429.842,90	2.383.071,50	3.812.914,40
EEE	-	332.848,82	893.088,22
LR	-	166.381,11	306.186,22
Coletor	-		
<b>Custo total (R\$)</b>	1.429.842,90	2.882.301,43	5.012.188,84
<b>Custo per capita (R\$/ hab.)</b>	953,23	1.152,92	1.253,05

Fonte: Elaborado pela Consultora

**Quadro 2.8. Custo de Coleta e Transporte para sub-bacias de esgotamento médias-pequenas**

Sub-bacia de Esgotamento	Médias/pequenas		
	5.000	7.000	10.000
Habitantes			
Rede Coletora	4.766.143,00	6.842.361,04	9.774.801,49
EEE	500.523,20	1.163.833,70	2.004.592,76
LR	396.847,57	607.357,81	929.561,54
Coletor			
<b>Custo total (R\$)</b>	5.663.513,77	8.613.552,55	12.708.955,79
<b>Custo per capita (R\$/ hab.)</b>	1.132,70	1.230,51	1.270,90

Fonte: Elaborado pela Consultora

**Quadro 2.9. Custo de Coleta e Transporte para sub-bacias de esgotamento médias**

Sub-bacia de Esgotamento	Média		
	15.000	20.000	30.000
Habitantes			
Rede Coletora	15.064.219,37	20.085.625,83	31.047.748,74
EEE	1.532.561,63	2.507.615,91	3.735.820,78
LR	1.498.518,57	2.115.464,46	3.428.199,56
Coletor		489.578,17	734.367,26
<b>Custo total (R\$)</b>	18.095.299,57	25.198.284,37	38.946.136,34
<b>Custo per capita (R\$/ hab.)</b>	1.206,35	1.259,91	1.298,20

Fonte: Elaborado pela Consultora

**Quadro 2.10. Custo de Coleta e Transporte para sub-bacias de esgotamento grandes**

Sub-bacia de Esgotamento	Grande		
	45.000	70.000	90.000
Habitantes			
Rede Coletora	46.571.623,10	70.902.202,19	91.159.974,25
EEE	3.096.115,26	4.555.676,36	5.998.564,02
LR	5.454.828,12	9.105.569,72	12.132.453,86
Coletor	1.101.550,89	3.022.181,99	3.885.662,55
<b>Custo total (R\$)</b>	56.224.117,38	87.585.630,25	113.176.654,68
<b>Custo per capita (R\$/ hab.)</b>	1.249,42	1.251,22	1.257,52

Fonte: Elaborado pela Consultora

O custo médio per capita para coleta e transporte do esgoto encontrado, considerando os diferentes tamanhos de sub-bacias de esgotamento, a partir das equações apresentadas é de **R\$ 1.210,00/ hab.**

- Emissários para lançamento em corpos receptores

A partir dos resultados da modelagem para a determinação das cargas de DBO de um determinado município versus as tipologias dos processos de tratamentos, visando o abatimento destas cargas de acordo com as disponibilidades hídricas para a diluição, foi possível incluir no modelo a implantação de emissários para conduzir os esgotos tratados até o lançamento final, sendo a escolha da implantação dos emissários responsabilidade da modelagem.

Para as Elevatórias e condutos forçados (linhas de recalque) foram consideradas as vazões médias. Os pré-dimensionamentos dos DN's das linhas de recalque utilizaram a equação de Bresse:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}}$$

Onde:

D é o diâmetro nominal (m);

Q é a vazão (m³/s); e,

V é velocidade no tubo (foi adotado 1,2 m/s).

Para os condutos livres (interceptores) foram consideradas as vazões de máx. horária.

Os interceptores foram pré-dimensionados de forma a garantir uma tensão trativa média não inferior a 1,5 Pa para a autolimpeza da tubulação. A declividade que satisfaz esta condição para o coeficiente de Manning  $n = 0,013$  é dada pela seguinte expressão:

$$I_{\min} = 0,00035 \times Q_i^{-0,47}$$

Onde:

$I_{\min}$  = declividade mínima do interceptor em m/m; e,

$Q_i$  = vazão inicial em m<sup>3</sup>/s.

As tubulações foram projetadas para funcionar com lâmina igual ou inferior a 75% do diâmetro, ou seja, a uma condição de  $Y/D = 0,75$ , que pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$D = \left( 0,0463 \cdot \frac{Q_f}{\sqrt{I}} \right)^{0,375}$$

Onde:

$D$  = diâmetro em m;

$Q_f$  = vazão final em m<sup>3</sup>/s; e,

$I$  = declividade em m/s.

A equação para determinar os custos das Estações Elevatórias de Esgoto foi para Hman de 15 a 30 mca, sendo a vazão (em L/s) adotada como a variável “x” e “y” o valor expresso em R\$ da equação:

$$y = 241.903 \ln (x) - 66.354$$

A equação para determinar os custos das Linhas de Recalque foi para o material em PEAD. A entrada da equação é dada em função de “x” que é o diâmetro nominal – DN (em mm) e “y” o valor expresso em R\$/m da equação:

$$y = 152,37 \ln (x) - 435,48$$

A equação para determinar os custos dos Interceptores foi para DN de 400 a 800 em Concreto Armado (CA). A entrada da equação é dada em função de “x” que é o diâmetro nominal – DN (em mm) e “y” o valor expresso em R\$/m da equação:

$$y = 0,0018 x^{2,1118}$$

A modelagem considerou, quando necessário, a implantação de emissários de 6, 10, 15 e 21 km de extensão. Para que seja possível a implantação de emissários destes comprimentos foram considerados sistemas com Estações Elevatórias, linhas de recalque e interceptores, seguindo esta configuração.

**Quadro 2.11. Custo de emissários por extensão (km)**

Extensão (km)	Estação Elevatória	Linha de Recalque	Interceptor
6	100%	40%	60%
10	100%	50%	50%
15	100%	50%	50%
21	100%	50%	50%

Fonte: Elaborado pela Consultora

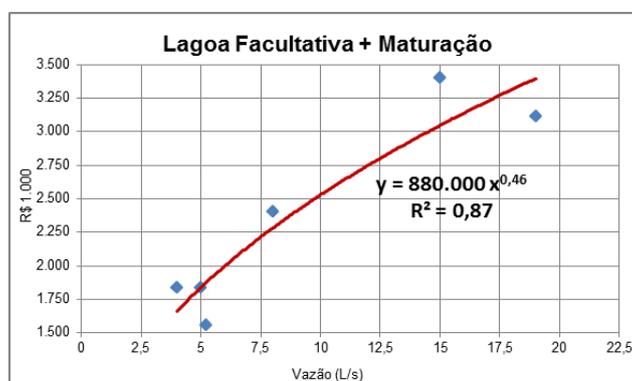
O custo final do emissário é a soma dos custos da Elevatória, Linha de recalque e Interceptor, de acordo com os parâmetros do quadro anterior apresentado.

- **Estações de Tratamento de Esgoto**

A seguir estão apresentados os resultados das estações de tratamento de esgoto – ETEs, por processo de tratamento, conforme proposto. Nos eixos das ordenadas (y) está representado o custo da ETE (R\$ 1.000) e nos eixos das abscissas (x) representada a vazão média da ETE em L/s, conforme é apresentado nas figuras a seguir.

Para determinar a curva de custos das Lagoas Facultativas + Maturação (ver figura 2.4) foram utilizados os custos atualizados de projetos destes tipos de lagoas. Ressalta-se que o uso desta curva está restrito para pequenas vazões (população de até 10 mil habitantes).

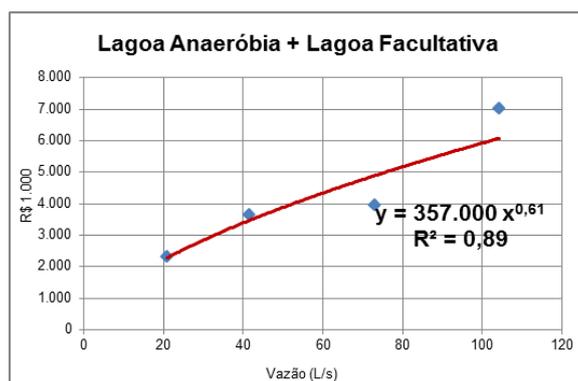
**Figura 2.4. Custo de Lagoa Facultativa + Maturação**



Fonte: Elaborado pela Consultora

Para determinar a curva de custos das Lagoas Anaeróbias mais Facultativas foram utilizados custos atualizados de curvas e per capita existentes (Curvas Atlas Regiões Metropolitanas e Nunes *et al*, 2005) destes processos de tratamentos (Figura 2.5). O custo *per capita* deste tratamento ficou em R\$ 166/ hab.

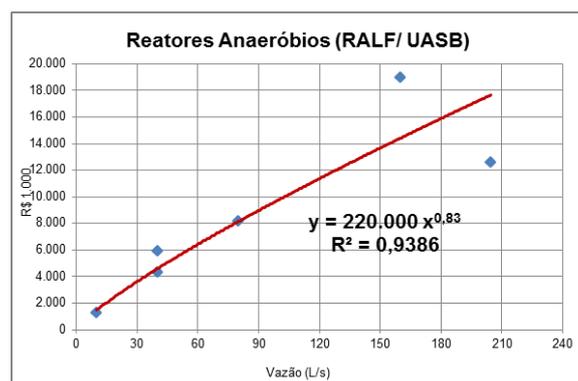
**Figura 2.5. Custo de Lagoa Anaeróbia + Facultativa**



Fonte: Elaborado pela Consultora

Para obter os custos apenas dos Reatores Anaeróbios do tipo RALF e UASB, foram considerados os custos de RALFs com filtros anaeróbios e UASBs com filtros biológicos e com decantadores. Depois, os custos dos filtros e decantadores foram subtraídos para resultar na seguinte curva (Figura 2.6).

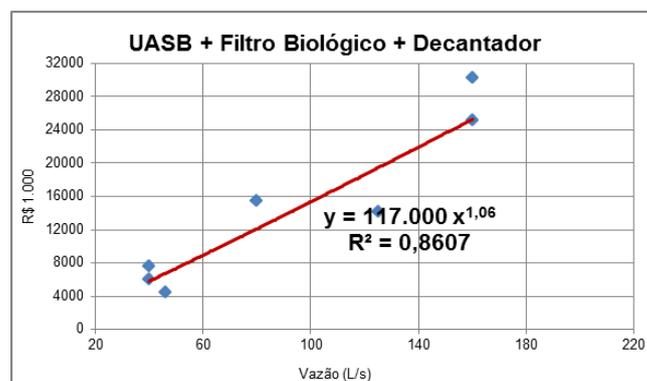
**Figura 2.6. Custo de Reator Anaeróbio (RALF/ UASB)**



Fonte: Elaborado pela Consultora

Os custos de RALF/ UASB com filtro biológico seguidos de decantadores secundários foram determinados através de custos atualizados deste tipo de processo, o resultado pode ser observado conforme a Figura 2.7.

**Figura 2.7. Custo de UASB + Filtro Biológico + Decantador**

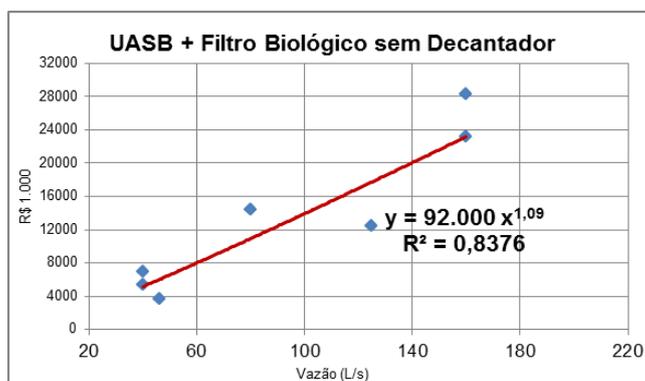


Fonte: Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os RALFs/UASBs com filtros biológicos seguidos de decantadores secundários é de R\$ 308/ hab.

Para se determinar os custos de RALF/UASB com filtro biológico, sem os decantadores secundários, foram subtraídos os custos dos decantadores da equação anterior. O resultado pode ser observado conforme a *Figura 2.8*.

**Figura 2.8. Custo de UASB + Filtro Biológico sem Decantador**

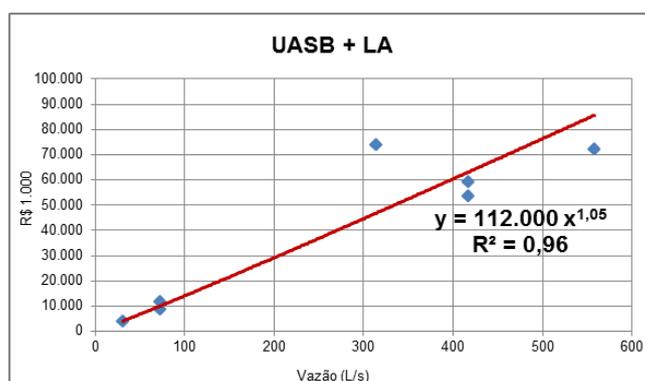


**Fonte:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os RALFs/ UASBs com filtros biológicos sem os decantadores secundários é de R\$ 288/ hab.

Os custos de UASB mais lodos ativados foram determinados através de custos de projetos deste tipo de processo e custos per capitas (Nunes *et al*, 2005), ambos atualizados. O resultado da curva pode ser observado conforme a *Figura 2.9*.

**Figura 2.9. Custo de UASB + Lodos Ativados**

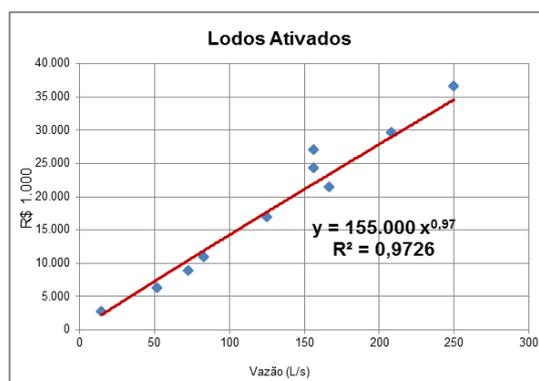


**Fonte:** Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação para os UASB mais lodos ativados é de R\$ 294/ hab.

Para determinar a curva de custos das ETEs do tipo Lodos Ativados foram utilizados custos atualizados de curvas e *per capitas* existentes (Curvas Atlas Regiões Metropolitanas e Nunes *et al*, 2005) destes processos de tratamentos (*Figura 2.10*).

**Figura 2.10. Custo de Lodos Ativados**

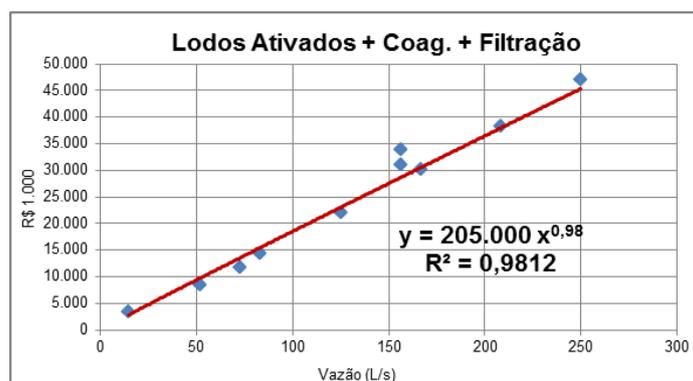


Fonte: Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação deste tratamento ficou em R\$ 296/ hab.

A partir dos custos da *Figura 2.20* foram determinados os custos de lodos ativados com coagulação (Fe) mais filtração. Para isto, foi acrescido 10% dos custos da ETE Lodos ativados, além da adição da equação do tratamento terciário ( $y = 27.000 x$ ), resultando nos custos apresentados na *Figura 2.11*.

**Figura 2.11. Custo de Lodos Ativados + Coagulação + Filtração**



Fonte: Elaborado pela Consultora

O custo médio *per capita* de implantação da ETE de lodos ativados com coagulação (Fe) mais filtração ficou em R\$ 385/ hab.

Ressalta-se que para obter os custos de implantação das Estações de Tratamento do tipo Grade Mecanizada + Hipoclorito de Sódio + Lançamento em Emissário Submarino e/ ou Grade Mecanizada + Hipoclorito de Sódio + Lançamento em Emissário Submarino serão necessários realizar um estudo mais aprofundado caso-a-caso. Entretanto, entende-se o número desta solução particularizada para os municípios do Brasil não será muito utilizada, pois, são poucos municípios da região costeira que se enquadrarão nela.

### 3.A REFERENCIAS

BRUDEKI, N.; AISSE, M. M.; **Custos Estruturais por Habitante em Saneamento Básico no Estado do Paraná.** 24.o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Belo Horizonte - MG, 2007.

LUCCA, V. P.; SAMWAYS, G.; AISSE, M. M.; **Estudo dos Custos de Implantação e Operação de Sistemas de Coleta e Tratamento de Esgotos Sanitários para Pequenas Comunidades.** Anais. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2011.

NUNES, M. T. et al., **Custos Unitários de Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos** – PRODES – 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Joinville – SC, 2003.

SALAZAR, B. L.; VON SPERLING, M.; **Desenvolvimento de Funções de Custos de Implantação para Redes Coletoras e Interceptores.** Anais. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2011.