

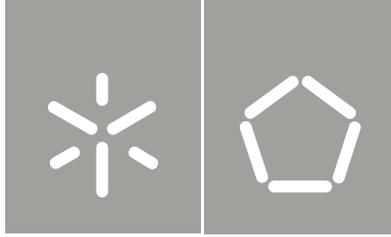


Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Izabela Torres Vicente

Funções de Custo de Investimento Para  
Estações de Tratamento de Águas Residuais

Izabela Torres Vicente  
Funções de Custo de Investimento Para  
Estações de Tratamento de Águas Residuais



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Izabela Torres Vicente

Funções de Custo de Investimento Para  
Estações de Tratamento de Águas Residuais

Tese de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil,  
Área de Hidráulica e Meio Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação do  
Professor Doutor José Manuel Pereira Vieira

Julho de 2013

*“Amar a nossa falta de amor, e na segura nossa  
amar a água implícita, e o beijo tácito, e a sede infinita.”*  
*Carlos Drummond de Andrade*



## AGRADECIMENTOS

Apesar do processo, às vezes solitário, de pesquisa e criação de um trabalho a que um investigador está destinado, nesta dissertação várias pessoas e instituições foram essenciais e contribuíram muito para que fosse possível sua concretização. Sem elas a realização deste trabalho não seria possível, e por isso expresso aqui os meus agradecimentos.

Ao prof. José Manuel Pereira Vieira, que me orientou durante toda a pesquisa, que me ajudou a definir meus objetivos e métodos de trabalho. Muito obrigada pelas opiniões, sugestões e críticas, pelo incentivo e pela total colaboração no solucionar das dúvidas e problemas que surgiram ao longo deste trabalho.

Ao eng. Pedro Pinto do Departamento de Gestão de Obras da empresa Águas do Noroeste, pela valiosa ajuda e pelo tempo despendido na organização de todos os dados e informações necessárias à essa pesquisa.

À empresa Águas do Noroeste pela disponibilização das informações e dados necessários para o desenvolvimento do trabalho.

O presente trabalho também foi realizado com o apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, instituição que me concedeu a bolsa durante meu período de estudos em Portugal.

À Universidade do Minho, instituição acadêmica que me recebeu durante o meu intercâmbio, e em especial ao Departamento de Engenharia Civil. Agradeço a oportunidade de desenvolver essa pesquisa, o apoio material e o apoio de todos os docentes.

Por fim, um agradecimento especial à minha família, que, a pesar de estar distante, é fonte de inspiração e perseverança. Muito obrigada pelo apoio, pelo incentivo, pela paciência e pelo carinho que me deram, não só durante a realização desse trabalho, mas também durante toda minha vida.



## **RESUMO**

O objetivo deste trabalho é definir funções de custo de investimento para estações de tratamento de águas residuais na região Norte de Portugal. Para tanto será feita uma análise microeconômica e a consequente construção de um banco de dados dos custos ligados ao tratamento de esgotos. Também será desenvolvida ao longo do mesmo uma metodologia para a definição das funções de custo.

Para que fosse possível criar as funções de custo foram escolhidas 8 estações de tratamento de águas residuais localizadas na bacia do rio Ave. É importante destacar que as características de uma região como clima, relevo, dados socioeconômicos, etc. tem impacto direto nos custos ligados a infraestrutura de saneamento básico, por isso foi feito um breve estudo sobre as características da bacia citada acima.

A metodologia usada, tanto para a coleta quanto para o tratamento dos dados foi feita tendo como base os relatórios técnicos publicados pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), que serão citados ao longo do trabalho.

Os custos de tratamento de esgoto foram coletados e organizados de forma a obterem-se custos unitários, por órgãos de tratamento. No final dessa etapa, os dados obtidos foram usados na construção de equações capazes de descrever os custos de investimento de uma estação de tratamento de águas residuais em função do caudal tratado ou do equivalente populacional atendido. Essas equações foram agrupadas para que fosse possível determinar os custos por níveis de tratamento (primário, secundário e terciário).

Pretende-se que as funções desenvolvidas nesse trabalho possam auxiliar na concepção e ampliação otimizada, ou seja, com o melhor custo benefício, de estações de tratamento de esgoto no Norte de Portugal, em especial na bacia do rio Ave e que a metodologia aqui desenvolvida possa ser de aplicação generalizada ao resto do país.

**Palavras Chave: Funções de Custo de Investimento, ETAR, Norte de Portugal**



## **ABSTRACT**

The objective of this work is to establish investment's cost functions for wastewater treatment systems in the North of Portugal. A microeconomic analysis and subsequent construction of a database of costs associated with the treatment of wastewater was worked out. Also a methodology for the definition of cost functions for wastewater has been developed.

To make it possible, a set of 8 wastewater treatment plants located in the basin of the river Ave were chosen. Considering that the characteristics of a region such as climate, orography, socioeconomic data, etc.. have direct impacts on the costs related to sanitation infrastructures, a brief study on the characteristics of the basin mentioned above has been done.

The methodology used for both the collection and treatment of the data was based on the technical reports published by the USEPA (United States Environmental Protection Agency), which are cited throughout this work.

costs of wastewater treatment for unit operations were collected and organized. After that the data were used in the construction of equations able to describe the investment costs of a treatment wastewater plant in function of design flow or equivalent population served. These equations were grouped so that it was possible to determine the costs per treatment levels (primary, secondary and tertiary).

It is intended that the functions developed in this study can assist in the design and optimized retrofit, considering a cost benefit analysis for wastewater treatment plants in the north of Portugal, especially in the Rio Ave basin river system and that this methodology can be expanded to the rest of the country.

**Keywords: Investment Cost Functions, WWTP, Northern Portugal**



# Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	IX
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Enquadramento do Tema e Motivação.....	3
1.2 Contribuições .....	4
1.3 Estrutura da Tese .....	5
2. DEFINIÇÕES .....	6
3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	7
3.1 A Bacia do Rio Ave.....	8
3.2 O Atual Sistema de Coleta e Tratamento de Esgoto em Portugal .....	10
3.3 Caracterização das Estações de Tratamento de Água Residual.....	13
3.3.1 ETAR de Agra II .....	13
3.3.2 ETAR do Ave .....	15
3.3.3 ETAR Lordelo / Aves.....	16
3.3.4 ETAR de Mosteiro.....	17
3.3.5 ETAR de Penices .....	19
3.3.6 ETAR de Santo Emilião .....	20
3.3.7 ETAR de Sarzedelo II.....	21
3.3.8 ETAR de Serzedo.....	22
4. BASE DE DADOS.....	23
4.1 Metodologia para coleta de dados .....	23
4.2 Descrição da Base de Dados.....	25
5. CUSTOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS .....	36
5.1 Funções de Custo .....	36
5.2 Funções de Custo Para o Norte de Portugal .....	37
5.2.1 Metodologia adotada.....	38

5.2.2	Funções de custo de investimento.....	40
5.2.3	Funções de Custo de Operação e Manutenção .....	54
6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	55
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
8.	CONCLUSÕES.....	59
	BIBLIOGRAFIA.....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Localização Geográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Ave .....	8
Figura 2:	Detalhe das bacias que fazem divisa com a Bacia Hidrográfica do rio Ave .....	9
Figura 3:	ETAR Agra II .....	14
Figura 4:	ETAR do Ave .....	16
Figura 5:	ETAR Lordelo / Aves .....	17
Figura 6:	ETAR Monsteiro.....	18
Figura 7:	ETAR Penices .....	19
Figura 8:	ETAR Santo Emilião .....	20
Figura 9:	ETAR Serzedelo II.....	21
Figura 10:	ETAR Serzedo.....	22
Figura 11:	Metodologia seguida na determinação de funções de custo de ETAR.....	39
Figura 12:	Representação receita anual uniforme .....	54

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Cobertura do Serviço em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010).....	11
Gráfico 2: Cumprimento dos Parâmetros de Descarga em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010).....	11
Gráfico 3: Utilização dos Recursos Energéticos em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010).....	11
Gráfico 4: Preço Médio do Serviço em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010) .....	12
Gráfico 5: Custos Operacionais Unitários em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010) .....	13
Gráfico 6: Percentagem dos Gastos com Construção por ETAR Subdivididos em Fases .....	35
Gráfico 7: Percentagem dos Gastos com Equipamentos por ETAR Subdivididos em Fases .....	35
Gráfico 8: Custos de Investimento em Função do Caudal - Obras Iniciais.....	41
Gráfico 9: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Primário.....	42
Gráfico 10: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Secundário.....	42
Gráfico 11: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Terciário.....	43
Gráfico 12: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento de Lamas .....	43
Gráfico 13: Custos de Investimento em Função do Caudal - Movimentação de Terra.....	44
Gráfico 14: Custos de Investimento em Função do Caudal - Reator (Lamas Ativadas).....	44
Gráfico 15: Custos de Investimento em Função do Caudal - Decantador Secundário.....	45
Gráfico 16: Custos de Investimento em Função do Caudal - Instalações Elétricas e de Controle e Automação .....	45
Gráfico 17: Custos de Investimento em Função do Caudal - Recirculação de Lamas.....	46
Gráfico 18: Custos de Investimento em Função de E.P. - Obras Iniciais .....	46
Gráfico 19: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Primário .....	47
Gráfico 20: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Secundário .....	47
Gráfico 21: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Terciário.....	48
Gráfico 22: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento de Lamas.....	48
Gráfico 23: Custos de Investimento em Função do E.P. - Movimentação de Terra .....	49
Gráfico 24: Custos de Investimento em Função do E.P. - Reator (Lamas Ativadas) .....	49
Gráfico 25: Custos de Investimento em Função do E.P. - Decantador Secundário .....	50
Gráfico 26: Custos de Investimento em Função do E.P. - Instalações Elétricas e de Controle e Automação .....	50
Gráfico 27: Custos de Investimento em Função do E.P. - Recirculação de Lamas .....	51
Gráfico 28: Custos de Investimento por Níveis de Tratamento em Função do Caudal Tratado.....	52
Gráfico 29: Custos de Investimento por Níveis de Tratamento em Função do E.P.....	52
Gráfico 30: Curvas de Custos para valores fixos de Caudal em função da eficiência de Remoção da CBO <sub>5</sub> .....	53

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Valores de Referência (Vieira, 1986) .....	6
Tabela 2: Resumo Características ETAR de Agra II .....	14
Tabela 3: Resumo Características ETAR do Ave .....	15
Tabela 4: Resumo Características ETAR Lordelo / Aves .....	17
Tabela 5: Resumo Características ETAR Mosteiro .....	18
Tabela 6: Resumo Características ETAR Penices.....	19
Tabela 7: Resumo Características ETAR de Santo Emilião .....	20
Tabela 8: Resumo Características ETAR Serzedelo II .....	21
Tabela 9: Resumo Características ETAR de Serzedo .....	22
Tabela 10: Custos de Construção ETAR Agra II.....	26
Tabela 11: Custos de Equipamentos ETAR Agra II .....	26
Tabela 12: Custos de Construção ETAR do Ave .....	27
Tabela 13: Custos de Equipamento ETAR do Ave.....	28
Tabela 14: Custos de Construção ETAR Serzedelo II .....	29
Tabela 15: Custos de Equipamentos ETAR Serzedelo II.....	30
Tabela 16: Custos de Construção ETAR Lordelo / Aves.....	30
Tabela 17: Custos de Equipamentos ETAR Lordelo / Aves .....	31
Tabela 18: Custos de Construção ETAR Santo Emilião.....	31
Tabela 19: Custos de Equipamento ETAR Santo Emilião.....	32
Tabela 20: Custos de Construção ETAR Penices .....	32
Tabela 21: Custos de Equipamentos ETAR Penices.....	32
Tabela 22: Custos de Construção ETAR Monsteiro .....	33
Tabela 23: Custos de Equipamentos ETAR Monsterio.....	33
Tabela 24: Custos de Construção ETAR Serzedo.....	34
Tabela 25: Custos de Equipamento ETAR Serzedo.....	34
Tabela 26: Datas de Consignação e Inauguração das estações de tratamento.....	41
Tabela 27: Funções de Custo de Investimento .....	56
Tabela 28: Custos de Investimento em Função dos Níveis de Tratamento.....	56
Tabela 29: Custos em Função da Eficiência de Remoção de CBO <sub>5</sub> para Vários Valores de Caudal ...	57

# 1. INTRODUÇÃO

O cuidado com o meio ambiente, e mais especificamente com os recursos hídricos é algo que vem aumentando na sociedade. Uma das consequências disso foi a criação em vários lugares do mundo de legislações que tem por objetivo garantir a preservação dos recursos naturais, entre eles a água.

Na União Europeia (UE) a Directiva Quadro da Água (Directiva n.º 2000/60/CE) é o principal instrumento da Política relativa à água, ela aponta várias ações que devem ser tomadas com o objetivo de proteger os corpos hídricos. A directiva tem por objetivo melhorar a qualidade dos recursos hídricos na UE e estabelece que até 2015 os corpos de água de todos os países membros devem possuir uma boa qualidade.

Para além desta, existem outras directivas que abordam questões específicas a nível de preservação das massas de água, um exemplo é a directiva 91/271/CEE Tratamento de Águas Residuais Urbanas de 21 de Maio de 1991 que aponta requisitos mínimos a serem cumpridos relativos aos sistemas de drenagem e tratamento de efluentes urbanos. Posteriormente ela foi alterada pela directiva 98/15/CE e pelo regulamento (CE) n.º 1882/2003 (EWA, 1998).

É de se esperar que a gestão das águas e as leis ambientais em Portugal sigam essas directivas, mas os campos que não são cobertos pela legislação europeia o país pode adotar sua própria legislação.

Vários séculos antes de surgirem essas leis, como a quantidade de esgoto produzido pelas sociedades era pequena os mesmos eram lançados diretamente em rios, lagos, mar, etc. sem provocar grandes danos ao meio ambiente, mas hoje isso não é mais possível, o despejo de grandes quantidades de esgoto sem tratamento prejudica o meio ambiente e é uma ameaça à qualidade da água. Diante desse problema surgiu a necessidade de se proceder à coleta e ao tratamento do esgoto antes de lança-lo na natureza.

Em todo o mundo foram feitos investimentos com o objetivo de combater a degradação dos corpos hídricos provocada pelo lançamento de esgoto sem tratamento nos mesmos, uma das alternativas mais usadas é a construção de sistemas coletores que encaminham todo o esgoto a estações de tratamento de águas residuais, também chamadas de ETAR.

Ao tomar uma decisão sobre a construção de um sistema de tratamento de águas residuais em um determinado local há duas situações limites, a primeira é lançar o efluente sem tratamento diretamente na natureza, nesse caso não haverá nenhum custo de investimento operação e manutenção do sistema de tratamento, porém sérios danos são provocados ao meio ambiente. A segunda situação seria coletar e tratar todo o esgoto produzido até que ele atinja um alto nível de qualidade, mas essa alternativa quase sempre é economicamente inviável. (Vieira & Lijklema, 1989).

Entre esses dois cenários é possível escolher uma solução otimizada, ou seja, aquela que seja ambientalmente segura e apresente o menor custo possível. Para isso é necessário criar métodos objetivos para avaliar o projeto e a operação dos sistemas de tratamento como um todo. Uma maneira de proceder a esse tipo de análise é através da criação de funções de custo específicas para infraestruturas de tratamento de águas residuais.

As funções de custo são muito usadas nas análises econômicas e são capazes de dar uma estimativa dos custos futuros de um determinado empreendimento. Isso é possível, pois esse tipo de equação relaciona o custo de produção com o nível de produção e com outras variáveis que possam ser controladas durante o processo produtivo.

No caso da infraestrutura de sistemas de coleta e tratamento de águas residuais, as funções de custo podem ser usadas para estimar os custos de investimento, de operação e manutenção ou os custos totais, estas funções geralmente são obtidas a partir da análise de dados relativos aos custos registrados durante um determinado período.

Pretende-se ao longo desse trabalho criar um banco de dados relativos aos custos de investimento em estações de tratamento de águas residuais da região norte de Portugal. Após a análise do mesmo será feita a construção de uma estrutura de custos unitários, para isso será desenvolvida uma metodologia de elaboração das funções de custo de infra-estruturas para estações de tratamento de águas residuais.

Espera-se que as funções obtidas ao final deste trabalho possam dar uma estimativa segura dos custos relativos ao sistema de tratamento de águas residuais e que elas possam auxiliar na escolha de soluções otimizadas na área.

## 1.1 Enquadramento do Tema e Motivação

A sustentabilidade das soluções adotadas para resolver os problemas nos dias atuais é algo que cada vez mais é cobrado pela sociedade, porém a adoção dessas medidas ecologicamente corretas esbarra numa abordagem de custos tradicional em que a melhor solução é a que apresenta os menores custos totais. Para o caso das estações de tratamento isso não é diferente, há sempre a avaliação do custo e do benefício das diversas soluções existentes.

A escolha do layout de uma estação de tratamento depende, entre outros fatores, de aspectos técnicos, sociais e econômicos. A formulação, validação e implementação da melhor solução depende de estudos que levem esses aspectos em conta e estime os impactos financeiros, econômicos e ambientais.

A análise integrada dos aspectos citados acima pode ser feita através de funções de custo, criadas a partir de bases de dados existentes. Essas funções são definidas para determinadas regiões ou países e auxiliam na estimativa dos custos totais do empreendimento usando variáveis como caudal tratado, população atendida, eficiência de remoção de DBO, sólidos suspensos, nutrientes ou outros parâmetros de interesse.

Atualmente em Portugal, relacionar impactos financeiros, econômicos e ambientais durante as fases de concepção, construção e operação de uma estação de tratamento é um desafio, pois as pesquisas realizadas no país, principalmente no que se refere aos custos das ETAR, não estão completamente realizadas, além disso, as funções de custo que já foram publicadas encontram-se desatualizadas e não dão mais uma estimativa confiável do valor real dos empreendimentos.

Nesse sentido torna-se necessário proceder à atualização da base de dados relativa aos custos de ETAR e a definição de novas funções. É importante ressaltar o fato de que os custos, características dos efluentes e layout das ETAR mudam muito de uma região para outra do país e por isso foi necessário selecionar uma área de estudo.

Quando há uma ampla amostra de dados referentes a custos de investimento, operação e manutenção de ETAR's, é possível a criação de funções de custo cada vez mais próximas da realidade de cada região ou país, a análise de uma grande quantidade de dados só é possível

devido ao avanço na área da computação e das tecnologias de informação. Atualmente é possível armazenar e analisar grandes quantidades de dados através de sofisticados métodos de interpretação dos mesmos. Além do aparecimento de novas tecnologias de comunicação digital, torna possível a disponibilização e armazenamento dos dados e resultados de formas simples e ao alcance de todos.

## **1.2 Contribuições**

Existem poucas publicações que tratam dos custos de infraestrutura de tratamento de água na região Norte de Portugal, porém já foram feitos alguns estudos notáveis nesta área, sendo que o principal trabalho que contribuiu com esta pesquisa foi a dissertação escrita por Vieira (1986). No capítulo 7 desse documento é apresentada uma análise dos custos ligados a ETAR e são obtidas equações de custo para cada processo unitário que compõem as estações de tratamento.

Em Vieira & Lijklema (1989) é proposto um modelo de otimização de plantas de estações de tratamento de esgoto usando funções de custo.

Em trabalho mais recente (Santo, 2007), foi apresentada uma metodologia de dimensionamento de Estações de Tratamento de Água residual onde os custos de investimento e operação são minimizados através da modelação de funções de custo. Porém, só foram consideradas as funções de custo dos processos ligados ao tratamento secundário, mais especificamente o sistema de lamas ativadas.

Na bibliografia internacional existem vários estudos sobre elaboração de base de dados relativos aos custos de um sistema tratamento de águas residuais e determinação de funções de custos de investimento, operação e manutenção desses sistemas, porém não existe ainda um consenso sobre a melhor metodologia a ser utilizada na hora de se proceder a esse tipo de trabalho.

A metodologia utilizada nesta pesquisa será descrita nos capítulos que se seguem e foram elaboradas tendo como base a tese de Vieira, já citada anteriormente, e o relatório técnico da USEPA.

### **1.3 Estrutura da Tese**

Este trabalho está organizado em oito capítulos, sendo o primeiro dedicado a introdução do problema. Os conteúdos dos demais capítulos estão descritos a seguir.

- Capítulo 2: Para melhor compreensão da pesquisa aqui apresentada, neste capítulo serão listados os principais termos e expressões que aparecem ao longo do trabalho e suas respectivas definições;
- Capítulo 3: Mostra as principais características da região onde se localizam as estações de tratamento de água residual cujos custos de construção, manutenção e operação foram coletados. Também apresenta uma visão geral do atual sistema de coleta e tratamento de esgoto na região Norte de Portugal e aponta as principais características de todas as estações de tratamento abrangidas por esse estudo.
- Capítulo 4: será apresentada a metodologia de coleta de dados utilizada no trabalho. Nesse capítulo também pode ser visto todas as tabelas com dados referentes aos custos de investimento usados para construir as funções de custo.
- Capítulo 5: será apresentada a metodologia utilizada na elaboração das funções de custo, explica como foi feito o tratamento dos dados coletados e mostra todos os resultados obtidos através de gráficos e equações.
- Capítulo 6: Nesse capítulo é feita uma análise crítica dos resultados obtidos, como análise de erros e aplicabilidade dos resultados.
- Capítulo 7: Aqui são listadas algumas sugestões para o prosseguimento das pesquisas iniciadas com esse trabalho.

Ao final, no capítulo 8, encontra-se a conclusão da pesquisa com um resumo de todos os resultados e conclusões obtidas, em seguida foram listadas todas as referencias bibliográficas citados ao longo deste trabalho.

## 2. DEFINIÇÕES

Como poderá ser visto no capítulo 5 deste trabalho, foram criadas algumas funções de custo de investimento em estações de tratamento em função do nível de tratamento existente na ETAR, esses níveis de tratamento foram definidos de acordo com a porcentagem de remoção da CBO<sub>5</sub> presente no esgoto. A tabela abaixo mostra os valores de referência usados para definir cada um desses níveis de tratamento.

**Tabela 1: Valores de Referência (Vieira, 1986)**

Nível de tratamento	Remoção de CBO <sub>5</sub>
I	35%
II	90%
III	95%

Para efeito deste trabalho, aplicam-se os seguintes termos e definições:

**CBO<sub>5</sub>:** carência bioquímica de oxigênio, corresponde ao oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica, a uma temperatura média de 20°C durante 5 dias. (Wikipedia, 2013)

**Custos de investimento:** é a soma dos custos de construção da ETAR e da compra dos equipamentos necessários para o funcionamento da mesma;

**Instalações elétricas e de controle e automação:** todas as instalações elétricas feitas nas edificações e órgãos de tratamento da ETAR, instalação de equipamentos de controle dos diversos processos presentes na estação de tratamento, circuito fechado de TV, etc.;

**Instalações hidro sanitárias:** para que fosse possível uma melhor compreensão dos custos unitários, foi considerado nesse trabalho que as instalações hidro sanitárias são o conjunto de tubagens e acessórios responsáveis pela distribuição de água potável, coleta de água pluvial e esgoto nas edificações que fazem parte da ETAR;

**Obras de entrada:** inclui as obras civis e os equipamentos necessários para a construção de estações elevatórias, instalação de grades, condutas elevatórias, etc., ou seja, todas as instalações que fazem parte da ETAR e se encontram a montante do desarenador;

**Obras iniciais:** engloba as primeiras etapas de construção da ETAR (movimentação de terra e estaleiro) e as obras de entrada (antes do efluente chegar ao desarenador);

**Tratamento primário ou preliminar:** nível de tratamento onde ocorre a remoção da maior parte de material em suspensão, flutuante, sólidos inorgânicos através de processos físicos. O objetivo principal do tratamento preliminar é proteger os equipamentos a jusante da linha de tratamento (Lin, 2007). Neste trabalho, em especial, os órgãos que fazem parte do tratamento primário são os desarenadores/desengorduradores, neutralização, contato, equalização de caudal, bacia de emergência e decantação primária;

**Tratamento secundário:** é usado para remover a matéria orgânica coloidal dissolvida na água. O processo de remoção pode ser feito por processos físico-químicos, porém é mais comum usar processos biológicos nessa etapa do tratamento (Lin, 2007). Todas as estações de tratamento estudadas nesse trabalho possuem o tratamento secundário feito por meio de lamas ativadas;

**Tratamento terciário ou avançado:** São os métodos e processos usados para remover mais contaminantes que os processos convencionais. Pode ser usado logo após o tratamento secundário, para modificar ou substituir alguma parte do processo de tratamento convencional (Lin, 2007). Neste trabalho os dispositivos que fazem parte do tratamento terciário são coagulação e filtração, filtração e desinfecção (por ozono ou radiação UV) e a decantação lamelar.

**Tratamento de lamas:** é o conjunto de processos usados para tratar e depositar de maneira adequada a lama gerada no tratamento primário, secundário e terciário (Lin, 2007). Para efeito de cálculos relativos aos custos das instalações necessárias para proceder ao tratamento das lamas (primárias e secundárias) em uma ETAR, foi considerado que fazem parte desse nível de tratamento a recirculação de lamas, todos os bombeamentos de lama presentes na ETAR, espessamento, desidratação, digestão, armazenamento e transporte.

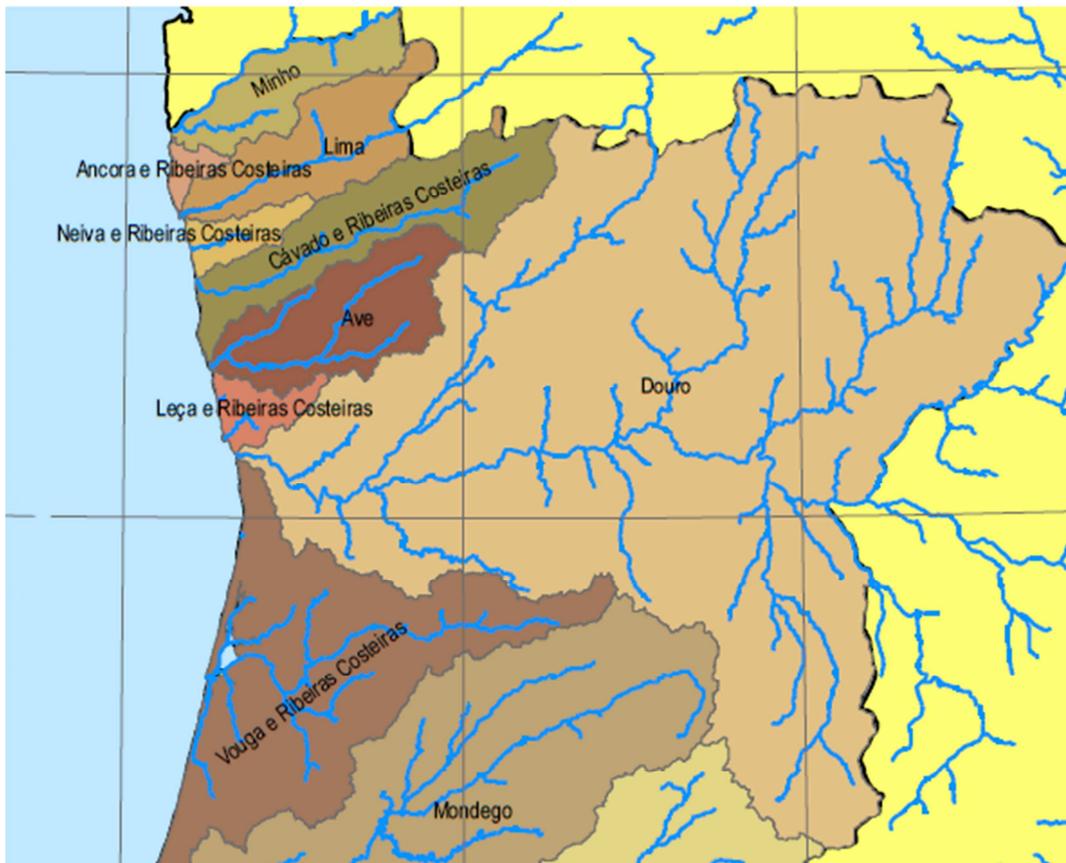
**Tubagens e acessórios:** englobam todas as tubagens usadas na interligação dos órgãos de tratamento, equipamentos de medição de caudal, válvulas, etc.;

### 3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Como foi destacado anteriormente, as características de uma região como clima, relevo, dados socioeconômicos e origem do esgoto (doméstico, industrial, entre outros) tem impacto direto nos custos ligados a infraestrutura de saneamento básico.

Esse trabalho usa dados empíricos referentes a estações de tratamento localizadas na bacia do Rio Ave, por isso nesta seção será feita uma breve descrição deste sítio. As características do atual sistema de coleta e tratamento de esgoto na região, assim como uma breve descrição de cada ETAR estudada também aparecem nesse capítulo.





**Figura 2: Detalhe das bacias que fazem divisa com a Bacia Hidrográfica do rio Ave**  
**Fonte: (SNIRH, 2009)**

O clima da bacia hidrográfica pode ser considerado húmido, apresentando temperaturas médias anuais superiores a 16°C na região litorânea e valores inferiores a 10°C na região montanhosa. O valor da precipitação média anual na bacia é de 1800mm (MPAT, 1986).

A bacia abrange a totalidade dos conselhos de Vila nova de Famalicão e Guimarães e parcialmente os conselhos de Celorico de Basto, Fafe, Vieira do Minho, Póvoa do Lanhoso, Braga e Barcelos, todos dos distritos de Braga e parte dos conselhos de Felgueiras, Lousada, Santo Tirso, Vila do Conde e Póvoa de Varsim do distrito de Porto (LNEC, 1986).

A zona delimitada pela bacia do rio Ave possui uma boa potencialidade agrícola, elevada densidade populacional e uma alta concentração de indústrias que atuam principalmente no ramo têxtil e de vestuário.

Apenas uma pequena percentagem da totalidade da população reside nas áreas montanhosas a montante da bacia, por isso na região designada como Alto Ave verifica-se a ausência quase

completa de manchas populacionais urbanas e no baixo e médio Ave há grande concentração populacional do tipo urbana (LNEC, 1986). A maior densidade populacional encontra-se no conselho de Braga que chega a 989,61 hab./km<sup>2</sup> (Wikipedia, 2013).

A economia da região é impulsionada principalmente pelas atividades do ramo industrial, o setor de atividades secundário é o mais importante da bacia e é o que mais produz impactos sobre os recursos hídricos da região. Como já foi dito acima as principais indústrias da região atuam no ramo têxtil e de vestuário, mas há também indústrias de transformação de madeira, indústria química, alimentar, de couros, metalúrgica de base, etc.. No setor primário destaca-se a produção de legumes, frutas, tubérculos, cereais, vinhos e aguardentes.

A qualidade da água nessa região, com exceção de alguns troços de montante, é imprópria para qualquer tipo de utilização direta, estando identificadas pelo ministério do ambiente mais de 230 fontes poluidoras, das quais cerca de 70% correspondem ao setor têxtil e 3% são de origem doméstica. Em termos de volume descarregado estima-se que o setor têxtil contribua com 75% do total de descargas de efluentes líquidos para o Ave, correspondendo a uma carga equivalente populacional de cerca de 600 000 habitantes (Noroeste, 2013).

A bacia do Rio Ave foi escolhida para a recolha dos dados necessários para este estudo, uma vez que não foi possível a reunião e disponibilização das informações sobre os custos de todas as ETAR's existentes na região Norte de Portugal. Decidiu-se então por reunir os dados referentes apenas as estações de tratamento localizadas nesta zona que abrange cerca de 6,5% do território definido pela região Norte de Portugal e possui características climáticas, hídricas, e socioeconômicas representativas de toda a região.

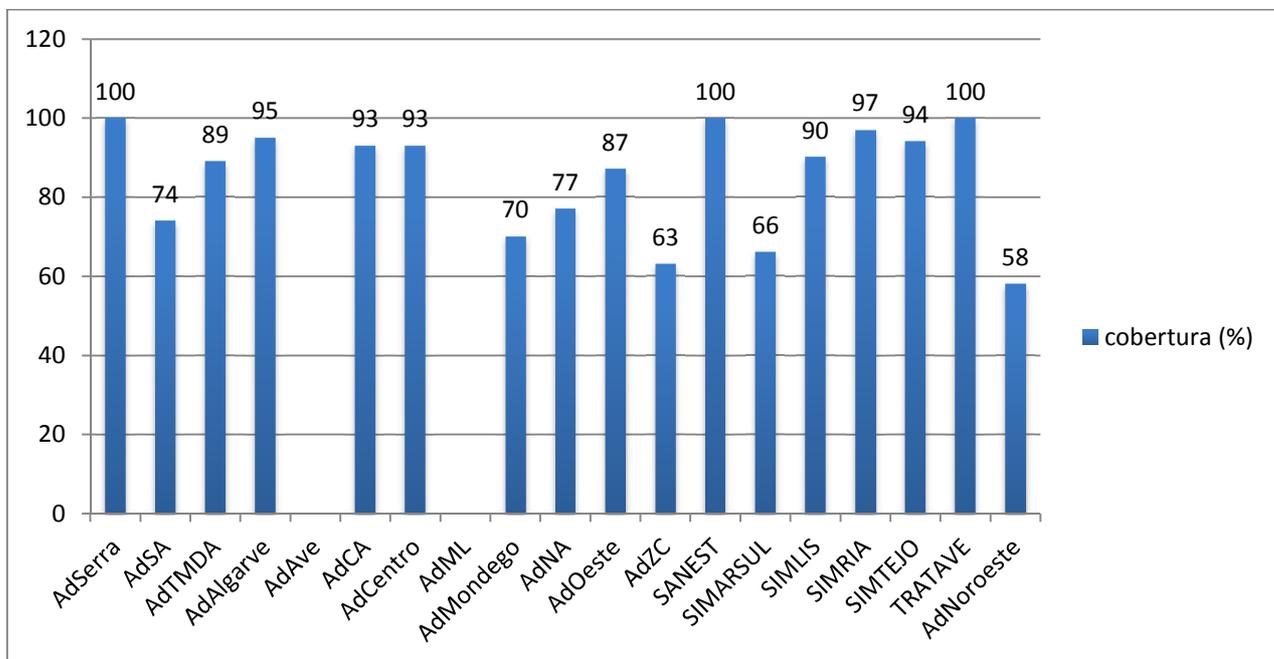
### **3.2 O Atual Sistema de Coleta e Tratamento de Esgoto em Portugal**

Pode ser visto a seguir (Gráficos 1, 2, 3, 4 e 5) alguns indicadores de desempenho ligados a atividade de saneamento de águas residuais urbanas no ano de 2010 das empresas responsáveis por esse serviço em Portugal.

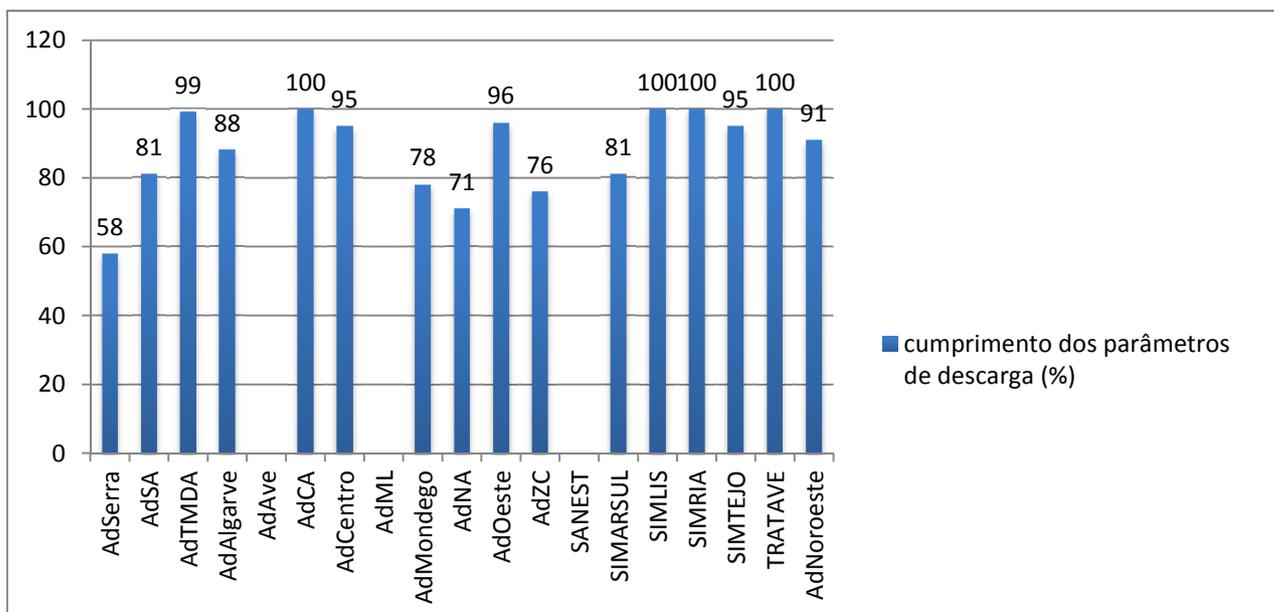
A partir da análise dos gráficos pode-se perceber que a AdNoroeste atende os parâmetros de descarga de efluentes em 91% do tempo e gastou em média 0,49KWh / m<sup>3</sup> de esgoto tratado. Também se pode ver que a região onde a infraestrutura de saneamento possui a menor

cobertura é a atendida pela AdNoroeste, além disso os custos operacionais da empresa e o preço médio do serviço prestado são os maiores de Portugal.

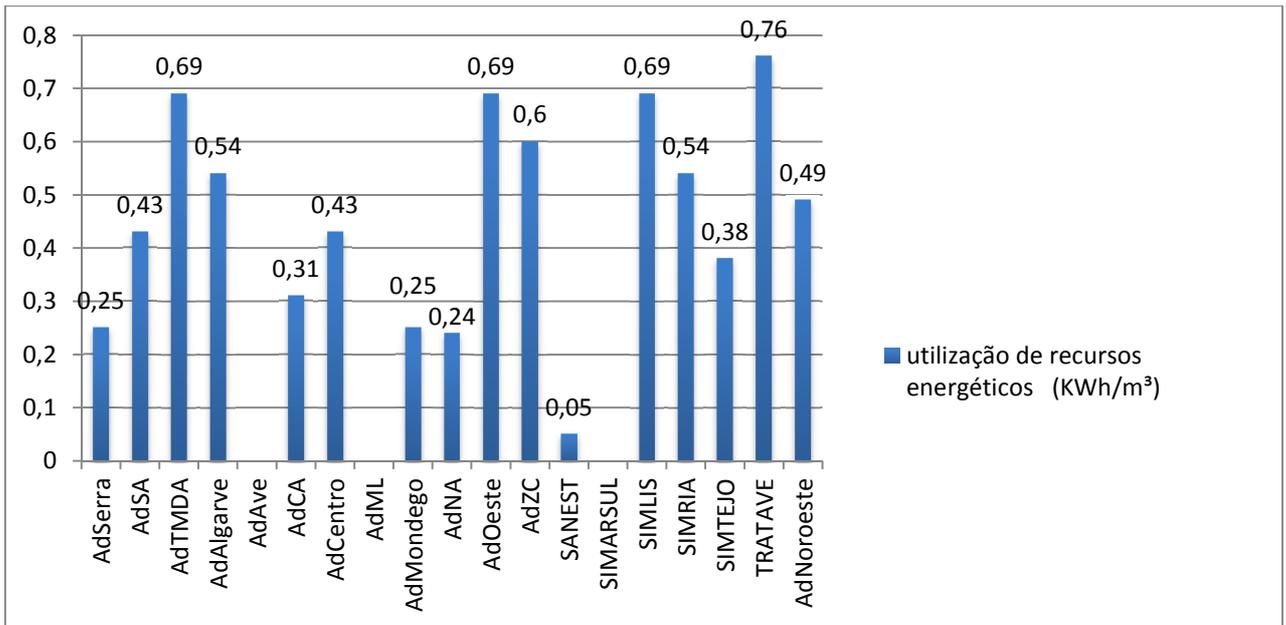
**Gráfico 1: Cobertura do Serviço em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010)**



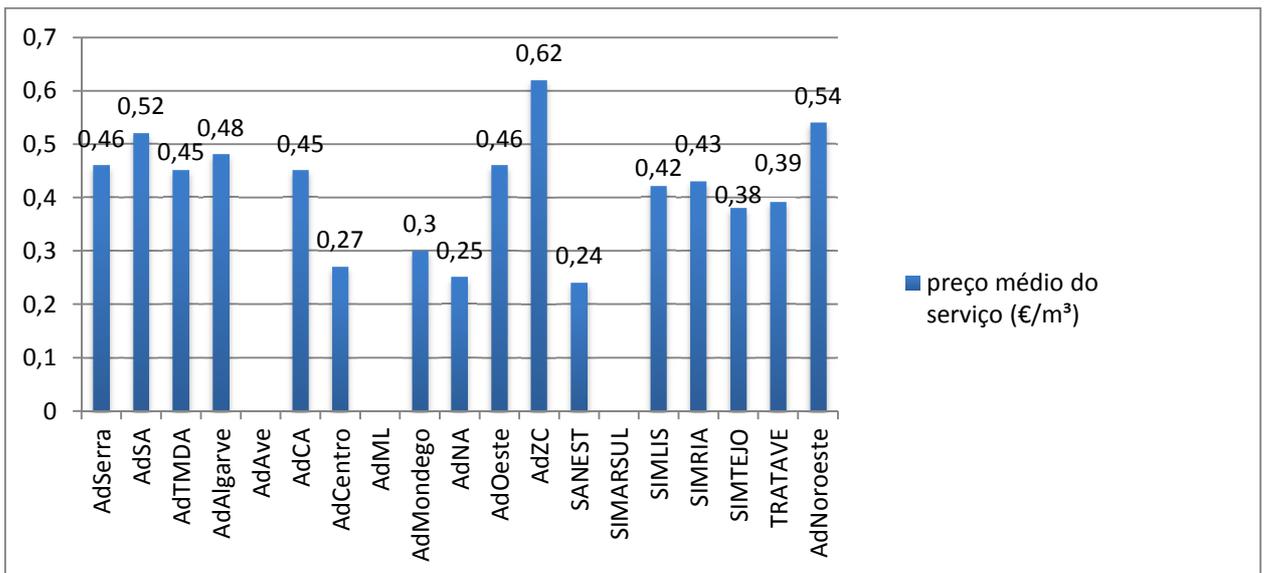
**Gráfico 2: Cumprimento dos Parâmetros de Descarga em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010)**



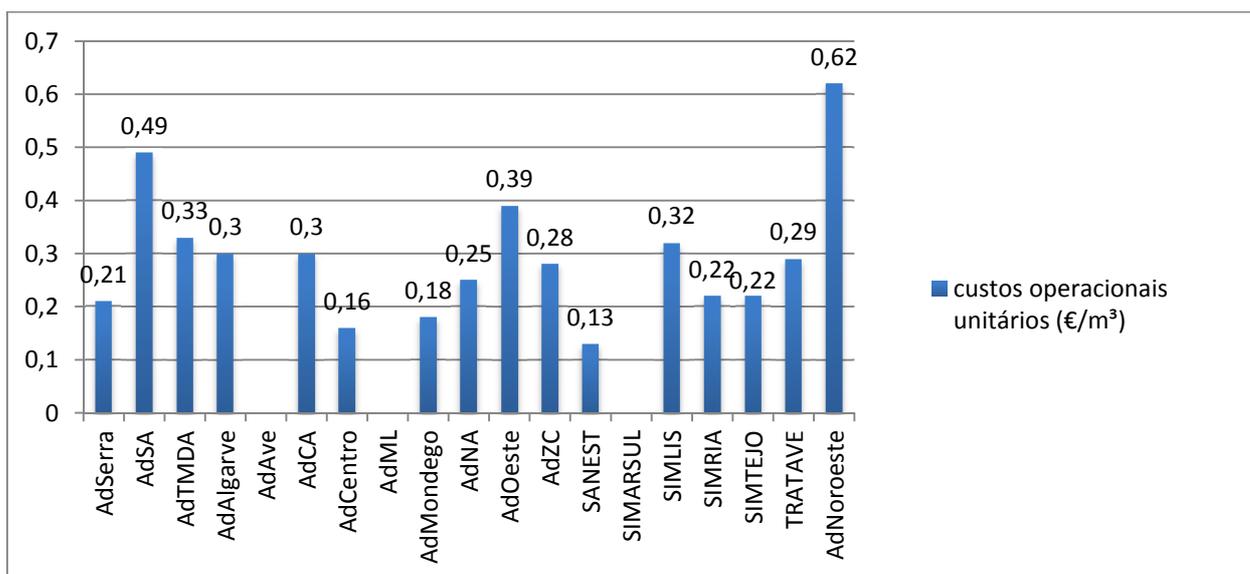
**Gráfico 3: Utilização dos Recursos Energéticos em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010)**



**Gráfico 4: Preço Médio do Serviço em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010)**



**Gráfico 5: Custos Operacionais Unitários em 2010. Fonte: (ERSAR, 2010)**



### 3.3 Caracterização das Estações de Tratamento de Água Residual

Foram coletados dados referentes aos custos de operação e manutenção de 8 estações de tratamento de água residual existentes na bacia do rio Ave, são elas a ETAR Mosteiro, Santo Emilião, Serzedo, Lordelo / Aves, Serzedelo II, Agra II, Ave, e Penices.

As informações a seguir foram retiradas da memória descritiva e justificativa de cada ETAR. Esses documentos foram disponibilizados pela empresa Águas do Noroeste.

#### 3.3.1 ETAR de Agra II

A ETAR de Agra II é uma ampliação da ETAR de Agra I, foi dimensionada para atender a um equivalente populacional de 89 434 hab. Eq., ao qual corresponde a um caudal de 14096m³/dia no ano do horizonte de projeto. O subsistema do Agra atende os municípios de Guimarães, Santo Tirso, Trofa e Vila Nova de Famalicão. As principais características dessa ETAR encontra-se na tabela a seguir.

**Tabela 2: Resumo Características ETAR de Agra II**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de entrada	Elevação inicial	Parafusos de Arquimedes (610 L/s a 10,7m de altura cada)
	Gradagem fina	Tamisador de tambor rotativo, malha 5mm (2180m <sup>3</sup> /h)
Tratamento primário	Desarenamento / desgorduramento	Tanques com 18,8m de comprimento
	correção de PH	Injeção de dióxido de carbono através de grelhas difusoras instaladas no tanque de neutralização
Tratamento secundário	Tratamento biológico de lamas ativadas	Reatores do tipo seletor, seguidos de valas de oxidação com arejamento prolongado
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Coagulação e floculação	2 câmaras de mistura rápida seguidas de 4 câmaras de floculação
	Decantação	Decantadores lamelares de seção retangular
Tratamento de lamas	Espessamento	Espessador mecânico em mesas de espessamento
	Desidratação	Centrífuga de alto rendimento
	Armazenamento	2 silos de 150m <sup>3</sup>



**Figura 3: ETAR Agra II**

### 3.3.2 ETAR do Ave

A ETAR do Ave foi dimensionada para tratar no horizonte de projeto (ano 2036) o caudal médio de 42935 m<sup>3</sup>/dia de um equivalente populacional de 255557 hab. Eq..

Essa ETAR (figura 4) baseia-se num tratamento secundário por lamas ativadas, com 3 reatores biológicos circulares, com remoção de azoto e procedimentos de decantação primária lamelar. As lamas primárias e em excesso são sujeitas a um processo de espessamento, seguindo depois para uma etapa de digestão a quente. Nessa ETAR há o aproveitamento do Biogás.

Segundo consta no Memorial descritivo da ETAR do AVE, os principais constituintes de cada nível de tratamento são:

**Tabela 3: Resumo Características ETAR do Ave**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de entrada	Elevação inicial	2 (+1) Parafusos de Arquimedes cap. 450L/s a 9,8m
	Gradagem mecânica fina	Tamisador de tambor rotativo malha 5mm (1620m <sup>3</sup> /h)
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	Tanques com 18,0m de comprimento
	Decantação primária	Decantador lamelar retangular
Tratamento secundário	Tratamento biológico	reator biológico tipo valas de oxidação com forma circular
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Microtamisação	Discos filtrantes (30µm)
	Desinfecção	Radiação UV
Tratamento de lamas	Espessamento	Espessador gravítico de lamas primárias
		Espessador mecânico de lamas biológicas em excesso em tambores de espessamento
	Estabilização	Digestor anaeróbico a quente e cogeração
	Desidratação	Centrífuga de alto rendimento
	Armazenamento	silos



**Figura 4: ETAR do Ave**

### **3.3.3 ETAR Lordelo / Aves**

O subsistema de Lordelo / Aves foi dimensionado para tratar no horizonte de projeto o caudal médio de 26784 m<sup>3</sup>/dia de um equivalente populacional de 143484 hab. Eq. e possui a descarga de efluente tratado no rio Vizela. A tabela Abaixo mostra um resumo dos principais constituintes de cada nível de tratamento presentes no projeto da ETAR.

**Tabela 4: Resumo Características ETAR Lordelo / Aves**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de entrada	Elevação inicial	Parafusos de Arquimedes (2x(1+1)* 655L/s)
	Gradagem	Tamisador de tambor rotativo, malha 3mm
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	2 linhas de órgãos retangulares (4x11)m
	Correção do PH e tanques de contato	Decantador lamelar retangular
Tratamento secundário	Tratamento biológico por Lamas Ativadas	Reator biológico com oxigênio puro 2x12000m <sup>3</sup>
	Decantação secundária	Decantador de planta circular 4xø32,5m
Tratamento terciário	Filtração terciária	Filtros de areia abertos 3x56,6m <sup>2</sup>
	Desinfecção	Torre de ozonização
Tratamento de lamas	Espessamento	Grelha mecânica de espessamento
	Desidratação	Centrífuga
	Armazenamento	Silos de lama (1x100m <sup>3</sup> )



**Figura 5: ETAR Lordelo / Aves**

### 3.3.4 ETAR de Mosteiro

A ETAR de Mosteiro é a menor ETAR presente nesse estudo, ela foi dimensionada para tratar no horizonte de projeto (ano de 2033) o caudal médio de 860 m<sup>3</sup>/dia de um equivalente

populacional de 4926 hab. Eq.. Essa estação de tratamento descarrega o seu efluente tratado na ribeira de Cantalães.

Essa ETAR serve ao subsistema de Vieira do Minho que inclui as freguesias de Eira Vedra, Tabuaças, Cantelães e de Monsteiro, a zona urbana de Cerdeirinhas e a zona industrial de Pepim, suas principais características encontram-se na tabela abaixo.

**Tabela 5: Resumo Características ETAR Monsteiro**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de Entrada	Elevação inicial com triturador	Bombas submersíveis e triturador mecânico de sólidos grossos
	Gradagem	Gradagem automática do tipo step-screen, com malha de 6mm
Tratamento primário	Desarenamento / desgorduramento	Tanque retangular
Tratamento secundário	Tratamento biológico com remoção de Azoto	Lamas ativadas com arejamento prolongado em canais de oxidação
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Tamisação	Discos filtrantes
	Desinfecção	Radiação UV
Tratamento de lamas	Espessamento	Pré-desidratador mecânico do tipo tambor
	Estabilização	Adição de polielectrólito
	Desidratação	Centrífuga de alto rendimento
	Armazenamento	Silo metálico



**Figura 6: ETAR Monsteiro**

### 3.3.5 ETAR de Penices

A ETAR de Penices está localizada na freguesia de Gondifelos e serve diversas freguesias do conselho de Vila Nova de Famalicão. Ela Foi dimensionada para tratar no horizonte de projeto o caudal médio de 6 214 m<sup>3</sup>/dia de um equivalente populacional de 32 400 hab. Eq.. O efluente tratado pela ETAR de Penices é descarregado no rio Este. Uma imagem da ETAR e as suas respectivas características encontram-se a seguir.

**Tabela 6: Resumo Características ETAR Penices**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de entrada	Elevação inicial com triturador	Bombas submersíveis e triturador mecânico de sólidos grossos
	Gradagem	Gradagem automática do tipo step-screen, com malha de 6mm
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	Tanque retangular
Tratamento secundário	Tratamento biológico com remoção de Azoto	Lamas ativadas com arejamento prolongado em canais de oxidação
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Filtração	Filtros auto limpantes de malha metálica com 80µm
	Desinfecção	Radiação UV
Tratamento de lamas	Espessamento	Pré-desidratador mecânico do tipo tambor
	Desidratação	Centrífuga de alto rendimento
	Armazenamento	siló



**Figura 7: ETAR Penices**

### 3.3.6 ETAR de Santo Emilião

O subsistema de Santo Emilião atende os conselhos de Fafe, Guimarães e Póvoa de Lanhoso. Essa ETAR foi dimensionada para atender um equivalente populacional de 22648 hab. Eq. e tratar um caudal médio de 3182 m<sup>3</sup>/dia de esgoto no ano do horizonte de projeto (ano de 2033). O efluente tratado pela ETAR de Penices é descarregado no rio Ave. As características do processo de tratamento encontram-se a seguir.

**Tabela 7: Resumo Características ETAR de Santo Emilião**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de entrada	Elevação inicial com triturador	Bombas submersíveis e triturador mecânico de sólidos grossos
	Gradagem	Gradagem automática do tipo step-screen, com malha de 6mm
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	Tanque retangular
Tratamento secundário	Tratamento biológico com remoção de Azoto	Lamas ativadas com arejamento prolongado em canais de oxidação
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Desinfecção	Radiação UV
Tratamento de lamas	Espessamento	Pré-desidratador mecânico do tipo tambor
	Desidratação	Centrífuga de alto rendimento
	Armazenamento	Silo



**Figura 8: ETAR Santo Emilião**

### 3.3.7 ETAR de Sarzedelo II

A ETAR de Sarzedelo II é a maior ETAR abordada por este estudo, ela foi projetada para atender um equivalente populacional de 361 096 hab. Eq. e tratar um caudal médio de 51153 m<sup>3</sup>/dia de esgoto no ano do horizonte de projeto. O subsistema de Sarzedelo atende os conselhos de Guimarães, Póvoa de Lanhoso e Vila Nova de Famalicão. Mais informações encontram-se na tabela a seguir.

**Tabela 8: Resumo Características ETAR Serzedelo II**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de Entrada	Elevação inicial	2 (+1) Parafusos de Arquimedes
	Gradagem	Tamisador de tambor rotativo malha 5mm
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	Tanque retangular
	Correção do PH	Injeção de dióxido de carbono através de grelhas difusoras instaladas no tanque de neutralização
Tratamento secundário	Tratamento biológico por Lamas Ativadas	Reatores do tipo seletor, seguidos de valas de oxidação com arejamento prolongado
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Coagulação/floculação	1 câmara de mistura rápida e 4 câmaras de floculação
	Decantação	Decantadores retangulares equipados com módulos lamelares
Tratamento de lamas	Espessamento	Mesas de espessamento
	Desidratação	Centrífuga de alto desempenho
	Armazenamento	2 silos de 150m <sup>3</sup>



**Figura 9: ETAR Serzedelo II**

### 3.3.8 ETAR de Serzedo

A ETAR de Serzedo atende os conselhos de Fafe, Guimarães e Felgueiras, esta ETAR foi dimensionada para atender um equivalente populacional de 97 196 hab. Eq. e tratar um caudal médio de 13772m<sup>3</sup>/dia de esgoto no ano do horizonte de projeto (ano de 2033). As principais características de cada nível de tratamento presente na ETAR estão na tabela abaixo.

**Tabela 9: Resumo Características ETAR de Serzedo**

Nível	Etapa de tratamento	Descrição
Obras de Entrada	Elevação inicial	2 (+1) Parafusos de Arquimedes
	Gradagem	Tamisador de tambor rotativo malha 5mm
Tratamento primário	Desarenamento / desengorduramento	Tanque retangular
	Correção do PH	Injeção de dióxido de carbono através de grelhas difusoras instaladas no tanque de neutralização
Tratamento secundário	Tratamento biológico por Lamas Ativadas	Reatores do tipo seletor, seguidos de valas de oxidação com arejamento prolongado
	Decantação secundária	Decantador de planta circular
Tratamento terciário	Coagulação/floculação	1 câmara de mistura rápida e 4 câmaras de floculação
	Decantação	Decantadores retangulares equipados com módulos lamelares
Tratamento de lamas	Espessamento	Mesas de espessamento
	Desidratação	Centrífuga de alto desempenho
	Armazenamento	2 silos de 150m <sup>3</sup>



**Figura 10: ETAR Serzedo**

## **4. BASE DE DADOS**

Logo no início desta pesquisa, após uma análise da bibliografia disponível sobre o assunto constatou-se uma exiguidade de dados referentes aos custos das ETAR existentes na região Norte de Portugal.

Os dados utilizados nesta pesquisa foram disponibilizados pela empresa Águas do Noroeste, S.A., ela é responsável pelo abastecimento de água e tratamento de águas residuais da região noroeste de Portugal.

A seguir será descrita a metodologia de coleta de dados adotada e os principais dados obtidos serão apresentados.

### **4.1 Metodologia para coleta de dados**

Para que os dados coletados constitua uma amostra representativa, não podendo ser omissos e contraditórios, as ETAR selecionadas devem possuir uma boa manutenção de registros, devem estar operando no mínimo a um ano em condições normais (com um nível de tratamento relativamente constante), isso tem por objetivo eliminar os casos de ETAR que sofreram grandes danos, expansão, modernização, entre outros fatores que possam contribuir para uma análise de custos que não produzam estimativas seguras. (USEPA, 1980)

As fontes de informação relativa aos custos devem ser prioritariamente os registros de gastos reais referentes a cada ETAR. Onde os registros de custos reais não estiverem disponíveis pode ser usado informações orçamentais ou ainda pode ser usada as estimativas feitas pela empresa responsável pela ETAR.

Não existe uma metodologia única para coletar dados com o objetivo de se montar uma estrutura de custos unitários para infraestruturas de água residual, isso acontece porque os dados disponibilizados por empresas ou governo podem estar registrados e organizados das mais diversas formas possíveis.

A metodologia adotada nesta pesquisa foi definida de acordo com a apresentada no relatório técnico publicado pela USEPA (1980). Após o estudo da metodologia descrita nesse trabalho,

foi determinada os principais pontos que foram levados em conta durante a coleta de dados para esta pesquisa, sendo eles:

- a) A ETAR a qual os dados se referem deve ser devidamente caracterizada, sua localização deve ser conhecida, qual a população atendida e a capacidade de tratamento prevista em projeto, fases de tratamento (pré-tratamento, tratamento primário, secundário, terciário, tratamento de lamas, produção e aproveitamento de biogás) e os respectivos órgãos de tratamento presentes em cada um. Saber o período de construção e a data de início da operação também são informações relevantes para uma melhor caracterização dos dados;
- b) O caudal tratado pela ETAR e as concentrações médias diárias da água residual afluente e efluente à estação são informações úteis para os casos em que se deseja obter uma estrutura de custos unitária em função, por exemplo, da porcentagem de CBO<sub>5</sub>, sólidos suspensos ou nutrientes, removidos;
- c) Deve ser conhecido o período em que os dados relativos aos custos foram registrados;
- d) Dada a dificuldade de se encontrar informações sobre o custo total referente a operação e manutenção de ETAR, esse tipo de custo deve ser computado em termos de gastos com energia, mão-de-obra, materiais químicos, equipamentos, materiais, custos administrativos, contratuais, etc..
- e) Para determinar os custos referentes a rede coletora de águas residuais é importante conhecer o comprimento, material e diâmetro das tubulações que funcionam por gravidade e como condutas forçadas, capacidade de bombeamento de projeto de cada e potencia do motor das estações elevatórias, e para determinar os custos de operação e manutenção deve-se seguir a mesma diretriz apontada para os caso das ETAR;

## 4.2 Descrição da Base de Dados

Todos os dados obtidos se referem a custos de empreitada, ou seja, são valores dados pelas empresas responsáveis pela construção de cada ETAR. Esses orçamentos foram disponibilizados pela empresa Águas do Noroeste e não foram transcritos para esse trabalho na íntegra.

Os dados foram organizados da seguinte maneira: os custos de investimento foram subdivididos em custos de construção e custos de equipamentos, mais adiante esses valores serão somados para que seja possível criar as funções de custo.

Após a listagem de todos os itens de interesse para esse trabalho e da recolha dos seus respectivos custos, os mesmos foram agrupados nas seguintes categorias: obras iniciais, tratamento primário, tratamento secundário, tratamento terciário, extras e por fim recolha, tratamento e transporte de lamas.

É importante destacar que alguns custos foram descartados na avaliação econômica, como por exemplo, gastos com pavimentação, reagentes, ou as instalações específicas de cada ETAR por apresentarem uma variabilidade de custos muito grande ou por constituírem um valor isolado, incapaz de produzir alguma equação de custo.

Os custos referente a cada uma das 8 estações de tratamento foram organizados nas tabelas a seguir.

**Tabela 10: Custos de Construção ETAR Agra II**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	102.223,60	33%	Obras iniciais
Obras de entrada	100.478,97		
Estaleiro	709.403,61		
Gradagem	85.454,64		
Desarenadores / desengordurador	85.552,76	16%	Tratamento primário
Tanque de neutralização	111.484,92		
Bacia de emergência	222.036,07		
Tanque de contato	55.724,15		
Reator Biológico	785.166,92	37%	Tratamento secundário
Edifício de Produção de Ar	37.394,48		
Decantador Secundário	289.529,49		
Coagulação/Floculação	205.523,36	7%	Tratamento terciário
Desidratação de lamas	184.326,68	7%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Recirculação de Lamas	15.654,69		
Tubulação e acessórios	23.478,40	1%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	21.591,58		

**Tabela 11: Custos de Equipamentos ETAR Agra II**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)	267.357,56	51,2%	Obras iniciais
Gradagem	12.125.160,00		
Tanque de neutralização	46.870,98	0,2%	Tratamento primário
Desarenadores / desengordurador	9.745.403,00	41,6%	Tratamento secundário
Tanque de arejamento	164.899,14		
Produção de ar	115.610,49		
Decantação secundária	46.189,80		
Coagulação/floculação	38.857,82	0,6%	Tratamento terciário
Decantação lamelar	116.641,14		
Espessamento de lamas	129.668,51	2,3%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Extração de lamas espessadas	44.934,84		
Desidratação de lamas	133.180,10		
Armazenamento de lamas desidratadas	162.447,12		
Transporte de lamas e armazenamento	95.713,94		
Tubagens	304.170,29	4%	Extras
Instalações elétricas, cont. e aut.	652.390,24		
Dosagem e prep. De reagentes	23.618,82		

**Tabela 12: Custos de Construção ETAR do Ave**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	285.473,01	23%	Obras iniciais
Obras de entrada	1.543.476,57		
Estaleiro	233.857,55		
Reator Biológico	3.038.622,12	47%	Tratamento secundário
Edifício de Produção de Ar	273.190,43		
Decantador Secundário	949.855,07		
Filtração, desinf., UV e reutilização	124.670,23	1%	Tratamento terciário
Recirculação de Lamas	104.873,35	16%	Recolha tratamento e transporte de lamas
Espessadores gravídicos	138.998,98		
Digestores Anaeróbicos	626.573,24		
Bombagem de escumas	3.562,08		
Ed. De tratamento de lamas	591.131,76		
Tubulação e acessórios	510.604,28	13%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	170.746,59		
Biogás	18.857,05		
Sistema de desodorização	139.887,44		
Edifício de exploração	296.366,62		
Báscula	22.511,26		

**Tabela 13: Custos de Equipamento ETAR do Ave**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)	501.768,84	9%	Obras iniciais
Gradagem	191.179,83		
Desarenadores / desengordurador	150.740,29	7%	Tratamento primário
Decantação primária	366.410,80		
Produção de ar	272.432,95	11%	Tratamento secundário
Decantação secundária	199.879,25		
Reatores biológicos	206.354,48		
Tanque de pré-desnitrificação	134.409,37		
Microtamisação	312.555,79	7%	Tratamento terciário
Desinfecção	254.099,73		
Transporte e armazenamento de lamas	153.277,81	24%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Espessamento de lamas em excesso	141.505,53		
Extração de lamas em excesso	141.920,02		
Desidratação de lamas	271.197,07		
Armazenamento de lamas desidratadas	327.353,44		
Espessador gravídico de lamas	53.340,13		
Digestores anaeróbicos	199.410,95		
Circuito de aquecimento de lamas	110.105,81		
Biogás	328.626,31		
Armazenamento de lamas digeridas	42.087,25		
Armazenamento de lamas mistas	31.122,51		
Desodorização	535.987,85		
Instalações elétricas, cont. e aut.	1.766.856,02		
Tubagens	886.454,39		

**Tabela 14: Custos de Construção ETAR Serzedelo II**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	268.200,51	23%	Obras iniciais
Obras de entrada	31.533,39		
Estaleiro	557.916,00		
Gradagem	209.529,96		
Desarenadores / desengordurador	82.237,36	11%	Tratamento primário
Tanque de neutralização	77.660,18		
Bacia de emergência	240.442,26		
Tanque de contato	114.514,49		
Reator Biológico	1.182.303,34	40%	Tratamento secundário
Edifício de Produção de Ar	83.633,86		
Decantador Secundário	594.444,99		
Coagulação/Floculação	151.024,51	7%	Tratamento Terciário
Decantação lamelar	161.263,18		
Ed. De desidratação de lamas	187.574,97	5%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Recirculação de Lamas	25.738,60		
Ed. Elevação d lamas em excesso	40.721,71		
Tubulação e acessórios	442.162,49	14%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	221.346,14		
Edifício de exploração	11.601,51		

**Tabela 15: Custos de Equipamentos ETAR Serzedelo II**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)	1.163.670,62	7%	Obras iniciais
Gradagem	175.092,41		
Desarenadores / desengordurador	118.402,95	2%	Tratamento Primário
Tanque de neutralização	210.301,00		
Tanque de arejamento	361.334,85	77%	Tratamento Secundário
Produção de ar	91.334,81		
Decantação secundária	14.079.612,00		
Coagulação/floculação	100.905,59	2%	Tratamento Terciário
Decantação lamelar	192.327,76		
Transporte e armazenamento de lamas	88.883,13	3%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Espessamento de lamas em excesso	101.967,48		
Extração de lamas espessadas	8.437,74		
Desidratação de lamas	200.900,90		
Armazenamento de lamas desidratadas	259.593,96	9%	Extras
Tubagens	319.294,47		
Instalações elétricas, cont. e aut.	1.283.786,66		
Dosagem e prep. De reagentes	35.448,49		

**Tabela 16: Custos de Construção ETAR Lordelo / Aves**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	1.195.103,93	35%	Obras iniciais
Obras de entrada	627.643,66		
Estaleiro	170.731,75		
Tanque de arejamento	1.289.013,46	39%	Tratamento Secundário
Bacia de emergência	248.175,03		
Decantador Secundário	676.750,00		
Filtração + ozono	443.731,58	9%	Tratamento Terciário
Edifício de ozono	44.957,41		
Recirculação de Lamas	33.778,84	5%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Desidratação de lamas	253.415,49		
Tubulação e acessórios	387.995,51	12%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	85.565,55		
Edifício de exploração	186.921,32		

**Tabela 17: Custos de Equipamentos ETAR Lordelo / Aves**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)	510.215,40	2%	Obras iniciais
Gradagem	86.027,31		
Desarenadores / desengordurador	153.593,95	1%	Tratamento Primário
Tanque de neutralização	219.411,76		
Tanque de arejamento	666.447,88	4%	Tratamento Secundário
Produção de ar	572.391,28		
Decantação secundária	172.733,88		
Filtração terciária	30.912.698,00	86%	Tratamento Terciário
Espessamento de lamas em excesso	118.251,54	2%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Extração de lamas espessadas	17.676,55		
Desidratação de lamas	192.279,74		
Armazenamento de lamas desidratadas	176.971,78		
Transporte e armazenamento de lamas	263.557,41		
Instalações elétricas, cont. e aut.	1.093.529,75	5%	Extras
Torre de contato	456.882,72		
Desodorização	323.404,76		

**Tabela 18: Custos de Construção ETAR Santo Emilião**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	21.128,98	3%	Obras iniciais
Estaleiro	11.528,70		
Reator Biológico	441.547,34	53%	Tratamento Secundário
Decantador Secundário	100.778,73		
Ed. De desidratação de lamas	101.039,05	19%	Remoção, tratamento e transporte de lamas
Ed. Dos compressores	36.170,57		
Bombagem de lamas secundárias	16.096,22		
Bombagem de escumas	4.710,29		
Tanque de recepção de lamas	12.082,29		
Leitos de secagem	19.570,19	25%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	181.227,89		
Edifício de exploração	73.507,77		

**Tabela 19: Custos de Equipamento ETAR Santo Emilião**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (bomba) e gradagem	124.547,62	10%	Obras iniciais
Desarenadores	86.548,45	7%	Tratamento Primário
Reatores biológicos	116.353,95	13%	Tratamento secundário
Decantação secundária	50.203,68		
Filtração e desinfecção	140.844,70	11%	Tratamento terciário
Recepção de lamas de outras ETAR	15.231,10	19%	Remoção, tratamento e transporte de lamas
Desidratação de lamas	227.472,27		
Instalações elétricas, cont. e aut.	317.869,96	40%	Extras
Poço de escorrência	5.736,34		
Desodorização	174.683,50		

**Tabela 20: Custos de Construção ETAR Penices**

<b>Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fases</b>
Movimentação de terra	121.957,66	13%	Obras iniciais
Estaleiro	11.528,21		
Reator Biológico	414.849,45	55%	Tratamento Secundário
Decantador Secundário	155.980,77		
Filtração, desinfecção	25.972,57	3%	Tratamento terciário
Bombeamento de lamas secundárias	13.777,49	13%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Bombeamento de escumas	9.929,89		
Ed. Desidratação de lamas	85.206,60		
Edifício dos compressores	30.726,38		
Instalações hidro-sanitárias	89.340,67	16%	Extras
Edifício de exploração	78.826,93		

**Tabela 21: Custos de Equipamentos ETAR Penices**

<b>Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fases</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)+grad	2.708,93	0,2%	Obras iniciais
Desarenadores	94.346,88	7,9%	Tratamento Primário
Reatores biológicos	144.882,73	18,4%	Tratamento Secundário
Decantação secundária	75.447,98		
Desidratação de lamas	336.210,02	28,1%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Instalações elétricas, cont. e aut.	405.203,19	45,3%	Extras
Desodorização	135.770,26		

**Tabela 22: Custos de Construção ETAR Monsteiro**

<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	31.375,96	27%	Obras iniciais
Obras de entrada	122.907,96		
Estaleiro	11.528,70		
Desarenadores / desengordurador	133.007,59	21%	Tratamento primário
Decantador Secundário	40.063,42	6%	Tratamento secundário
Tamisadores, desinf. UV	9.367,13	2%	Tratamento terciário
Espessadores mecânico	14.223,83	15%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Bombagem de lamas secundárias	6.637,17		
Ed. De tratamento de lamas	12.147,05		
Leitos de secagem+ desidrat. de lamas	55.738,67		
Bombeamento de escumas	4.635,24		
Instalações hidro-sanitárias	130.433,37	29%	Extras
Edifício de exploração	52.376,50		

**Tabela 23: Custos de Equipamentos ETAR Monsterio**

<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)+ grad	123.919,97	12%	Obras iniciais
Desarenadores	72.747,09	7%	Tratamento primário
Decantação secundária	24.604,05	9%	Tratamento secundário
Reatores biológicos	69.674,69		
Filt. E desinfecção	89.342,89	9%	Tratamento terciário
Desidratação de lamas	172.449,03	18%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Espessamento e leitos de secagem	11.342,94		
Instalações elétricas, cont. e aut.	330.065,66	43%	Extras
Desodorização	101.604,93		

**Tabela 24: Custos de Construção ETAR Serzedo**

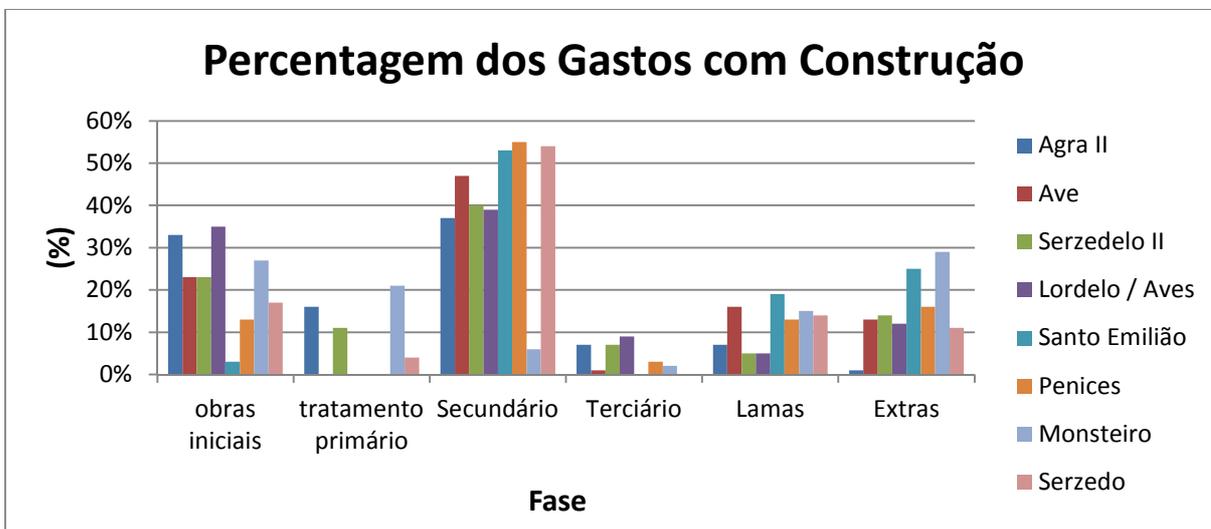
<b>Custos de Construção</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor (€)</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Movimentação de terra	65.843,30	17%	Obras iniciais
Obras de entrada	296.777,51		
Estaleiro	230.872,00		
Bacia de emergência	126.790,41	4%	Tratamento Primário
Reator Biológico	1.317.882,30	54%	Tratamento secundário
Edifício de Produção de Ar	64.058,39		
Decantador Secundário	450.157,86		
Bombagem de lamas secundárias	63.834,94	14%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Coagulação/floculação e decantação	274.905,05		
Leitos de secagem+ desidrat. de lamas	121.699,38		
Tubulação e acessórios	187.331,54	11%	Extras
Instalações hidro-sanitárias	67.727,16		
Edifício de exploração	132.765,14		

**Tabela 25: Custos de Equipamento ETAR Serzedo**

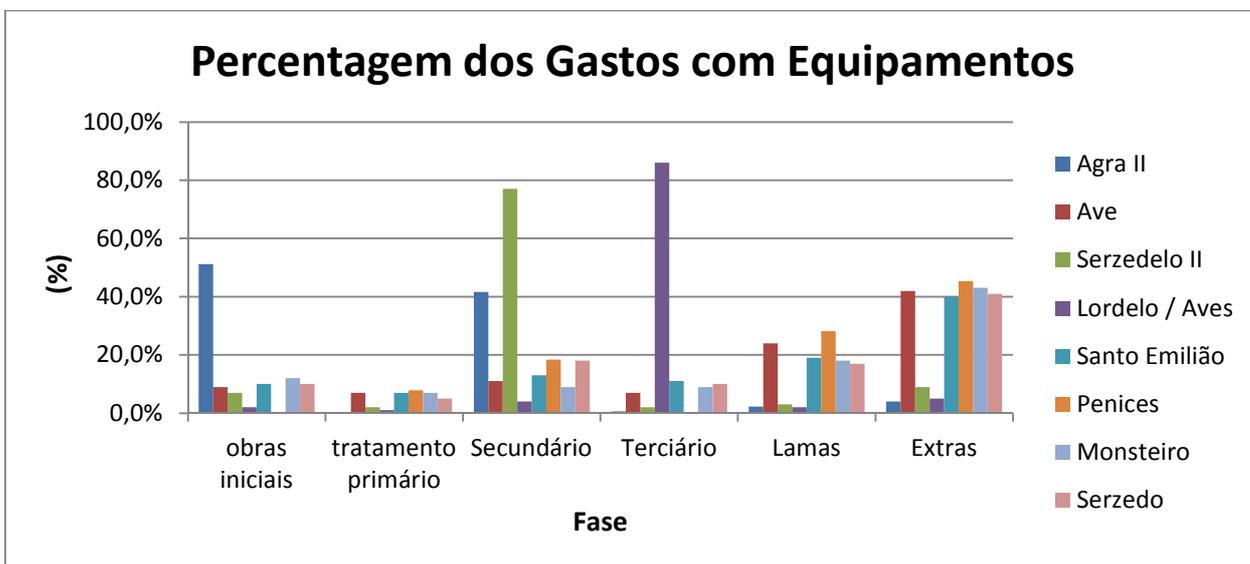
<b>Custos de Equipamentos</b>			
<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>	<b>Fase</b>
Elevação Inicial (Arquimedes)+ grad	€ 174.843,21	10%	Obras iniciais
Gradagem	€ 73.078,20		
Desarenadores	€ 74.144,35	5%	Tratamento Primário
Tanque de neutralização	€ 41.423,15		
Tanque de arejamento	€ 231.584,87	18%	Tratamento secundário
Produção de ar	€ 131.373,54		
Decantação secundária	€ 66.308,26		
Coagulação/floculação	€ 100.944,62	10%	Tratamento terciário
Decantação lamelar	€ 127.382,07		
Transporte e armazenamento de lamas	€ 33.052,73	17%	Recolha, tratamento e transporte de lamas
Espessamento de lamas em excesso	€ 109.733,68		
Extração de lamas espessadas	€ 4.285,34		
Desidratação de lamas	€ 16.630,38		
Armazenamento de lamas desidratadas	€ 183.946,98		
Elevação de lamas em excesso	€ 14.752,95		
Recirculação de lamas	€ 38.514,86		
Dosagem e prep. de reagentes	€ 26.705,31	41%	Extras
Tubagens	€ 110.000,74		
Instalações elétricas, cont. e aut.	€ 832.627,21		

Os gráficos a seguir mostram a percentagem de gastos em construção e em equipamentos por fase de tratamento para cada ETAR.

**Gráfico 6: Percentagem dos Gastos com Construção por ETAR Subdivididos em Fases**



**Gráfico 7: Percentagem dos Gastos com Equipamentos por ETAR Subdivididos em Fases**



Analisando os gráficos acima percebe-se que no caso dos custos de construção da ETAR, os gastos se concentram mais no tratamento secundário, já no caso dos custos com equipamentos não há uma concentração dos gastos em nenhuma das 6 fases.

## 5. CUSTOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Os custos de investimento, operação e manutenção de um sistema de coleta e tratamento de águas residuais dependem de inúmeros fatores entre eles localização, características do terreno, clima, caudal a ser tratado, qualidade final do efluente, etc.

Os fatores mencionados acima e sua previsível variação de um local para o outro fazem com que a determinação dos custos de sistemas de coleta e tratamento de efluentes seja uma tarefa complicada, porém isso é essencial e deve ser feito juntamente com a fase de planejamento da obra e revista após cada etapa da mesma.

Mesmo com a falta de previsibilidade dos fatores que influenciam os custos de infraestrutura de águas residuais, é possível elaborar uma estrutura de custos unitários típicos e com isso criar funções de custo capazes de dar uma ideia da ordem de grandeza dos custos totais de investimento desses sistemas.

Nesse capítulo serão apresentadas algumas funções de custo existentes na bibliografia internacional que auxiliam na determinação dos custos de infraestrutura de águas residuais. Também será descrita a metodologia usada neste trabalho para elaborar as funções de custo específicas para a região Norte de Portugal. Ao final do capítulo, gráficos com os resultados obtidos serão apresentados.

### 5.1 Funções de Custo

As funções de custo são capazes de dar uma estimativa dos custos futuros de um empreendimento, esse tipo de função relaciona os custos de produção, investimento e manutenção, com o nível de produção e com outros fatores que podem ser controlados pelas empresas. As funções de custo mais comuns são lineares ( $C = \beta Q$ ), quadráticas ( $C = \beta Q + \lambda Q^2$ ) ou cúbicas ( $C = \beta Q + \lambda Q^2 + \delta Q^3$ ) (Pindykc & Rubinfeld, 2002).

Nas funções citadas acima  $C$  representa os custos,  $Q$  é uma variável independente e  $\beta$ ,  $\delta$  e  $\lambda$  são parâmetros que dependem dos dados de que se dispõe, esses parâmetros assim como a ordem da expressão devem ser estimados de acordo com os dados disponíveis. Isso significa

que as características do efluente e a região onde se encontra a ETAR irão influenciar diretamente na determinação das funções de custo.

Devido a dificuldade de prever o comportamento futuro dos preços e como há falta de informação a cerca de gastos em geral, é muito difícil determinar com precisão os custos reais de um empreendimento, por isso as funções de custo podem apenas dar um valor de referência, ou seja, uma estimativa do valor real, mesmo assim, esse tipo de função é fundamental no auxílio da tomada de decisão sobre a viabilidade ou não de um projeto.

Segundo o trabalho de Friedler & Pisanty (2006), estudos econômicos anteriores sobre os custos de estações de tratamento de águas residuais mostram que os fatores que mais influenciam nos custos desse tipo de empreendimento são o tamanho da ETAR (medido pelo caudal tratado ou pelo equivalente populacional atendido), tipo de esgoto a ser tratado (doméstico, industrial, etc.) e da qualidade do efluente final. Geralmente as funções de custo para estações de tratamento de esgoto aparecem na forma de equações exponencial do tipo:

$$C = a \cdot x^b \quad (5.1)$$

Na equação acima  $C$  é o custo total,  $a$  é um coeficiente e  $b$  é chamado de power coeficiente, que geralmente apresenta valores menores que 1 (Friedler & Pisanty, 2006).

## **5.2 Funções de Custo Para o Norte de Portugal**

No presente trabalho foram desenvolvidas apenas funções de custo de investimento, uma vez que não foi possível proceder a tarefa de recolha e organização dos custos de operação e manutenção das estações de tratamento de água residual, porém a metodologia aqui apresentada pode também ser utilizada para a elaboração de funções de custo de operação e manutenção.

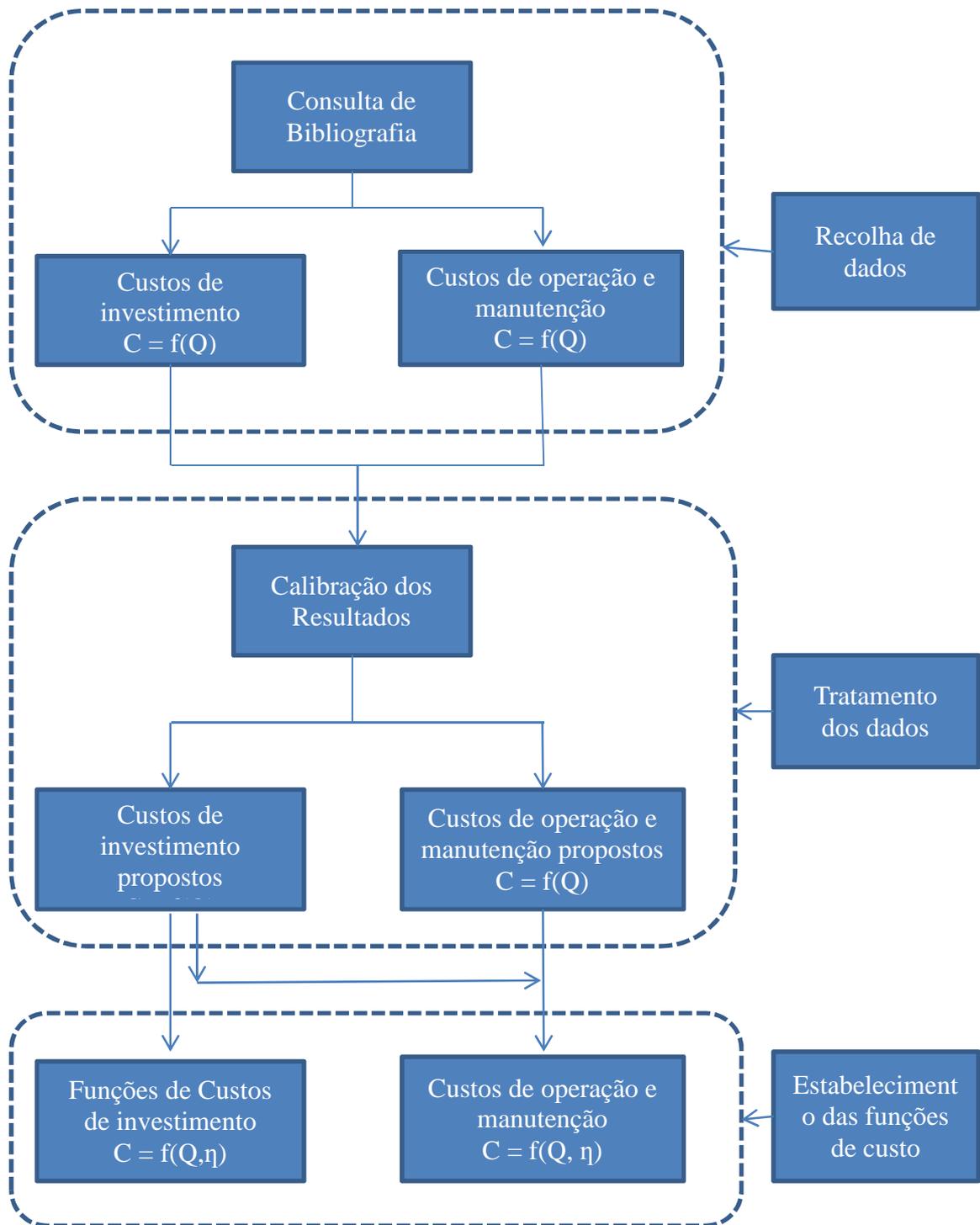
A seguir será apresentada a metodologia adotada na confecção das funções de custo de investimento e os resultados obtidos após o tratamento dos dados.

### 5.2.1 Metodologia adotada

Para estabelecer as funções de custo deste trabalho, levando em consideração a dificuldade na obtenção dos dados necessários, adotou-se a mesma metodologia usada no trabalho de Vieira (1986). Os passos seguidos estão descritos a seguir.

- a) Recolha de dados junto a empresas responsáveis pelo setor de saneamento em Portugal e em bibliografia nacional e internacional a fim de construir uma base coerente que auxilie na elaboração de funções de custos;
- b) Escolha dos itens de interesse e organização dos dados de custo obtidos das estações de tratamento portuguesas.
- c) Atualização dos valores obtidos para o ano de 2013, considerando a data de registro dos dados referentes aos custos como sendo a data de consignação de cada ETAR;
- d) Criação de dados de dispersão de pontos com os dados utilizados, neste trabalho foi definido que os gráficos possuem no eixo vertical os custos e no eixo horizontal o caudal de tratamento de projeto, o equivalente populacional, porcentagem de remoção de  $CBO_5$ , mas os mesmos também podem ter no eixo horizontal outros parâmetros como eficiência de remoção de nutrientes;
- e) Obtenção da equação matemática definidora da função de custo de investimento, operação e manutenção e custos totais com auxílio de regressão matemática feita pelo software Excel no gráfico de dispersão de pontos.

A figura 11 mostra um esquema que ilustra a metodologia adotada para que fosse possível criar as funções de custos de investimento para estações de tratamento de água residual.



**Figura 11: Metodologia seguida na determinação de funções de custo de ETAR**

Fonte: (Vieira, 1986)

## 5.2.2 Funções de custo de investimento

Os investimentos são divididos ao longo do tempo e este, por sua vez, possui um valor monetário, por isso ao investir certo valor, o investidor espera que com o passar do tempo ocorra a valorização monetária do montante investido (Jelen & Black, 1985).

De acordo com Jelen & Black (1985), supondo um valor presente  $P$  aplicado a taxa  $i$  por ano, seja  $S$  o valor futuro e  $n$  a quantidade de anos que se passou, tem-se:

$$S = P.(1+i)^n \quad (5.2)$$

Onde  $S$  é o valor futuro,  $P$  é o valor presente,  $n$  é o número de anos e  $i$  é a taxa de crescimento.

Caso seja necessário obter o valor presente de investimento em função do valor futuro a equação 2.1 pode ser escrita da seguinte forma:

$$P = S.(1+i)^{-n} \quad (5.3)$$

Como os gastos listados neste trabalho são distribuídos ao longo do tempo é necessário transformar todas as quantias para um Valor futuro “ $S$ ”, assim é possível fazer uma comparação entre os valores e construir as equações de custo.

Foi considerado que os gastos com a construção das estações de tratamento de água residual estão distribuídos ao longo do tempo como uma parcela única paga na data de consignação de cada obra. Essas datas também foram fornecidas pela empresa Águas do Noroeste e encontram-se listadas na tabela 26.

Os custos de investimento foram atualizados para o ano de 2013, através da composição de juros compostos (Equação 5.2). Neste trabalho, optou-se por usar uma taxa de juro média entre os anos de 2006 e 2013, igual a 4%.

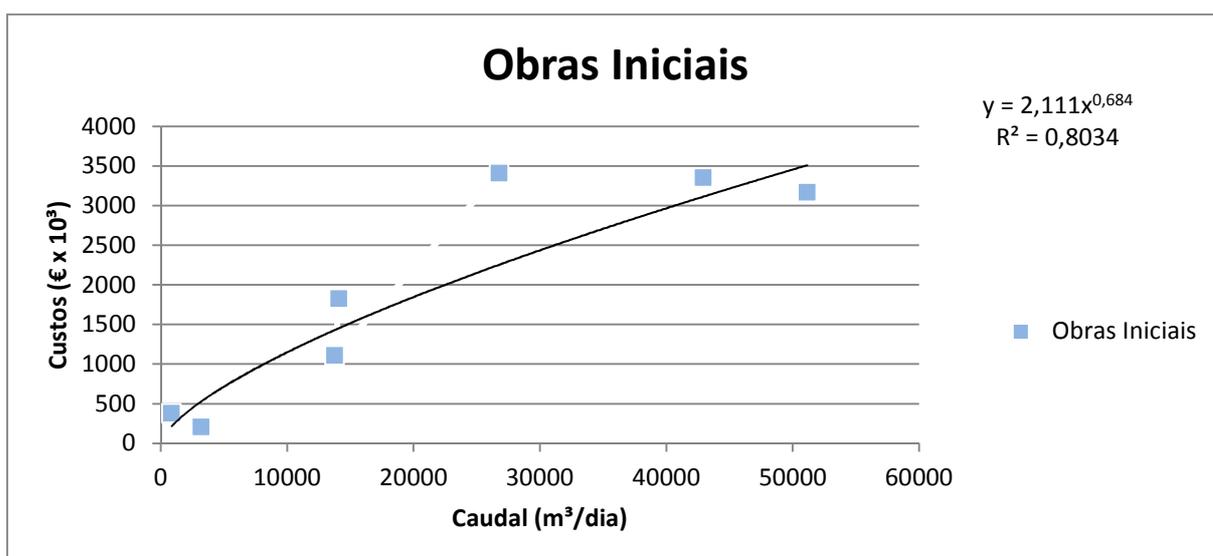
$$S = P . (1 + 0,04)^n \quad (5.4)$$

**Tabela 26: Datas de Consignação e Inauguração das estações de tratamento**

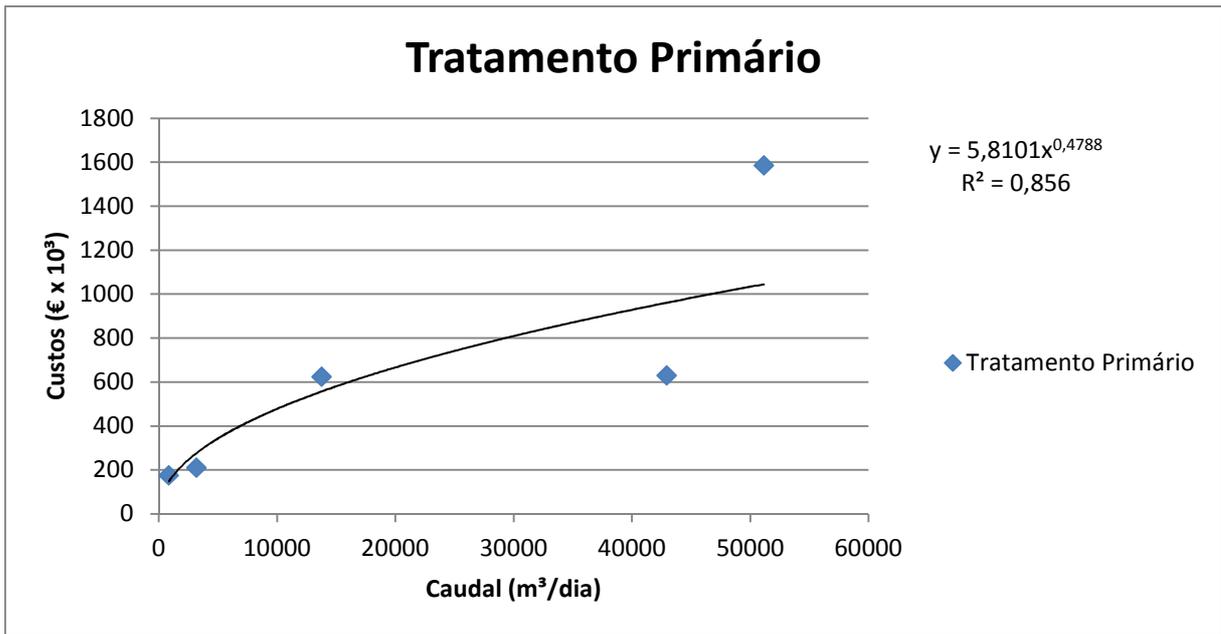
ETAR	Datas	
	Consignação	Inauguração
Agra II	13/11/2006	24/08/2011
Ave	17/12/2008	15/02/2011
Lordelo / Aves	11/09/2006	22/02/2010
Mosteiro	06/11/2006	21/12/2009
Penices	13/06/2007	30/09/2009
Santo Emilião	08/05/2006	08/05/2006
Serzedelo II	16/10/2006	02/06/2010
Serzedo	26/01/2006	02/06/2008

Após a atualização dos valores presentes nas tabelas 10 a 25, os mesmos foram organizados em gráficos de dispersão de pontos e com o software Excel foi feita uma linha de tendência a fim de se obter uma equação capaz de descrever os custos de investimento. Os pontos que se afastavam muito dessa linha de tendência foram descartados a fim de diminuir possíveis erros. A seguir são apresentados todos os gráficos e equações obtidos após essa etapa.

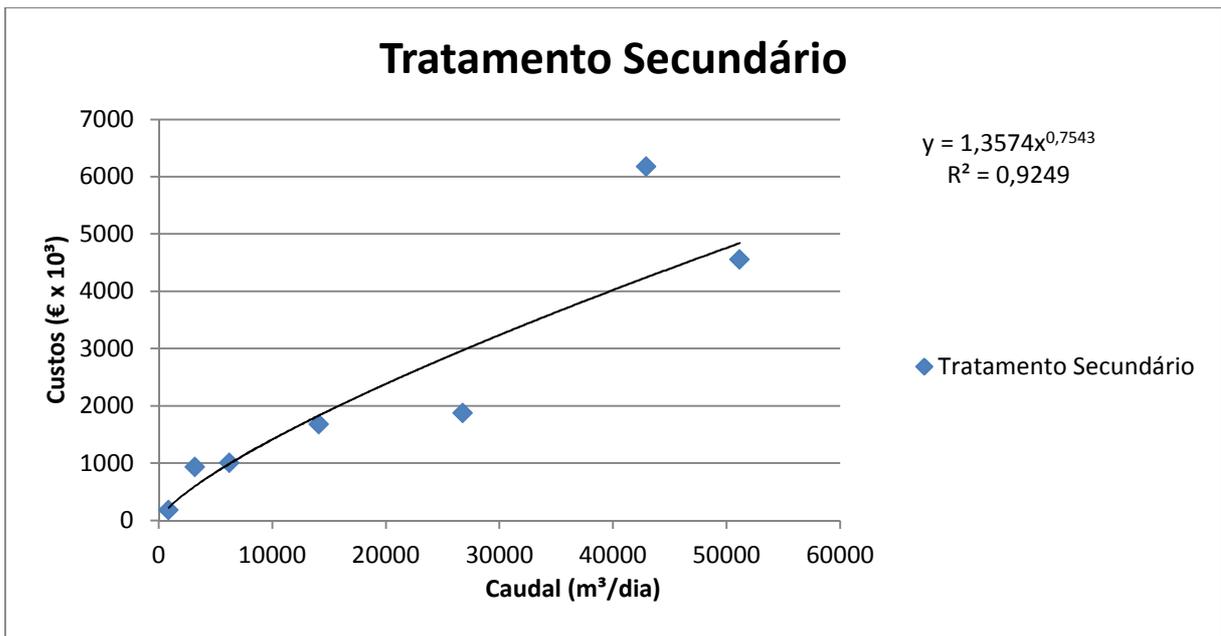
**Gráfico 8: Custos de Investimento em Função do Caudal - Obras Iniciais**



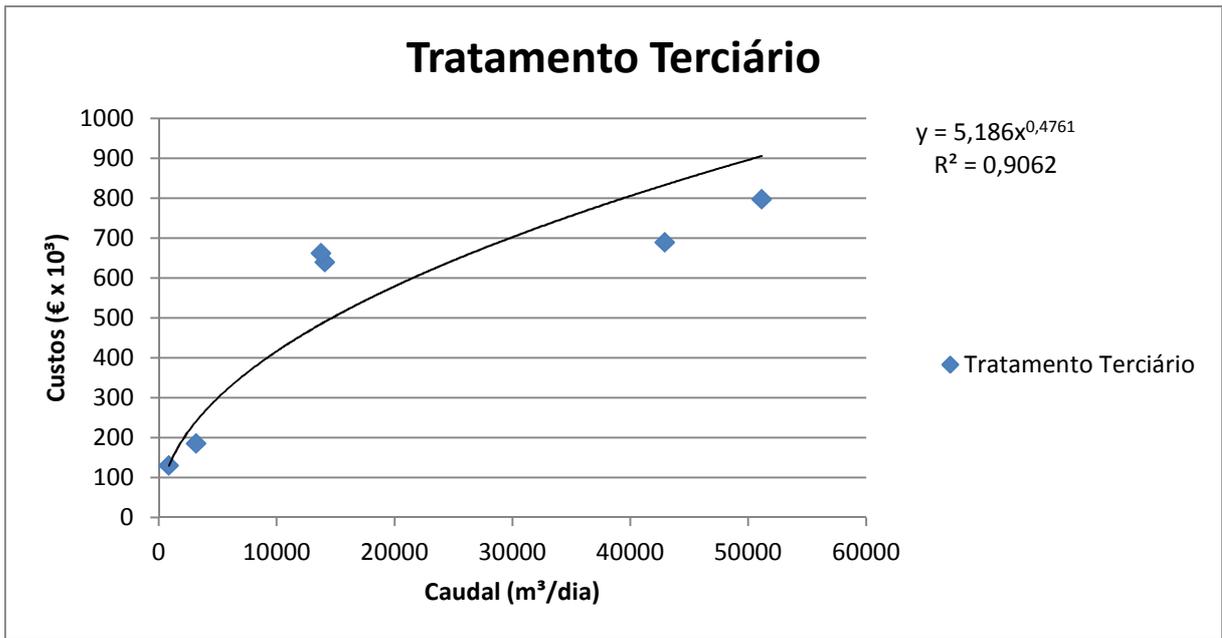
**Gráfico 9: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Primário**



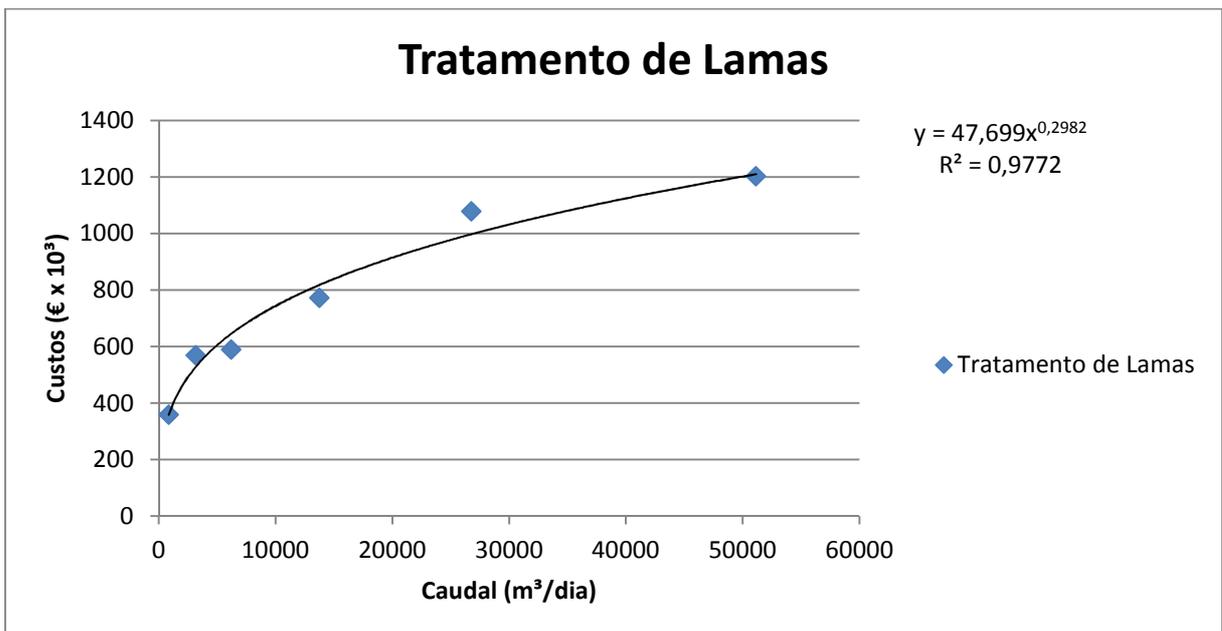
**Gráfico 10: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Secundário**



**Gráfico 11: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento Terciário**

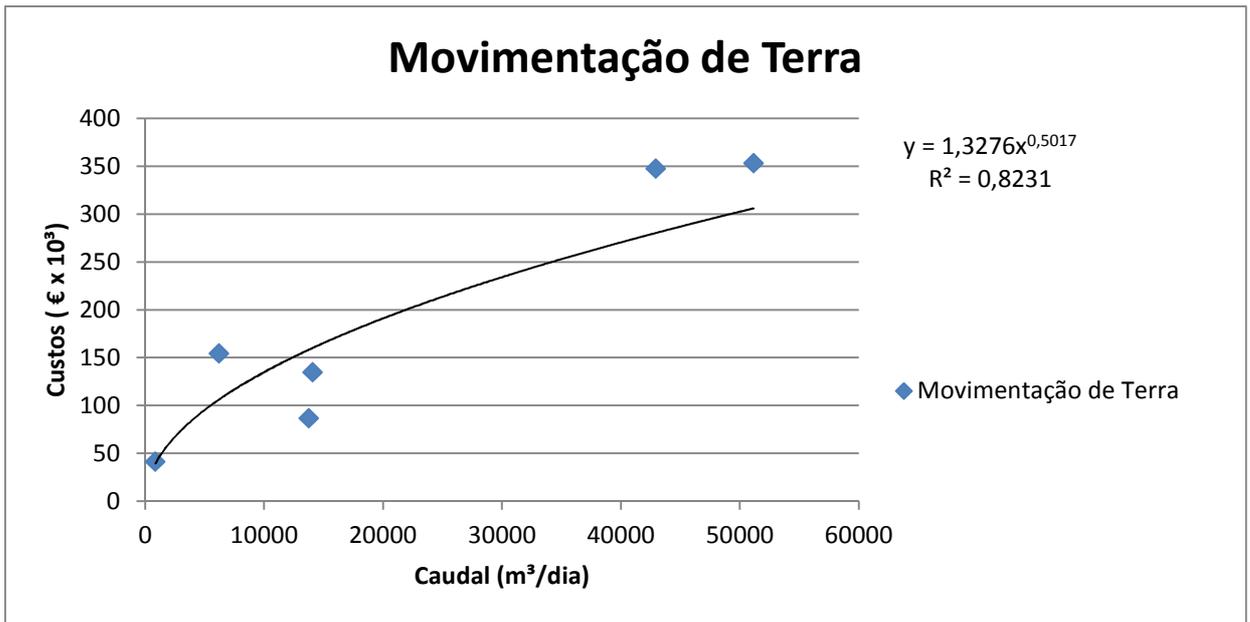


**Gráfico 12: Custos de Investimento em Função do Caudal - Tratamento de Lamas**

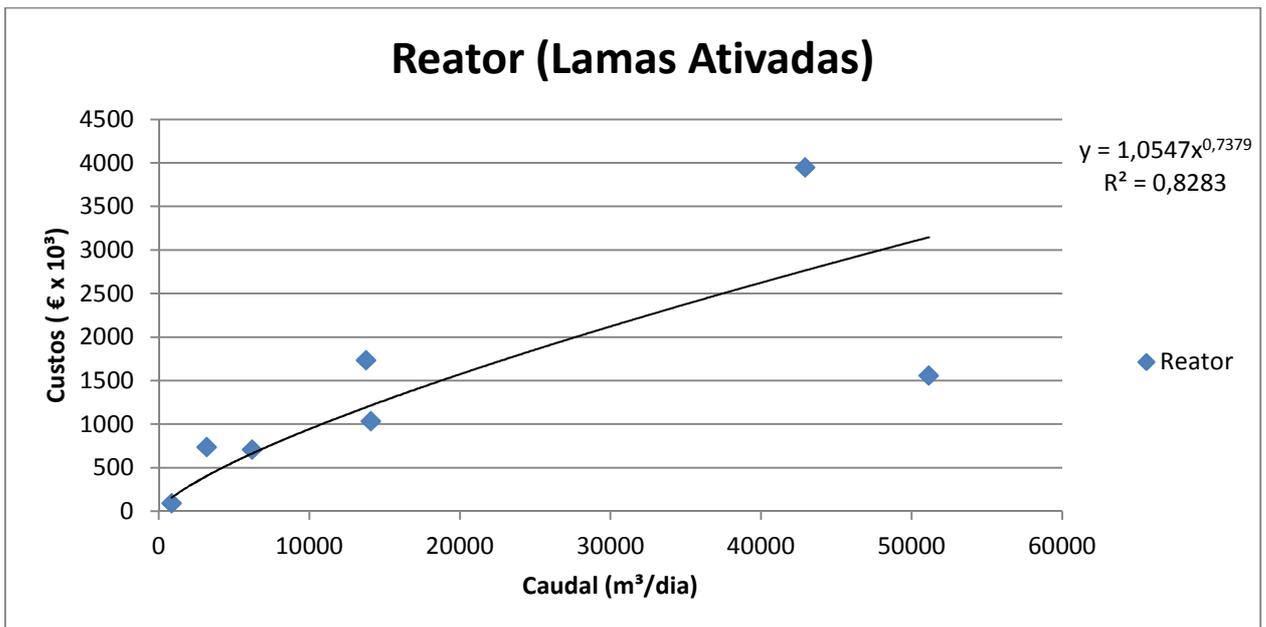


Os custos de algumas componentes do processo de tratamento puderam ser avaliadas isoladamente. Os gráficos e as funções presentes em cada um deles podem ser vistos a seguir.

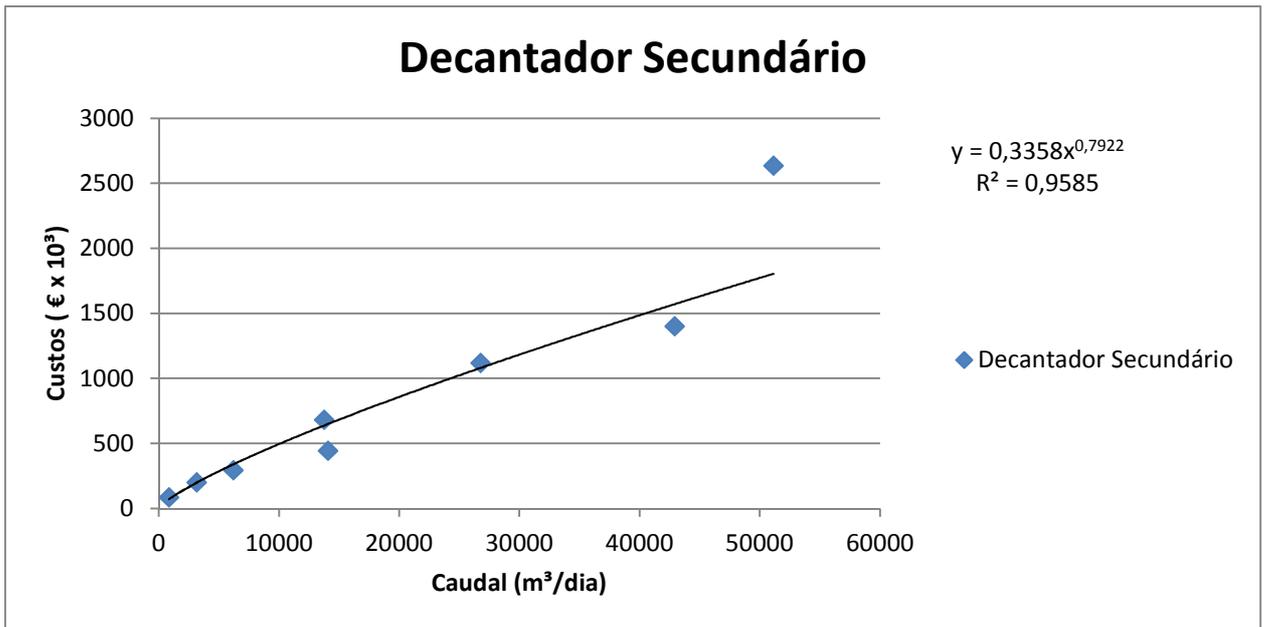
**Gráfico 13: Custos de Investimento em Função do Caudal - Movimentação de Terra**



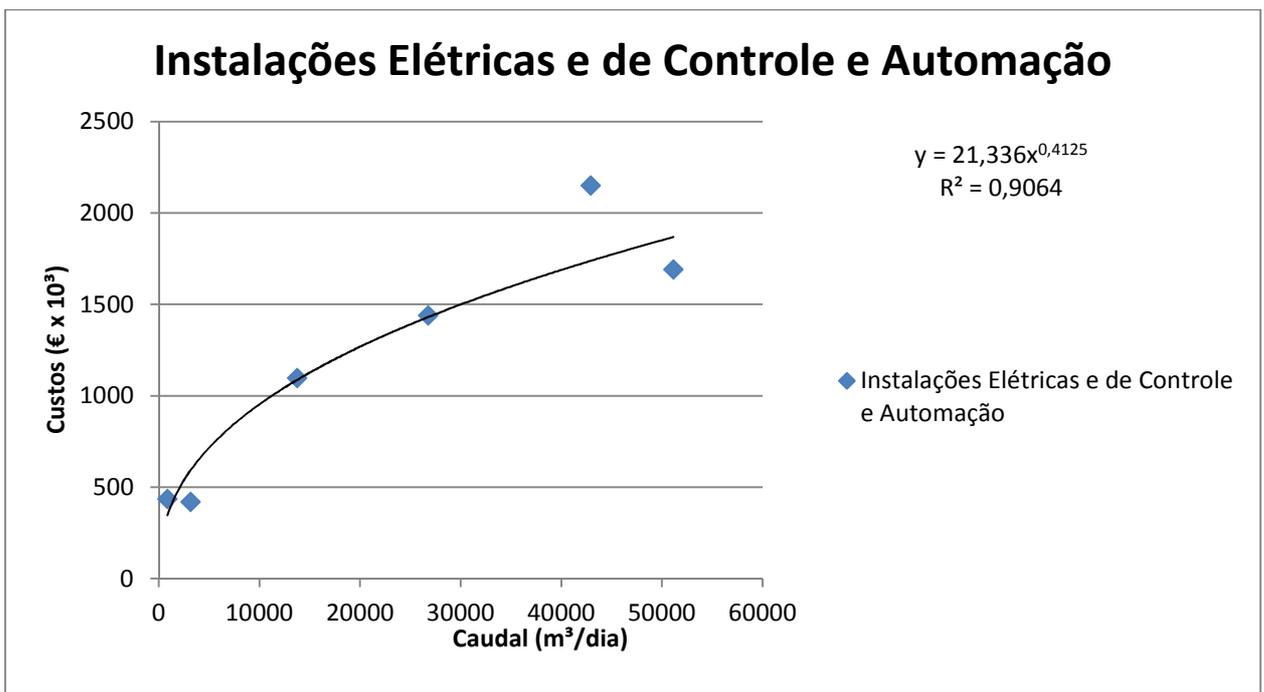
**Gráfico 14: Custos de Investimento em Função do Caudal - Reator (Lamas Ativadas)**



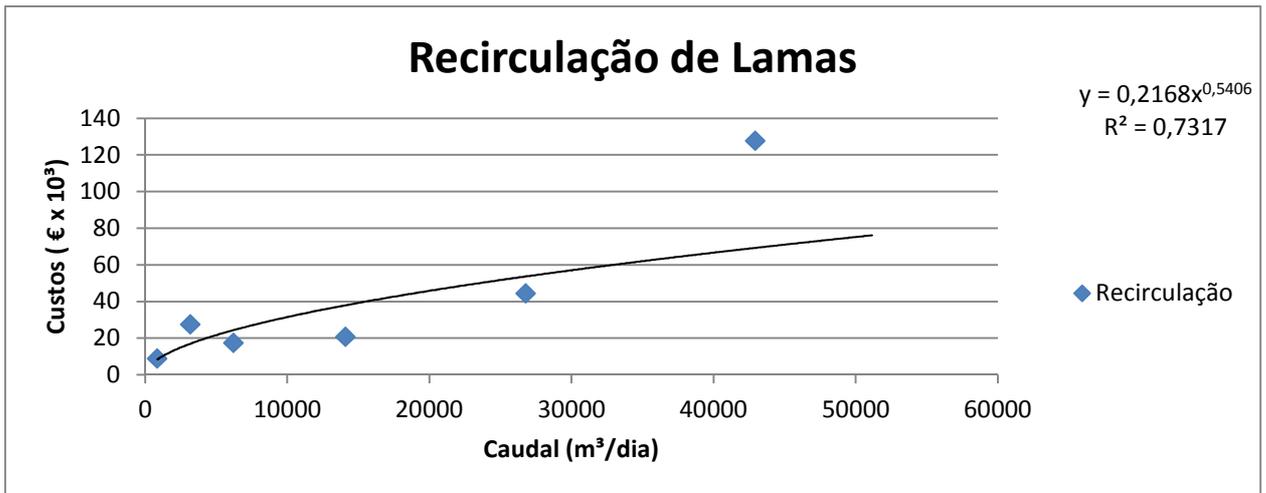
**Gráfico 15: Custos de Investimento em Função do Caudal - Decantador Secundário**



**Gráfico 16: Custos de Investimento em Função do Caudal - Instalações Elétricas e de Controle e Automação**



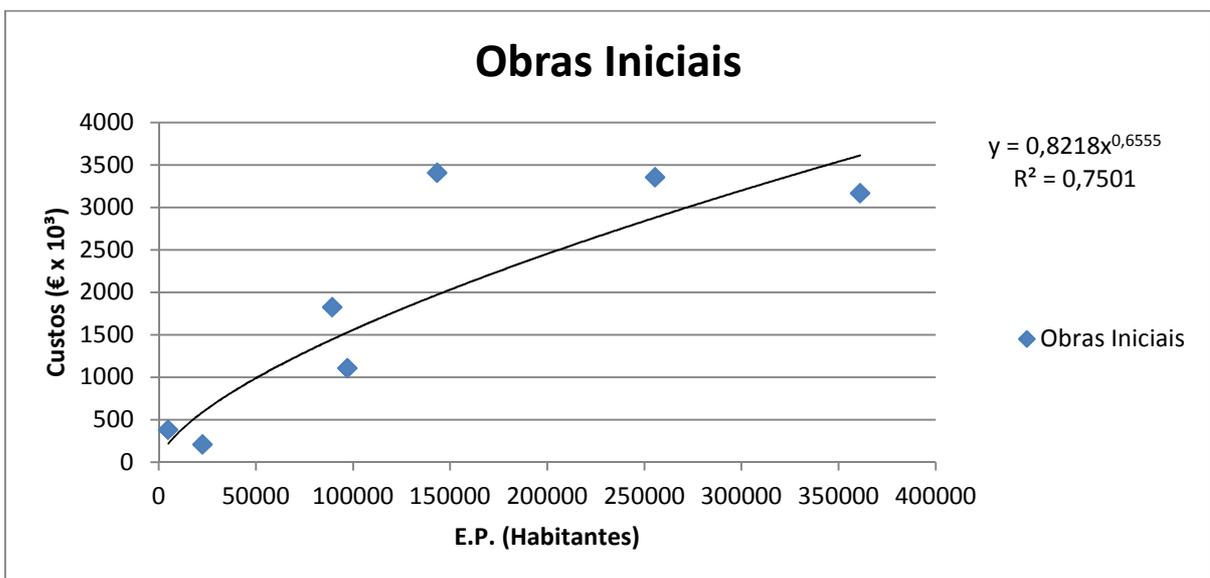
**Gráfico 17: Custos de Investimento em Função do Caudal - Recirculação de Lamas**



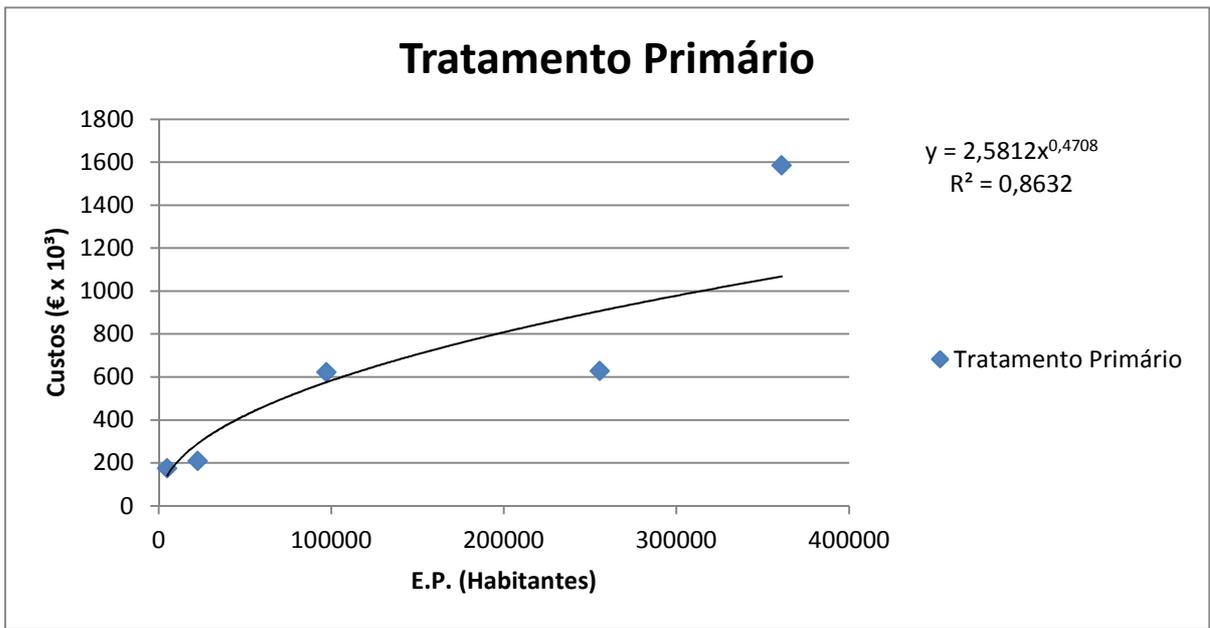
As equações que aparecem nos gráficos acima descrevem a curva de custos de cada gráfico, nelas Y é o eixo vertical definido pelos custos de investimento e x é o eixo horizontal definido pelo caudal de dimensionamento da ETAR.

Todos os gráficos e funções apresentados anteriormente possuem como variável independente o caudal em m³/dia. O mesmo procedimento foi usado para elaborar os gráficos e funções de custo que podem ser usadas para calcular o valor de investimento em função do Equivalente Populacional (E.P.) de dimensionamento da ETAR. Esses resultados aparecem nos gráficos a seguir.

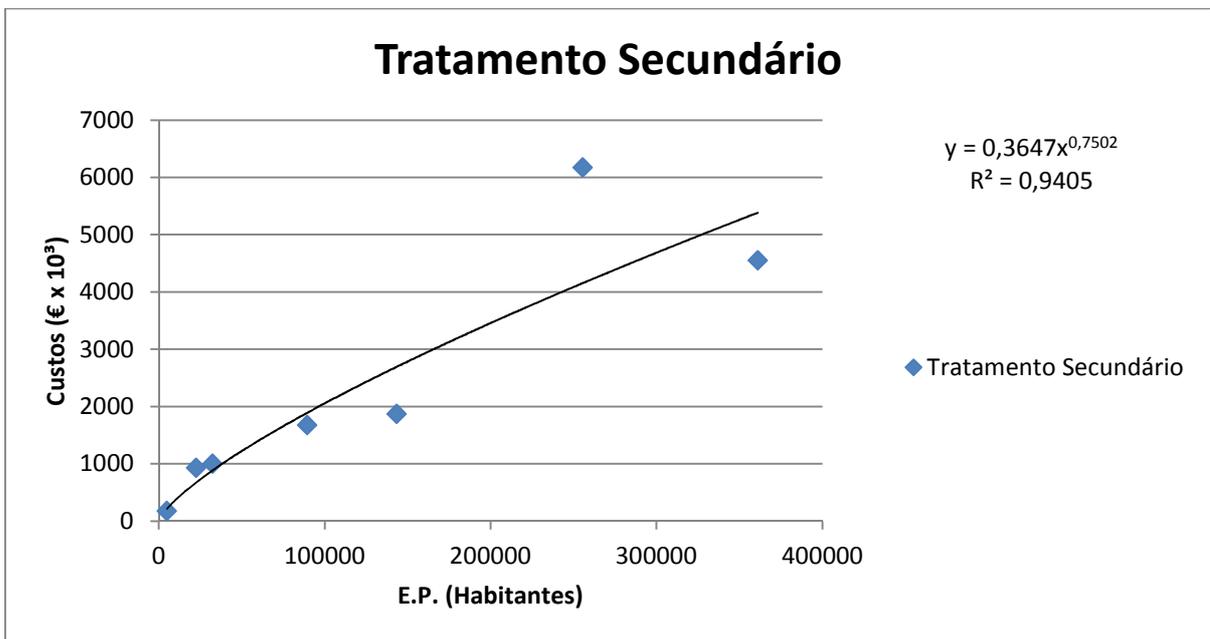
**Gráfico 18: Custos de Investimento em Função de E.P. - Obras Iniciais**



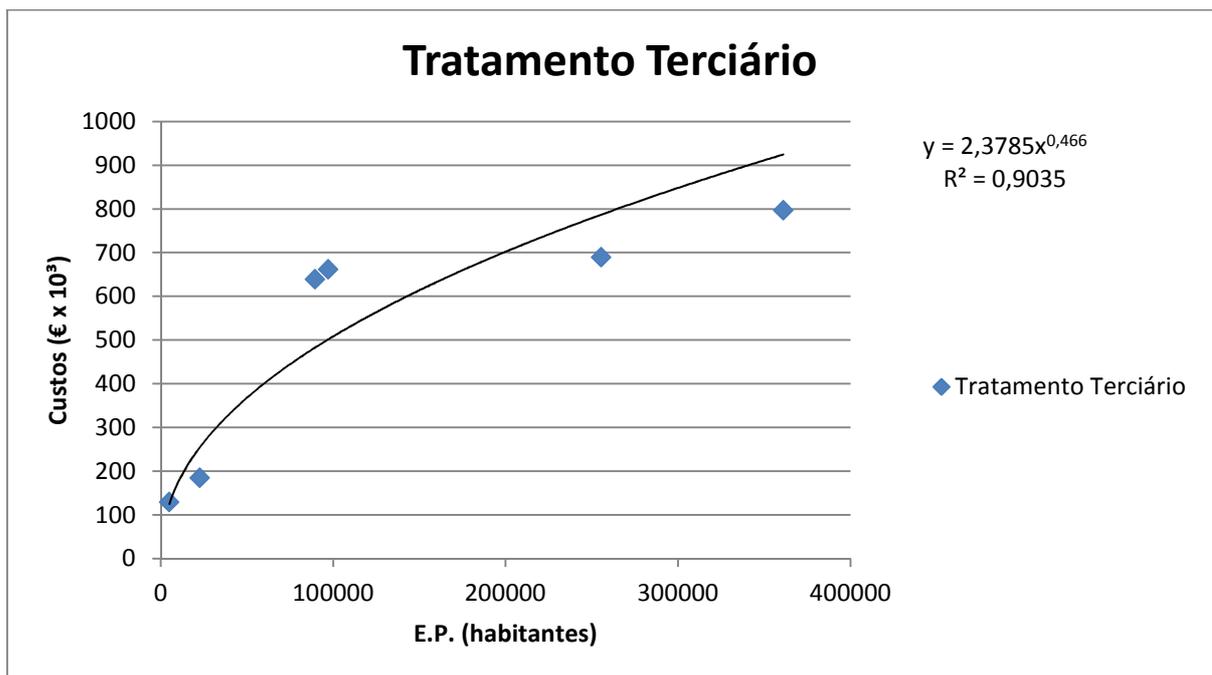
**Gráfico 19: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Primário**



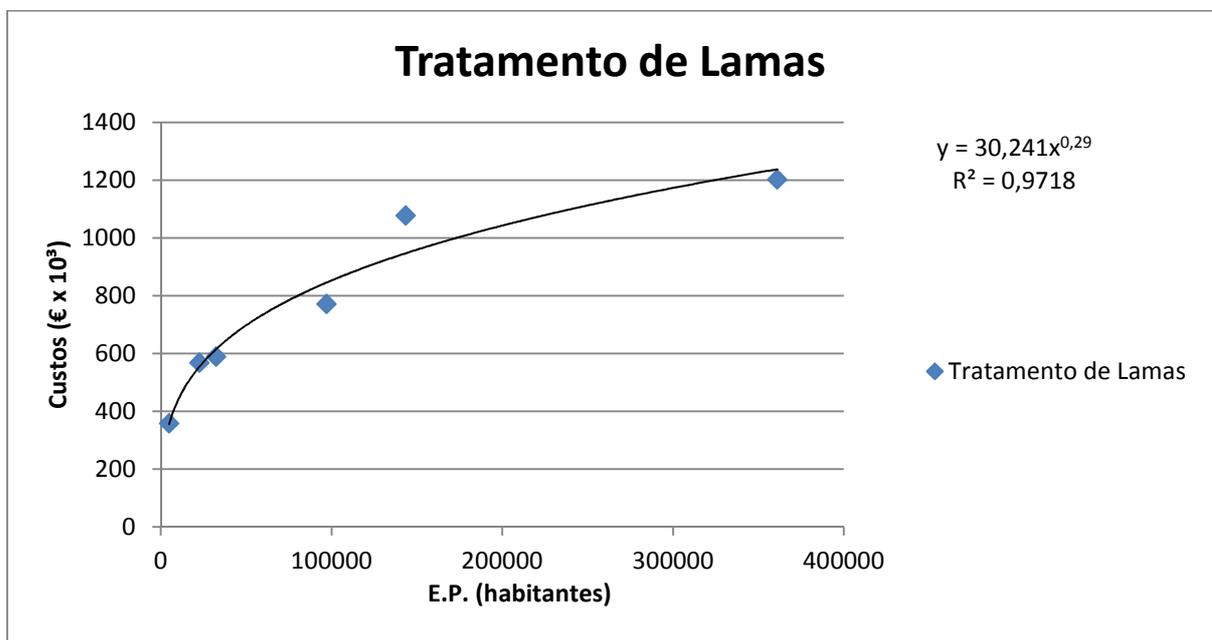
**Gráfico 20: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Secundário**



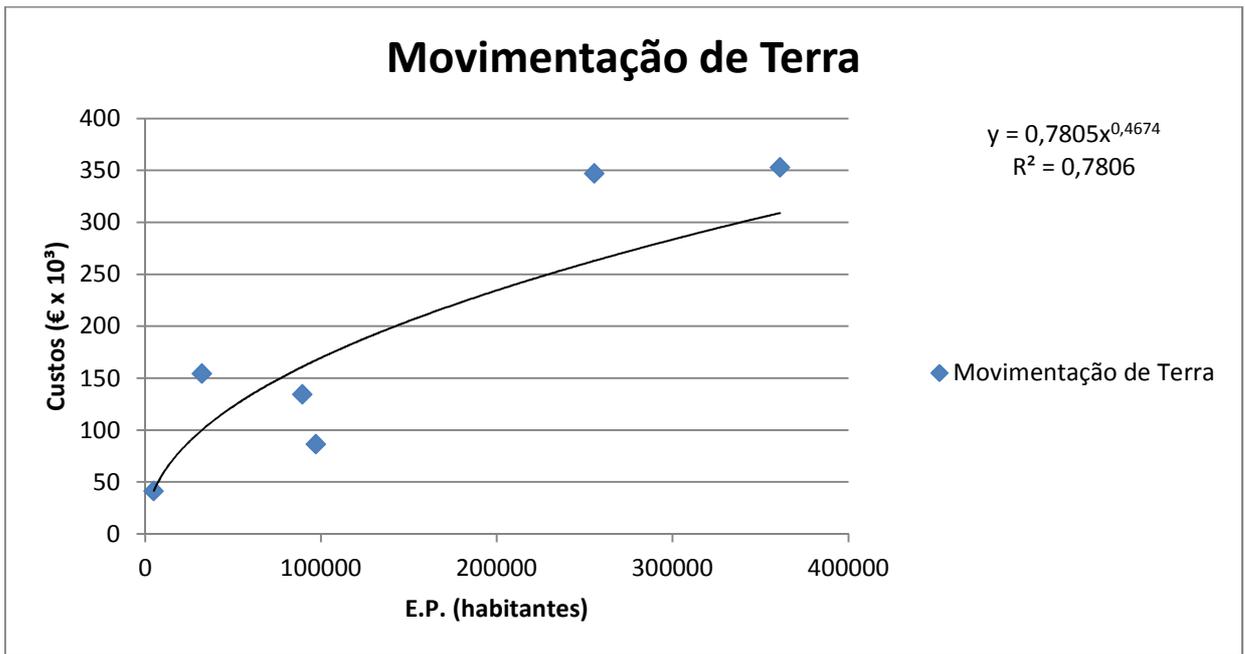
**Gráfico 21: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento Terciário**



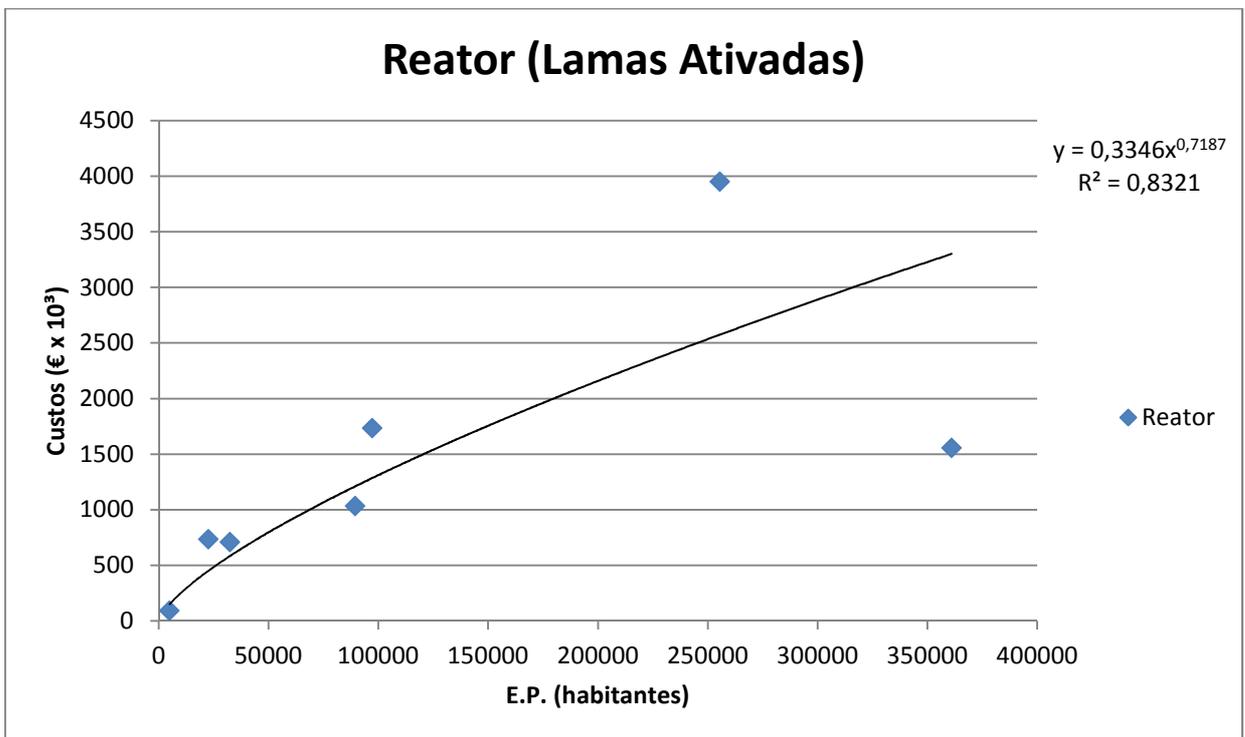
**Gráfico 22: Custos de Investimento em Função do E.P. - Tratamento de Lamas**



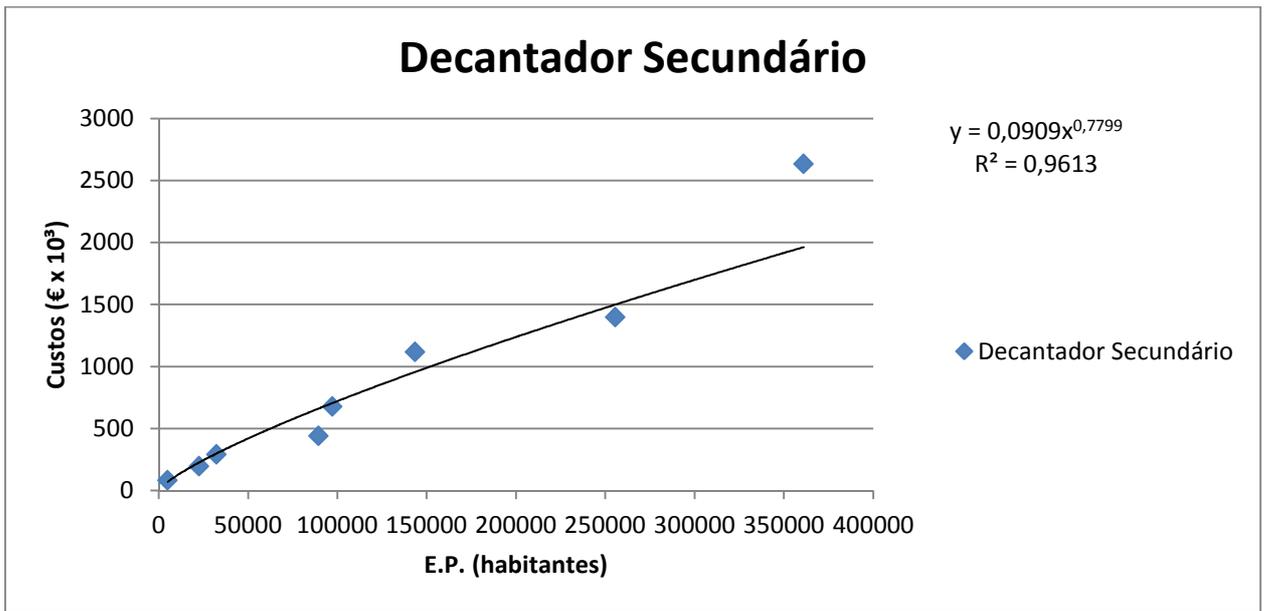
**Gráfico 23: Custos de Investimento em Função do E.P. - Movimentação de Terra**



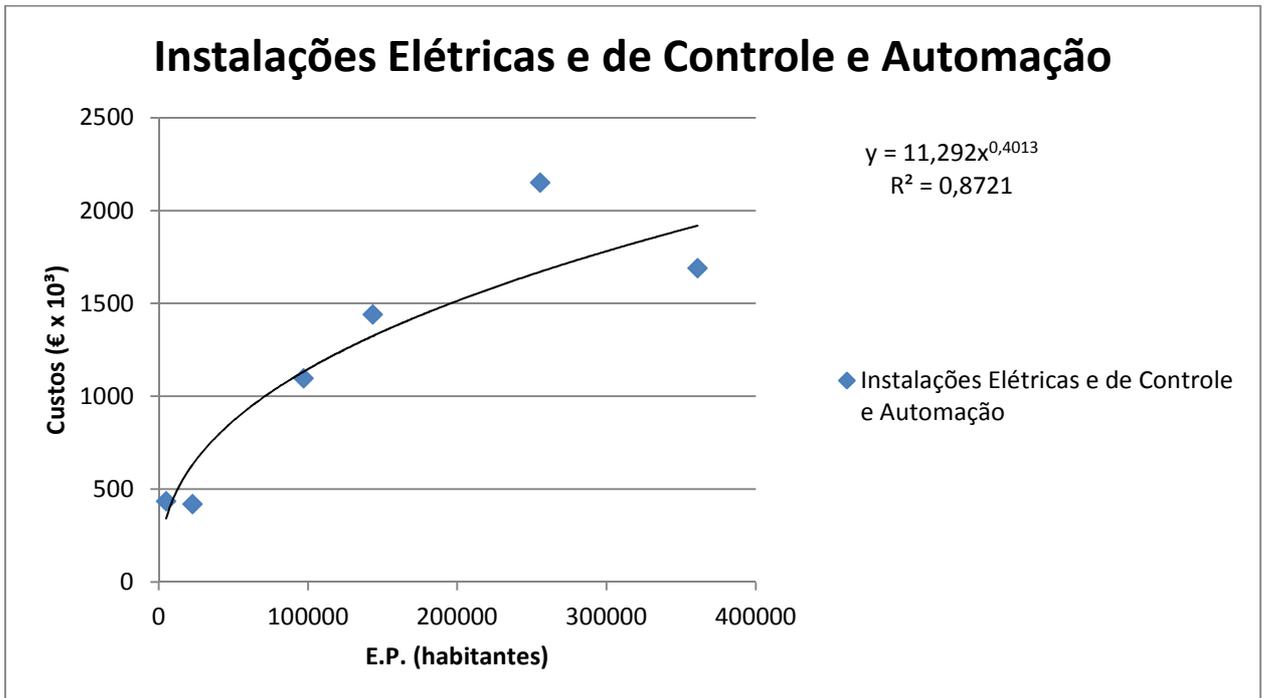
**Gráfico 24: Custos de Investimento em Função do E.P. - Reator (Lamas Ativadas)**



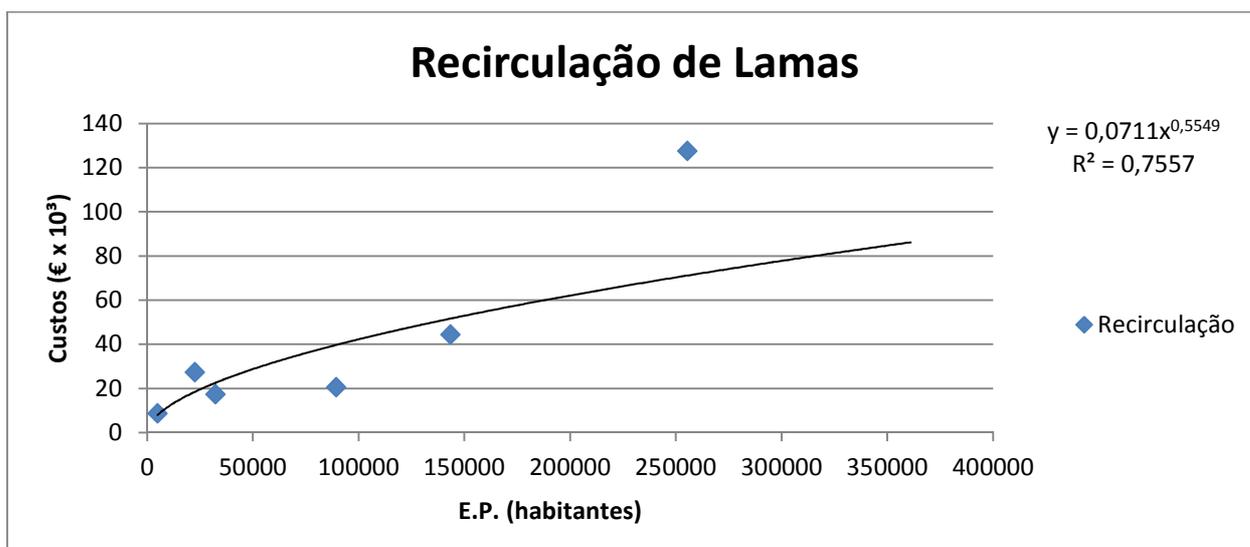
**Gráfico 25: Custos de Investimento em Função do E.P. - Decantador Secundário**



**Gráfico 26: Custos de Investimento em Função do E.P. - Instalações Elétricas e de Controle e Automação**



**Gráfico 27: Custos de Investimento em Função do E.P. - Recirculação de Lamas**



As equações que aparecem nos gráficos 16 a 25 descrevem a curva de custos obtidas nos casos em que Y é o eixo vertical definido pelos custos de investimento e x é o eixo horizontal definido pelo equivalente populacional (E.P.) expresso em habitantes.

Também foram desenvolvidas três funções de custo para os níveis de tratamento cujas eficiências de remoção de  $CBO_5$  foram definidas no capítulo 2, tabela 1. Cada nível de Tratamento é composto pelos seguintes custos:

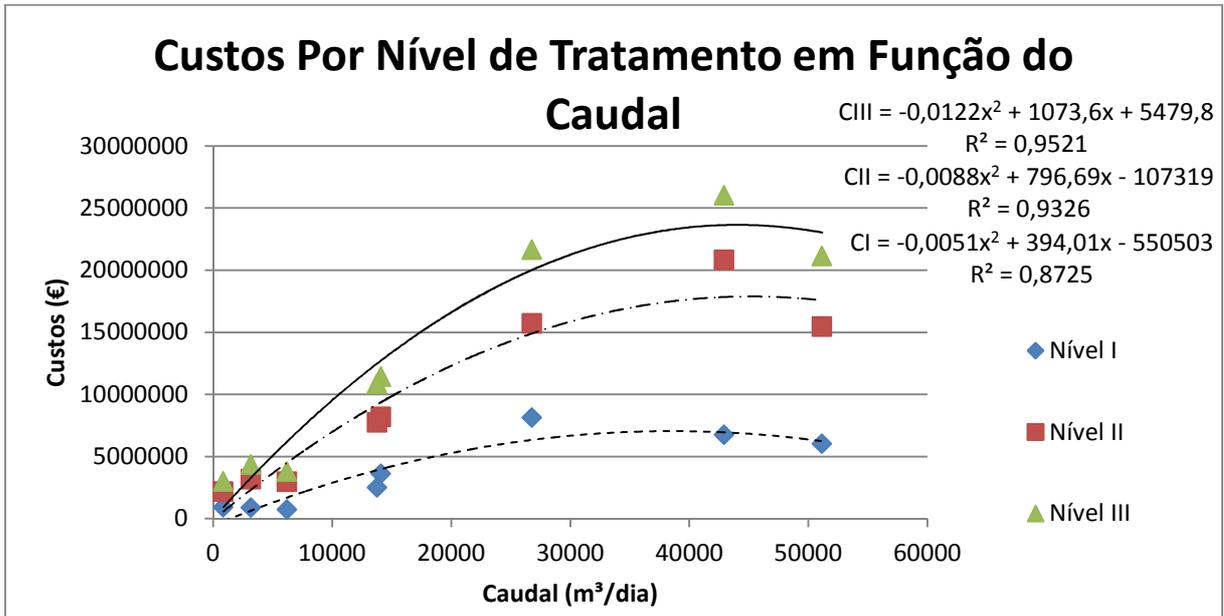
Nível de Tratamento I: Custos com obras iniciais, custos com tratamento Primário, 30% dos custos de tratamento de lamas e 30% dos custos extras;

Nível de Tratamento II: todos os custos presentes no nível I, custos com tratamento secundário, 70% dos custos de tratamento de lamas e 70% dos custos extras;

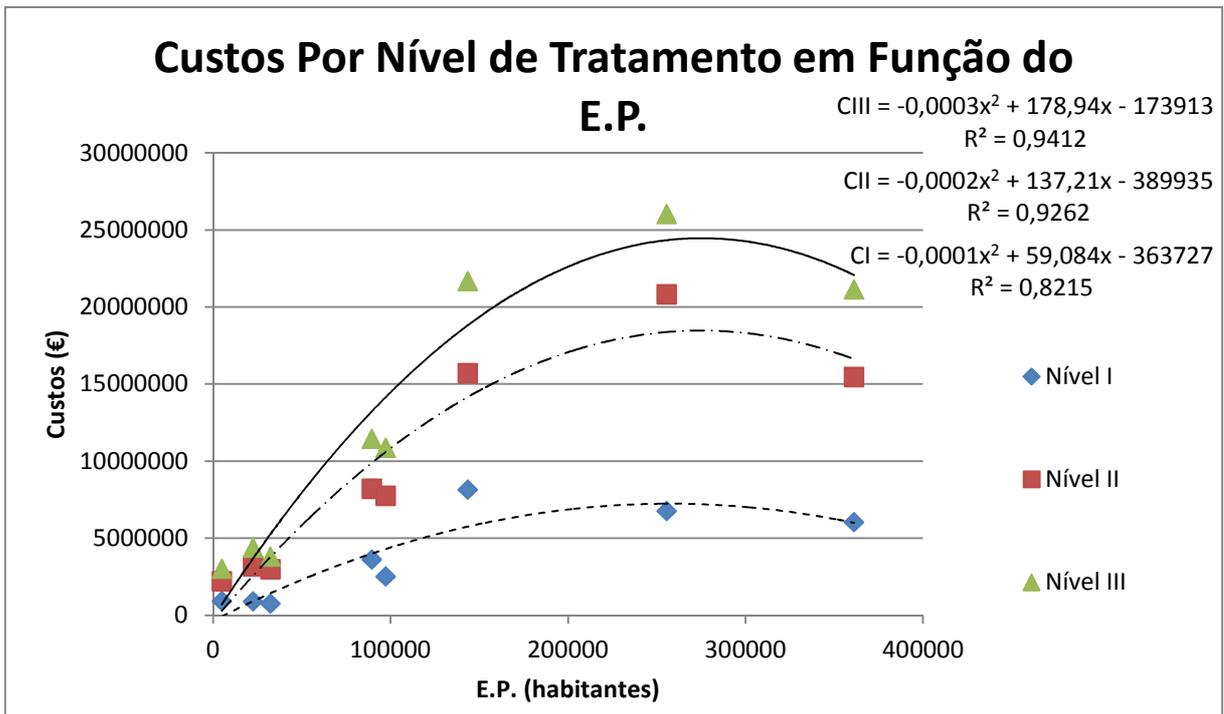
Nível de Tratamento III: todos os custos no nível II e os custos com tratamento terciário

Após essa reorganização dos custos obteve-se o seguinte gráfico e equações.

**Gráfico 28: Custos de Investimento por Níveis de Tratamento em Função do Caudal Tratado**

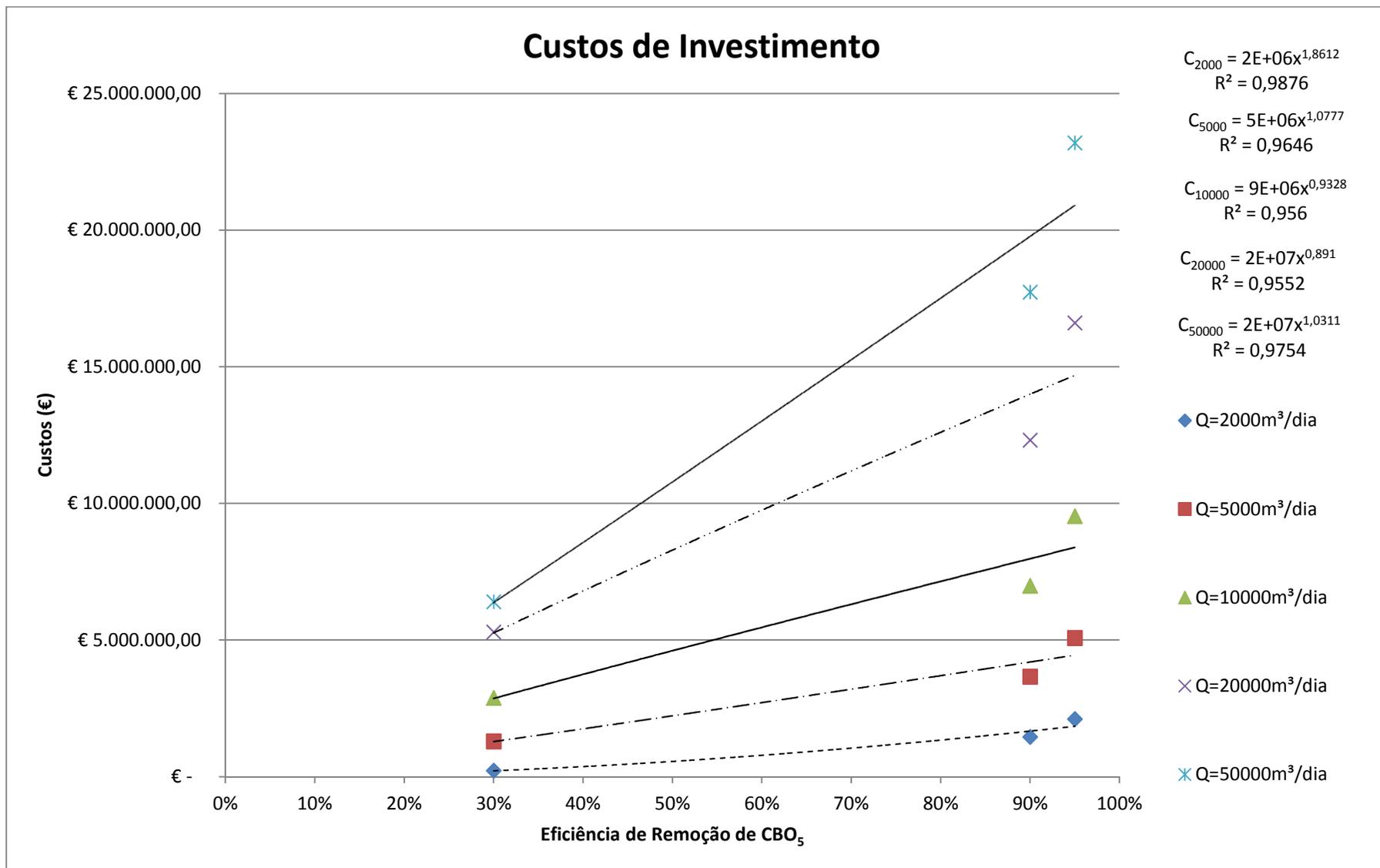


**Gráfico 29: Custos de Investimento por Níveis de Tratamento em Função do E.P.**



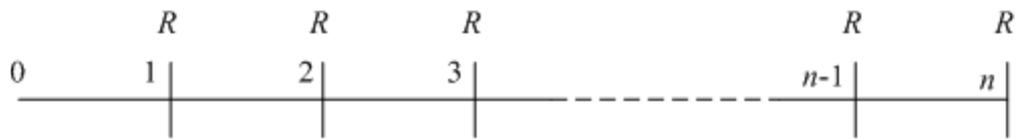
Fixando-se alguns valores de Q no gráfico anterior e tendo como base os parâmetros de remoção de CBO<sub>5</sub> definidos na tabela 1 do capítulo 2, foi possível criar funções de custos (Gráfico 28) capazes de fornecer os gastos de investimento de uma ETAR em função da eficiência de remoção da CBO<sub>5</sub>.

**Gráfico 30: Curvas de Custos para valores fixos de Caudal em função da eficiência de Remoção da CBO<sub>5</sub>**



### 5.2.3 Funções de Custo de Operação e Manutenção

Para melhor compreensão de como transformar valores distribuídos ao longo do tempo, como é o caso dos gastos com pagamentos de salários, energia elétrica, reagentes, etc., em um valor presente, deve-se fazer a seguinte analogia: suponha que a reta horizontal da figura abaixo represente o tempo ( $n$  anos). A soma das despesas e receitas ( $R$ ) obtidas ao longo desse tempo foram representadas como linhas verticais posicionadas ao longo da reta horizontal. Desse modo é fácil perceber que cada quantia  $R$  pode ser movida para um ponto em comum chamado de ponto focal.



**Figura 12: Representação receita anual uniforme**

Os termos  $R$  podem ser representados por um único valor presente  $P$ , se todos eles forem movidos para o tempo  $n$  igual a 0 e teremos:

$$P = R \left( \left[ \frac{1}{1+i} \right] + \left[ \frac{1}{(1+i)^2} \right] + \dots + \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right) = R \cdot \sum_1^n \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5.5)$$

A equação 5.5 pode ser simplificada se chamarmos o somatório de  $\Gamma$  e considerarmos que esse somatório pode ser calculado da seguinte forma:

$$SOMA = \frac{1-razão^n}{1-razão} \cdot (1^\circ \text{ termo}) \quad (5.6)$$

Como pode ser visto na equação 5.5, o primeiro termo do somatório é  $\frac{1}{1+i}$ , a razão é igual a  $\frac{1}{1+i}$  e  $n$  é o numero de termos presentes no somatório. Logo temos:

$$\Gamma = \sum_1^n \frac{1}{(1+i)^n} = \frac{1}{1+i} \cdot \frac{1-\frac{1}{(1+i)^n}}{1-\frac{1}{1+i}} = \frac{(1+i)^n-1}{i(1+i)^n} = \frac{1-(1+i)^n}{i} \quad (5.7)$$

Então poderemos calcular o valor presente P pela fórmula:

$$P = R\Gamma \quad (5.8)$$

A equação 5.8 pode ser usada para obter as funções de custo de operação e manutenção das estações de tratamento, seria apenas necessário ter os valores de R, (gastos com salários, energia, reagentes, etc.) devidamente datados. Neste trabalho não foi possível criar esse tipo de função devido a impossibilidade de coletar esses dados junto a empresa responsável.

## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Como poderá ser visto a seguir (Tabela 27), praticamente todas as funções de custo obtidas são do tipo  $C=a.x^b$ , sendo que os valores para o parâmetro  $b$  não tem seu valor significativamente alterado quando  $x$  é expresso em  $m^3/dia$  ou em habitantes.

As funções de custos obtidas por nível de tratamento (Tabela 28) são do tipo polinomial quadrática ( $C=\beta x+\lambda x^2+\mu$ ), nessas equações os parâmetros  $\beta$ ,  $\lambda$  e  $\mu$  mudam significativamente de uma equação onde  $x$  é expresso em  $m^3/dia$  para uma onde  $x$  é expresso em habitantes.

**Tabela 27: Funções de Custo de Investimento**

<b>Custos de Investimento</b>				
<b>Descrição da Equação</b>	<b>Em função do Caudal</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Em função de E.P.</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Custos das Obras Iniciais	$C = 2,111 \cdot Q^{0,684}$	0,8034	$C = 0,8218 \cdot EP^{0,6555}$	0,7501
Custos do tratamento Primário	$C = 5,8101 \cdot Q^{0,4788}$	0,856	$C = 2,5812 \cdot EP^{0,4708}$	0,8632
Custos do Tratamento Secundário	$C = 1,3574 \cdot Q^{0,7543}$	0,9242	$C = 0,3647 \cdot EP^{0,7502}$	0,9405
Custos do tratamento Terciário	$C = 5,186Q^{0,4761}$	0,9062	$C = 2,3785 \cdot EP^{0,466}$	0,9035
Custos com Tratamento de Lamas	$C = 47,699 \cdot Q^{0,2982}$	0,9772	$C = 30,241 \cdot EP^{0,29}$	0,9718
Custos com Movimentação de Terra	$C = 1,3276 \cdot Q^{0,5017}$	0,8231	$C = 0,7805 \cdot EP^{0,4674}$	0,7806
Custos do Reator (lamas Ativadas)	$C = 1,0547 \cdot Q^{0,7379}$	0,8283	$C = 0,3346 \cdot EP^{0,7187}$	0,8321
Custos do decantador Secundário	$C = 0,3358 \cdot Q^{0,7922}$	0,9585	$C = 0,0909 \cdot EP^{0,7799}$	0,9613
Custos com instalações elétricas e de Controle e Automação	$C = 21,336 \cdot Q^{0,4125}$	0,9064	$C = 11,292 \cdot EP^{0,4013}$	0,8721

**Tabela 28: Custos de Investimento em Função dos Níveis de Tratamento**

<b>Custos de Investimento</b>				
<b>Descrição</b>	<b>Em Função do Caudal</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Em Função de E.P.</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Nível I</b>	$C = -0,0051Q^2 + 394,01Q - 550503$	0,8725	$C = -0,0001 EP^2 + 59,084 EP - 363727$	0,8215
<b>Nível II</b>	$C = -0,0088Q^2 + 796,69Q - 107319$	0,9326	$C = -0,0002 EP^2 + 137,21 EP - 389935$	0,9262
<b>Nível III</b>	$C = -0,0122Q^2 + 1073,6Q + 5479,8$	0,9521	$C = -0,0003 EP^2 + 178,94 EP - 173913$	0,9412

É importante destacar que conforme mostram os gráficos presentes no capítulo 5, as funções de custo listadas na tabela 27 darão resultados em euros (€) x 10<sup>3</sup>, já as equações da tabela 28 e 29, os custos estão expressos em euros (€).

A análise da confiabilidade das funções de custo obtidas foi feita com base nos valores obtidos para o parâmetro “R<sup>2</sup>”, esse valor é chamado de coeficiente de determinação e mede o ajustamento de uma curva aos valores observados, esse indicador varia entre 0 e 1 e quanto maior o valor de R<sup>2</sup> melhor é o ajuste da equação à amostra (Wikipedia, 2013).

Por isso, quanto mais próximo de 1 o valor de  $R^2$  das equações, maior é a consistência dos dados coletados e possivelmente mais próximos da realidade são os resultados obtidos pelas equações de custo.

Uma tabela com todas as equações de custo obtidas em função da eficiência de remoção de  $CBO_5$  pode ser vista abaixo. Essas equações apresentaram valores para  $R^2$  muito próximos de um, isso mostra que a curva se adaptou bem aos dados obtidos, porém cada curva possui apenas 3 pontos, logo não é possível determinar apenas com a análise de  $R^2$  se os dados são realmente representativos e se as curvas irão fornecer resultados com uma boa precisão.

**Tabela 29: Custos em Função da Eficiência de Remoção de  $CBO_5$  para Vários Valores de Caudal**

<b>Q (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Em Função da % de Remoção de <math>CBO_5</math></b>	<b><math>R^2</math></b>
2000	$C = 2 \times 10^6 \times R^{1,8612}$	0,9876
5000	$C = 5 \times 10^6 \times R^{1,0777}$	0,9646
10000	$C = 9 \times 10^6 \times R^{0,9328}$	0,956
20000	$C = 2 \times 10^7 \times R^{0,891}$	0,9552
50000	$C = 2 \times 10^7 \times R^{1,0311}$	0,9754

Para elaborar as funções de custo total de infraestruturas de saneamento básico é necessário somar as parcelas relativas aos custos de investimento com as parcelas relativas aos custos de operação e manutenção de cada ETAR. Como neste trabalho não foi feito o estudo dos custos unitários de manutenção e operação logo não é possível desenvolver essas equações.

É importante ressaltar que os dados econômicos coletados se referem apenas a oito estações de tratamento de águas residuais, todas localizadas na região Norte de Portugal, mas concentradas na bacia hidrográfica do rio Ave. O ideal seria que a amostra de dados fosse mais extensa e que as estações de tratamento localizadas nas outras bacias da região Norte do país. Porém a amostra coletada pode ser considerada representativa e ofereceu resultados expressivos.

As equações de custos por níveis de tratamento não se mostraram muito eficientes para caudais inferiores a 1500m<sup>3</sup>/dia, por isso essas equações não devem ser usadas nos casos em que o caudal for muito pequeno.

## **7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Devido a impossibilidade de coletar durante a elaboração desse trabalho as informações sobre os custos de operação e manutenção das estações de tratamento de águas residuais, será necessário que em trabalhos futuros essa tarefa seja realizada, possibilitando assim a obtenção das funções de custos totais.

É importante que sejam feitas pesquisas semelhantes em outras bacias da região Norte de Portugal a fim de refinar os resultados obtidos e criar funções de custo que deem uma estimativa de gastos cada vez mais próximas da realidade.

A metodologia apresentada nesse trabalho pode ser usada em outras regiões de Portugal, assim seria possível com a análise dos resultados encontrados nas outras regiões do país verificar a possibilidade de criar funções de custo que estimem os gastos em todo o País.

As funções de custo obtidas aqui e em trabalhos futuros podem ser integradas a ferramentas computacionais de simulação, fazendo com que seja possível determinar, por exemplo, a solução de melhor custo, tamanho e localização de uma ETAR construída numa bacia da região Norte de Portugal. Nesse caso, a utilidade dos resultados obtidos irá depender da qualidade dos dados usados na simulação.

Dada a imprevisibilidade dos custos é necessário avaliar de tempos em tempos a validade das funções criadas e fazer as devidas correções.

## 8. CONCLUSÕES

As funções de custo são uma ferramenta facilmente utilizada no cálculo dos custos unitários de estações de tratamento de água residual de diferentes capacidades e níveis de tratamento, por isso utilizando as equações desenvolvidas nesse trabalho é possível obter de uma maneira muito simples uma estimativa dos custos de investimento de estações de tratamento construídas na região da bacia do rio Ave em Portugal.

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho foi possível perceber que as informações sobre custos unitários de investimento, operação e manutenção de estações de tratamento de águas residuais são muito difíceis de serem obtidos, muitas vezes esses dados estão desorganizados, se referem apenas a custos de empreitada, não estão datados e não estão acompanhados de informações como capacidade e localização da ETAR. Porém a qualidade e a quantidade dos dados usados na construção de funções de custo são essenciais para que seja possível obter como resultado estimativas realistas.

Fazer uma estimativa segura dos custos ligados à construção de uma ETAR é um ponto muito importante nas fases de concepção e planeamento desse tipo de infraestrutura, nesse sentido as equações aqui obtidas podem ser usadas em modelos computacionais criados para auxiliar na escolha de soluções mais econômicas e ambientalmente eficientes.

Em resumo, os resultados obtidos produziram uma compreensiva descrição dos custos ligados a construção das estações de tratamento de águas residuais localizadas na bacia do rio Ave. Esse tipo de estimativa de custos é muito escassa, não só em Portugal, mas em vários outros países do mundo. Por isso os resultados desse estudo podem dar um valioso contributo para a análise de custo-benefício de construção e operação de ETAR em todo o país.

## BIBLIOGRAFIA

- EWA (1998). *Sistemas de Águas Residuais Urbanas – Um guia Para Não Especialistas*. European Environment Agency. Braga, Portugal
- Friedler, E.; Pisanty, E. (2006). Effects of Design Flow and Treatment Level on Construction and Operation Costs of Municipal Wastewater Treatment Plants and Their Implications on Policy Making. *Water Research*, 3751 - 3758.
- Huang, D. W. (1981). *Operation & Maintenance Costs for Municipal Wastewater Facilities*. Washington D. C.: USEPA - United States Environmental Protection Agency.
- Jelen, F. C.; Black, J. H. (1985). *Cost and Optimization Engineering*. International Student Edition.
- Lin, S. D. (2007). *Water and Wastewater Calculations Manual* (segunda edição). United States of America: McGraw-Hill.
- LNEC (1986). *Metodologias Para a Avaliação de Políticas de Recursos Hídricos : Caracterização Geral da Bacia Hidrográfica do Rio Ave*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.
- MPAT (1986). *Monografias Hidrológicas dos Principais Cursos de Água de Portugal Continental*. Ministério do Plano e da Administração do Território. Secretaria de Estado do Ambiente e Recursos Naturais. Direcção-Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos. Lisboa: Divisão de Hidrometria.
- Noroeste (2013). *Caracterização da Bacia do Rio Ave. Águas do Noroeste*. Guimarães, Portugal
- Pindykc, R. S.; Rubinfeld, D. L. (2002). *Microeconomia* (quinta edição). São Paulo: Prentice Hall.
- Santo, I. A. (2007). *Desenho Óptimo de Estações de Águas Residuais Através da Modelação de Funções Custo*.
- USEPA, U. (1980). *Construction costs for Municipal Wastewater Treatment Plants 1973-1978*. Washington D.C.
- Vieira, J. M. (1986). *Aplicação de Modelos Matemáticos na Gestão da Qualidade de Águas Superficiais*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Vieira, J. M., & L., L. (1989). Development and Application os a Model for Regional Water Quality Management. *Water Research*, 767 - 777.

## SITES CONSULTADOS

ERSAR (2010). *Indicadores de Desempenho*. Acesso em 27 de abril de 2013, disponível em [http://www.ersar.pt/xCelcius/ShowXCelcius\\_PopUp.aspx?FileName=/lib/10/11288E7516A943F34D293223B8F48226E5B61.swf](http://www.ersar.pt/xCelcius/ShowXCelcius_PopUp.aspx?FileName=/lib/10/11288E7516A943F34D293223B8F48226E5B61.swf)

S. Gillot; B. De Clercq; D. Defour; F. Simoens; K. Gernaey; P. A. Vanrolleghem (s.d.). *Optimization of Wastewater Treatment Plant Design and Operation*. Acesso em 13 de Maio de 2013, disponível em <http://modeleau.fsg.ulaval.ca/fileadmin/modeleau/documents/Publications/pvr219.pdf>

SNIRH (Julho de 2009). *Mapa Bacias Hidrográficas de Portugal Continental*. Acesso em 04 de Julho de 2013, disponível em ([http://snirh.pt/snirh/\\_atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1002.pdf](http://snirh.pt/snirh/_atlasagua/galeria/mapasweb/pt/aa1002.pdf))

Wikipedia (19 de Maio de 2013). *Braga*. Acesso em 24 de maio de 2013, disponível em Wikipedia: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Braga>

Wikipedia (08 de Março de 2013). *R<sup>2</sup>*. Acesso em 04 de 07 de 2013, disponível em Wikipédia a Enciclopédia Livre: <http://pt.wikipedia.org/wiki/R%C2%>

