

RELAÇÕES PARAMÉTRICAS DE CUSTOS DE INFRA-ESTRUTURAS DE SANEAMENTO BÁSICO

Selene MENDES

Bolsista de investigação, Departamento de Engenharias - UTAD, Quinta dos Prados Apartado 1013, 5001-801 Vila Real, smendes@utad.pt

Luís RAMOS

Professor Associado, Departamento de Engenharias - UTAD, Quinta dos Prados Apartado 1013, 5001-801 Vila Real, lramos@utad.pt

Júlia LOURENÇO

Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Civil - UM, Largo do Paço, 4704-553 Braga, jloure@civil.uminho.pt

Isabel BENTES

Professora Associada, Departamento de Engenharias - UTAD, Quinta dos Prados Apartado 1013, 5001-801 Vila Real, ibentes@utad.pt

Resumo

O conhecimento de estimativas de custos de infra-estruturas são as premissas fundamentais para planeamento, selecção de investimentos e apoio a decisões estratégicas de médio e longo prazo. No entanto, existe uma lacuna no estabelecimento, de forma expedita, de estimativas de custos.

Neste contexto tem vindo a desenvolver-se um projecto, no domínio das infra-estruturas de saneamento básico, cujos objectivos principais são:

- Conceber uma ferramenta que de uma forma expedita permita estimar custos de infra-estruturas e respectivos componentes (rede, ligações prediais, estações elevatórias, condutas elevatórias, estações de tratamento, entre outros);
- Relacionar os custos obtidos com a dispersão populacional da zona de implantação das infra-estruturas.

Para atingir estes objectivos foi analisado um conjunto de projectos nomeadamente no que se refere às características sócio-demográficas da sua zona de implantação e às características técnicas dos componentes que configuram os sistemas e respectivos custos.

Foram utilizados modelos estatísticos que permitiram estabelecer relações paramétricas de custo em função de variáveis independentes. A determinação destas relações paramétricas de custo consubstancia assim o primeiro objectivo proposto.

Para dar cumprimento ao segundo objectivo houve a preocupação de escolher variáveis independentes que expressem a dispersão populacional e desta forma a sua relação com os custos de infra-estruturação.

Neste artigo apresentar-se-ão relações paramétricas de custo de alguns componentes dos sistemas de infra-estruturas de saneamento básico, bem como alguns resultados da variação desses custos com a dispersão populacional.

Palavras-Chave : Custos de infra-estruturas, saneamento básico, dispersão populacional

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento de estimativas de custos de infra-estruturas são as premissas fundamentais para planeamento, selecção de investimentos e apoio a decisões estratégicas de médio e longo prazo EARLE (1997).

Uma estimativa de custo é uma previsão que produz informações para decisões políticas e empresariais e se apresenta como substituto para a medição real, quando esta não é viável. É considerada precisa, quando é suficientemente próxima do valor real, de modo a que as decisões tomadas com base nessas estimativas sejam similares àquelas fundamentadas num ambiente real, caso a sua caracterização seja possível CARR & OTERO (2000).

Existe uma lacuna no estabelecimento, de forma expedita, de estimativas de custos. Neste artigo, propõe-se uma ferramenta capaz de estabelecer estimativas de custos no domínio das infra-estruturas de saneamento básico.

Neste sentido foram traçados para este trabalho dois objectivos principais:

- Desenvolver modelos matemáticos que de uma forma expedita permitam estimar custos de infra-estruturas e respectivos componentes (redes, estações elevatórias-EE, condutas elevatórias, estações de tratamento-ETAR, entre outros);
- Relacionar os custos obtidos com a dispersão populacional da zona de implantação das infra-estruturas.

Neste trabalho, as palavras custos e estimativas serão sempre entendidas como sendo o preço final incluindo consultadoria, projectos, mão-de-obra, impostos, seguros, entre outros.

Para atingir estes objectivos foi analisado um conjunto de projectos nomeadamente no que se refere às componentes técnicas dos elementos que configuram os sistemas e respectivos custos bem como as características sócio-demográficas da sua zona de implantação.

Foram utilizados modelos estatísticos que permitiram estabelecer relações paramétricas de custo em função de variáveis independentes. A determinação destas relações paramétricas de custo consubstancia assim o primeiro objectivo proposto.

Para dar cumprimento ao segundo objectivo houve a preocupação de escolher variáveis independentes que expressem a dispersão populacional e desta forma a sua relação com os custos de infra-estruturação.

2 MODELO PARAMÉTRICO DE CUSTOS

O estabelecimento de estimativas de custos (EC) deve obedecer a alguns princípios básicos. Um destes princípios é que as EC devem ser simples, claras, de fácil entendimento e alteração. "Devem apresentar-se numa forma que possa ser entendida, controlada, verificada e corrigida". Outro destes princípios é a sua adequação e ajuste. Efectivamente, os resultados obtidos pela EC devem ser um reflexo da realidade de modo a não ocorrerem falhas graves na tomada de decisões (CARR, 1989).

No Modelo Paramétrico de Custos o custo estimado de um projecto é função de uma ou mais variáveis independentes e relevantes COLOSSI (2002). Estas variáveis, são o custo e outra(s) variáveis de projecto. Ora, sendo um dos objectivos deste trabalho estabelecer expressões paramétricas de custo em função da dispersão populacional, as variáveis independentes seleccionadas, têm que reflectir essa dispersão populacional.

A estimativa paramétrica de custos estabelece relações de custo e algoritmos matemáticos, ou lógicos, de modo a obter a estimativa de custo. Estas relações podem assumir diversas formas, variando desde regras informais ou simples analogias a funções matemáticas mais complexas derivadas de análises estatísticas de dados empíricos NASA (1995).

Nem todas as relações entre custos e variáveis independentes podem ser convertidas em relações paramétricas. Uma relação paramétrica deve ter duas características básicas: deve apresentar uma relação lógica entre a variável básica e o custo estimado e deve apresentar um forte

ajuste estatístico e um elevado intervalo de confiança. O desenvolvimento do modelo envolve a discussão e escolha das possíveis variáveis independentes, assim como o levantamento de hipóteses para as relações de custo a estabelecer

A etapa que requer mais cuidado no estabelecimento de Relações Paramétricas de Custo (RPC) é a recolha de dados. O mais frequente é recorrer-se a fontes de dados externas, contendo informações consolidadas de diversas obras de outras empresas ou mesmo arquivos públicos. Tais fontes, apesar de serem bastante utilizadas, apresentam sérios inconvenientes, nomeadamente: a não homogeneidade de critérios, especificações técnicas, materiais, tecnologias implementadas, entre outros.

Como já referido, um termo largamente utilizado no domínio das RPC, é o seu ajuste. Neste sentido, devem ser anotadas nas bases de dados utilizadas qualquer anormalidade ocorrida, ou evento não usual, que possa perturbar seu comportamento. Os dados devem ser ajustados em relação a estas anormalidades quando não é razoável esperar que estas ocorram noutros projectos.

Segue-se a homogeneização dos dados, que visa a tratar base de dados de modo a contemplar possíveis variações de produção, variações no tempo, sendo de particular interesse nesta matéria o processo inflacionário. Daí que, os custos a considerar na RPC deverão ser corrigidos de acordo com os índices inflação ou deflação, oficiais, definidos para o sector.

Depois de determinada a expressão matemática de custo deve ser testada, estatisticamente, para a sua validação. Ou seja, é recorrendo a uma análise estatística que se determinam as variáveis que melhor influenciam o custo a estimar.

3 METODOLOGIA

Para obter os Modelos Paramétricos de Custo que permitam estabelecer as EC foi necessário analisar um conjunto de projectos. Esses projectos referem-se às empreitadas para construção de sistemas de recolha e transporte de águas residuais com datas de adjudicação compreendidas entre Dezembro de 2000 e Dezembro de 2008. Excluíram-se os sistemas objecto de remodelação e/ou beneficiação. Estudaram-se 60 projectos referentes a empreitadas de obras realizadas no nordeste transmontano: nomeadamente para a empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro - ATMAD (40 empreitadas), Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Vila Real - EMAR (16 empreitadas) e para o Município de Mirandela (4 empreitadas), (Gráfico 1)

No respeitante às empreitadas para a EMAR e para o Município de Mirandela, os projectos estudados e analisados correspondem à rede de recolha e transporte de águas residuais (sistema em baixa), para aglomerados urbanos ou periurbanos até 16000 habitantes. Pelo contrário, as empreitadas para a ATMAD, objecto deste estudo, correspondem a sistemas de águas residuais, em alta, para populações até 55000 habitantes ou seja, correspondem aos emissários, interceptores, Estações Elevatórias (EE), condutas elevatórias e ETAR.

A metodologia utilizada consistiu em:

- 1- Recolha e selecção da informação;
- 2- Normalização da informação;
- 3- Obtenção do modelo matemático e respectiva análise estatística.

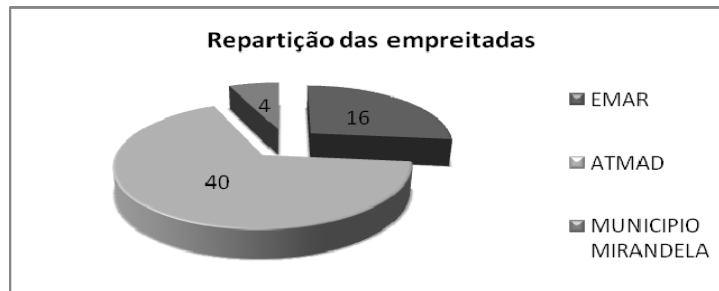


Gráfico 1 – Repartição das empreitadas

3.1 Recolha da informação

Conforme já foi referido a ATMAD, a EMAR e o Município de Mirandela forneceram 60 projectos de SAR dos quais foram analisados os custos dos diversos componentes do sistema, nomeadamente das EE; das redes colectoras; dos emissários, condutas elevatórias e interceptores e das ETAR.

Os custos da EE expressam o somatório dos custos da construção civil e dos equipamentos, isto é: movimentos de terras (desmatação, escavação, remoção), escoramentos, betões, impermeabilizações, revestimentos, tubagens e acessórios necessários (válvulas de seccionamento, retenção, tês...), instalações e equipamentos de bombagem de águas residuais (fornecimento e montagem dos grupos de electrobombas quase sempre submersíveis, quadro e circuitos eléctricos, entre outros) e testes regulamentares.

Considerando que os custos de construção civil são praticamente constantes, pelo facto das EE serem construções padronizadas então, os custos das EE variam essencialmente em função dos preços dos equipamentos, que é função da potência instalada. Não foram consideradas neste estudo as EE compactas.

Por conseguinte seleccionou-se como variável dependente o custo das EE e como variável independente a potência dos grupos electro-bombas [1]. Para o seu cálculo retirou-se dos projectos o caudal e altura manométrica. Considerou-se que o rendimento médio das bombas é da ordem dos 75%.

$$P = \frac{\gamma QH}{\eta} \quad [1]$$

Sendo:

- P a potência instalada (W);
- Q o caudal de projecto (m^3s^{-1});
- H a altura manométrica (m);
- η o rendimento do grupo electro-bomba (%).

Os custos da rede compreendem os custos de levantamento, remoção e reposição de pavimento, escavação e abertura de vala, incluindo entivação e rebaixamento do nível freático, assentamento de tubagem, câmaras de visita e ligações prediais.

As variáveis dependentes seleccionadas foram o custo total da rede, o custo unitário da rede (€/m) e o custo por habitante. As variáveis independentes escolhidas foram a população no horizonte de projecto, a extensão e o índice habitante por metro linear de rede.

O custo dos emissários/condutas elevatórias/interceptores contempla a limpeza do terreno, remoção, levantamento e reposição de pavimentos, escavação, aterro, substituição de solos, entivação e rebaixamento do nível freático, almofada para assentamento de tubagem, tubagem propriamente

dita, acessórios e órgãos e, finalmente, testes de estanqueidade. Os emissários, condutas elevatórias e interceptores foram estudados em conjunto como se se tratasse de um único órgão pois só existem diferenças a nível de dimensionamento.

A variável dependente seleccionada foi o custo, enquanto que as independentes foram a extensão e o diâmetro da tubagem.

Entende-se por custo de uma ETAR o somatório dos custos respeitantes à limpeza do terreno, escavação, aterro, entivação, construção civil, impermeabilização, acabamentos e revestimentos, aquisição e montagem de equipamentos, material diverso e testes de funcionamento. Foram consideradas ETAR com tratamento da água residual pelo processo de lamas activadas, não foram consideradas ETAR compactas.

As variáveis dependentes seleccionadas foram o custo total e custo por habitante, enquanto que a independente foi a população.

3.2 Normalização de dados

Os custos unitários ou globais, constantes da base de dados, incluem na sua composição os custos relativos a projecto, estaleiro, máquinas, mão-de-obra, seguros, medidas de prevenção e segurança e outros encargos gerais.

Os custos recolhidos foram actualizados, considerando a data de referência, Dezembro 2008,.. Esta actualização foi feita de acordo com o índice geral do preço ao consumidor para o continente¹.

3.3 Modelação matemática

Na posse dos dados já normalizados, procurou-se uma relação paramétrica de custos para cada uma das componentes do sistema acima referidas. Essa relação paramétrica foi obtida por análise de regressão do tipo linear simples, linear múltipla ou não linear, utilizando o método dos mínimos quadrados.

As relações encontradas foram testadas quanto à sua significância. Para esse efeito, foram analisados quer a qualidade dos dados, quer a relação lógica entre eles, fazendo o teste estatístico F e determinando o desvio padrão, o coeficiente de correlação e o de determinação. Para avaliar a causalidade do modelo, isto é a sua adequação para predizer estimativas futuras, analisaram-se o número de observações, os "outliers" e amplitude dos dados.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUÇÃO DE RESULTADOS

Neste capítulo procedeu-se à apresentação dos resultados obtidos, bem como à sua análise. Para todas as regressões estudadas e a seguir apresentadas, o valor da significância das regressões, é inferior 5% ou seja, existe correlação significativa entre as variáveis. O comportamento dos resíduos, foi testado quanto à sua normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, verificando-se sempre que as distribuições são normais.

A relação entre o custo unitário das EE e a potência instalada está representada no Gráfico 2.

¹ Índice de Preço ao Consumidor – para Continente - INE

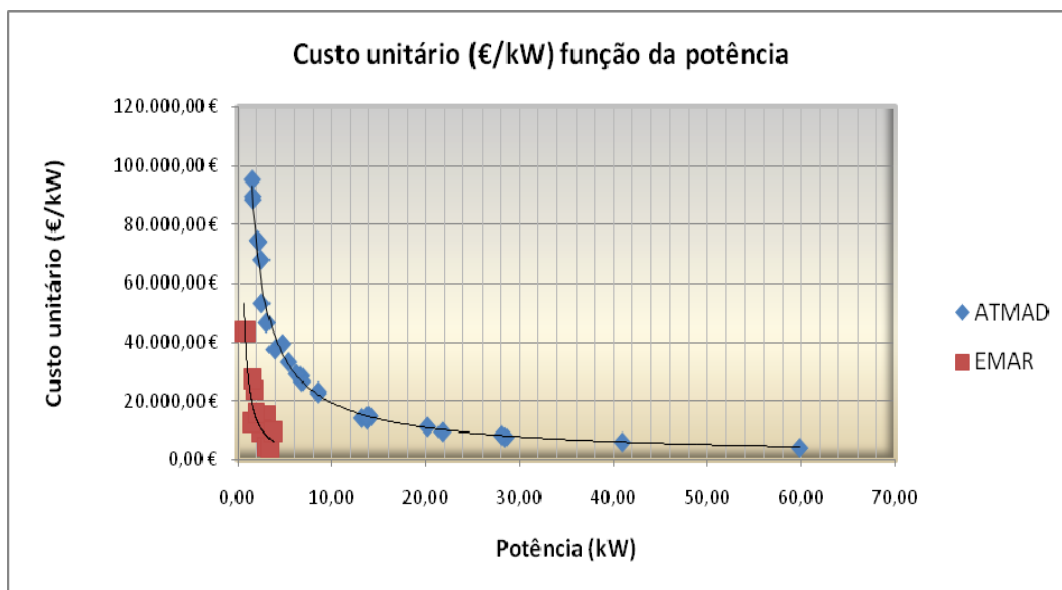


Gráfico 2 - Relação entre o custo unitário das EE e a potência instalada

Podem identificar-se duas nuvens de pontos distintas correspondendo, os dados a vermelho a EE intercaladas em redes de drenagem de águas residuais e, os dados a azul a EE intercaladas na parte do sistema em alta.

Definiram-se, desta forma, duas RPC diferentes para as EE em baixa e em alta, estando representadas pelas expressões [2] e [3] respectivamente.

$$y = 18752,592 \cdot X^{-0.905} \quad [2]$$

$$y = 104113,75 \cdot X^{-0.759} \quad [3]$$

Ambas as curvas têm comportamento similar, são funções potenciais, sendo a curva respeitante às EE da ATMAD (em alta) [3] a que implica custos de construção, por KW, superiores.

Da análise estatística dos elementos recolhidos resulta, Tabela 1 :

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[2]	11	1	0.746	0.557	0.501	10.045	0.013
[3]	27	0	0.993	0.987	0.986	1881.819	0.000

Tabela 1 – Resultados da análise estatística

Depois de determinadas as RPC que permitem estimar o custo das EE conhecendo a potência, analisou-se como se relacionam os custos das EE com o caudal de projecto, Gráfico 3.

A curva representada no gráfico 3 é descrita pela expressão [4]:

$$y = 483610,542 \cdot X^{-1.066} \quad [4]$$

Da análise estatística da expressão atrás referida [4], resulta, Tabela 2:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[4]	27	0	0.796	0.633	0.619	43.205	0.000

Tabela 2 – Resultados da análise estatística

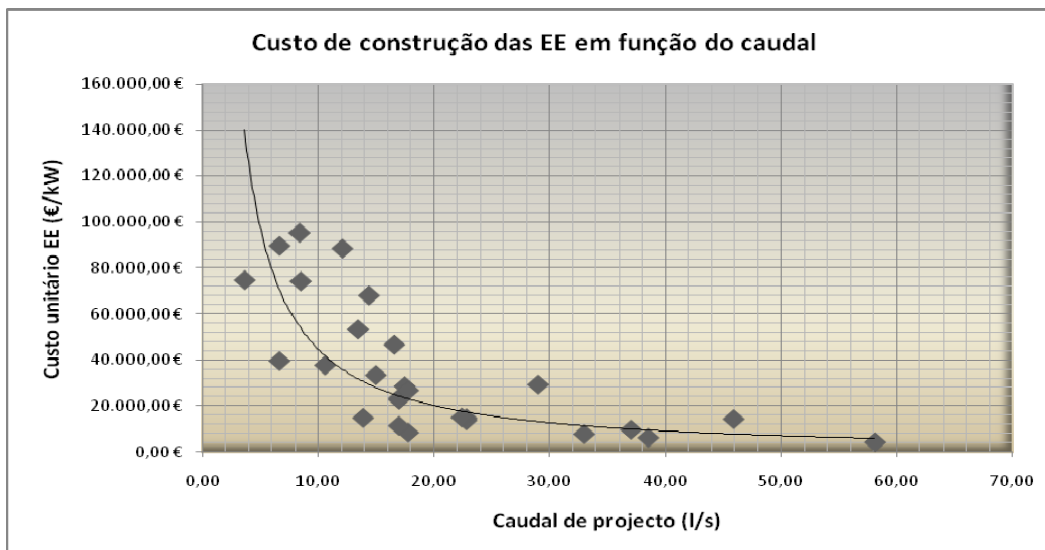


Gráfico 3 - Relação entre o custo total das EE e o caudal de projecto

Dos resultados apresentados concluiu-se que o custo de construção, por kW, das EE (€/kW) diminui com o aumento da potência instalada e que, os custos por kW das EE variam, inversamente com o caudal de projecto. Como o caudal de projecto é uma grandeza directamente proporcional à população a servir, o custo por kW de construção das EE varia inversamente com a população no horizonte de projecto.

Para análise do custo da rede colectora de SAR, em função da população da área de abrangência da rede, estudaram-se projectos respeitantes a empreitadas para a EMAR e para o Município de Mirandela. Tendo-se obtido os resultados apresentados no Gráfico 4.

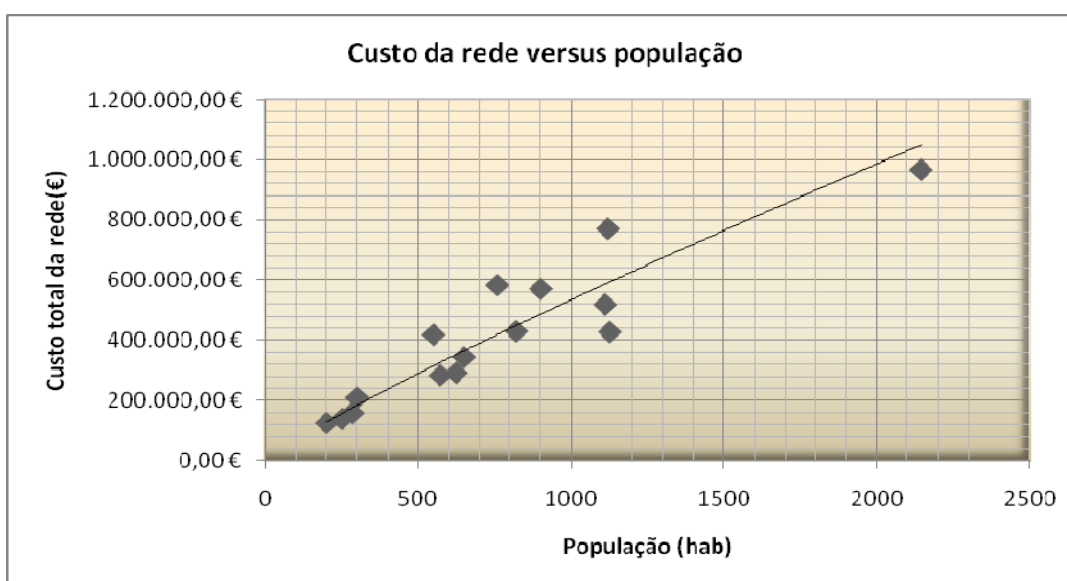


Gráfico 4 - Relação entre o custo total da rede e a população da área de abrangência da mesma

A curva representada no Gráfico 4 tem a seguinte expressão [5]:

$$y = 800.547 \cdot X^{0.920} \quad [5]$$

Da análise estatística da expressão [5], resulta, Tabela 3:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[5]	15	0	0.954	0.911	0.904	132.81	0.000

Tabela 3 – Resultados da análise estatística

5. Procedeu-se à análise do custo da rede colectora de SAR, em função da sua extensão, Gráfico 5.

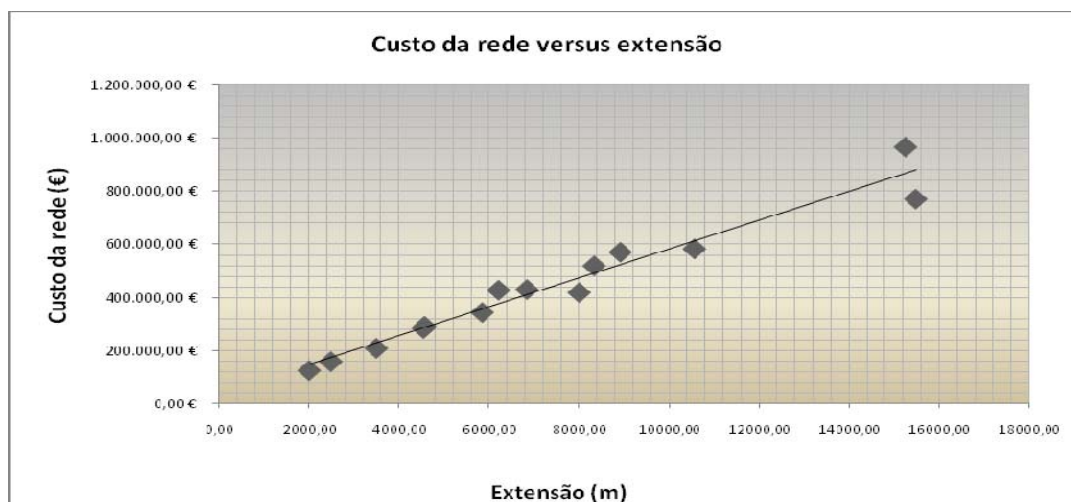


Gráfico 5 - Relação entre o custo total da rede e a sua extensão

A curva representada no gráfico 5 escreve-se pela expressão [6]:

$$y = 68.663 \cdot X^{0.967} \quad [6]$$

Da análise estatística da expressão [6], resulta, Tabela 4:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[6]	15	0	0.979	0.959	0.956	305.867	0.000

Tabela 4 – Resultados da análise estatística

Da leitura dos Gráficos 4 e 5 entende-se que o custo total da rede aumenta com a população da sua área de abrangência e com o seu comprimento de acordo com as expressões [5] e [6].

Para analisar o comportamento dos custos das redes de acordo com o tipo de povoamento dos aglomerados populacionais fez-se a análise do custo da rede unitário (€/m) das redes e o custo por habitante (€/hab) função do número de habitantes por metro linear de rede (hab/m), Gráficos 6 e 7.

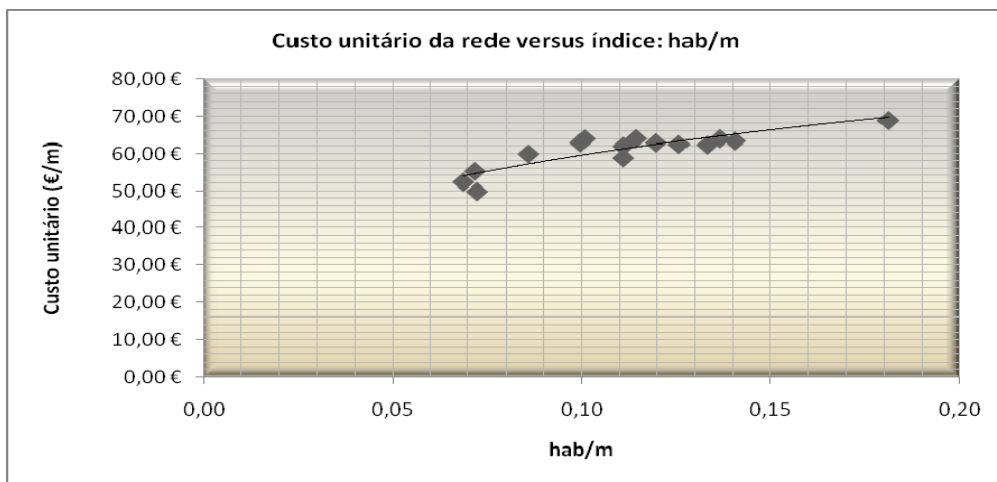


Gráfico 6 - Relação entre o custo unitário da rede e o índice hab/m

A curva representada no gráfico 6 escreve-se pela expressão [7]:

$$y = 111.692 \cdot X^{0.352} \quad [7]$$

Da análise estatística da expressão [6], resulta, Tabela 5:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[7]	15	0	0.747	0.558	0.524	16.433	0.001

Tabela 5 – Resultados da análise estatística

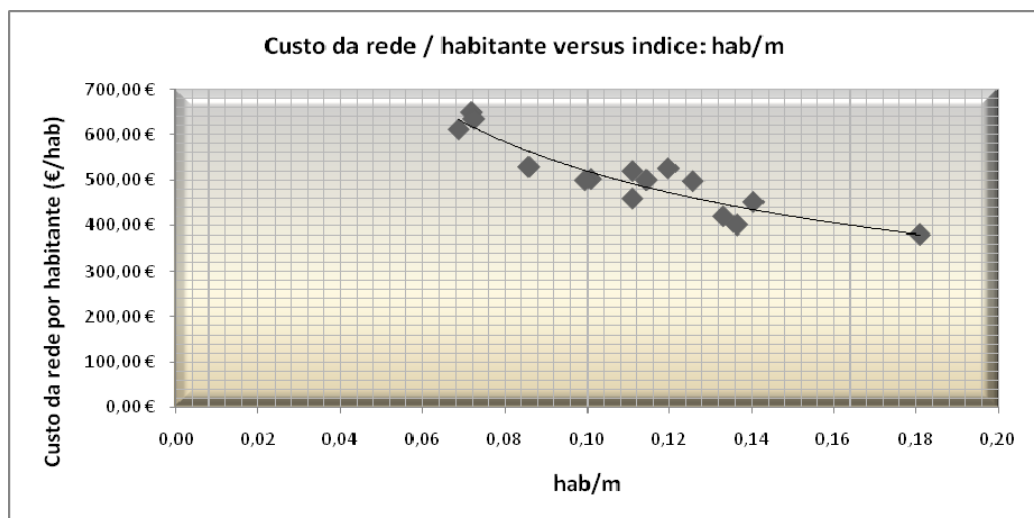


Gráfico 7 - Relação entre o custo, por habitante, da rede versus índice: hab/m

A curva representada no gráfico 7 escreve-se pela expressão [8]:

$$y = 933.273 \cdot e^{-6.008x} \quad [8]$$

Da análise estatística da expressão [8], resulta, Figura 6:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[8]	15	0	0.920	0.846	0.834	71.215	0.000

Tabela 6 – Resultados da análise estatística

Observa-se no Gráfico 6, que o custo unitário da rede aumenta com o índice (hab/m). Isto significa para a mesma extensão de rede o seu custo aumenta com a população. Esse acréscimo deve-se ao aumento de diâmetro da tubagem e ao número de ligações prediais associados ao aumento de população servida por unidade de comprimento de rede.

Relativamente ao custo da rede por habitante em função do índice (hab/m) verifica-se que, não obstante o custo por unidade de comprimento de rede aumentar, o custo da rede por habitante diminui uma vez que esse incremento de preço não é suficiente para contrariar a diminuição do custo da rede por habitante. Esta constatação permite concluir que há vantagem económica em ter um tipo de povoamento denso/pouco disperso.

Para a determinação da RPC dos emissários, condutas elevatórias e interceptores, analisou-se o custo em função da extensão, Gráfico 8. Presumindo-se que o diâmetro poderia influenciar decisivamente o custo destes órgãos foi feita uma subdivisão considerando diâmetros até 200mm, diâmetros até 400mm e diâmetros até 630mm, Gráfico 9. Não obstante se pensar que esta subdivisão não é a mais adequada, foi a única possível mediante a informação disponibilizada.

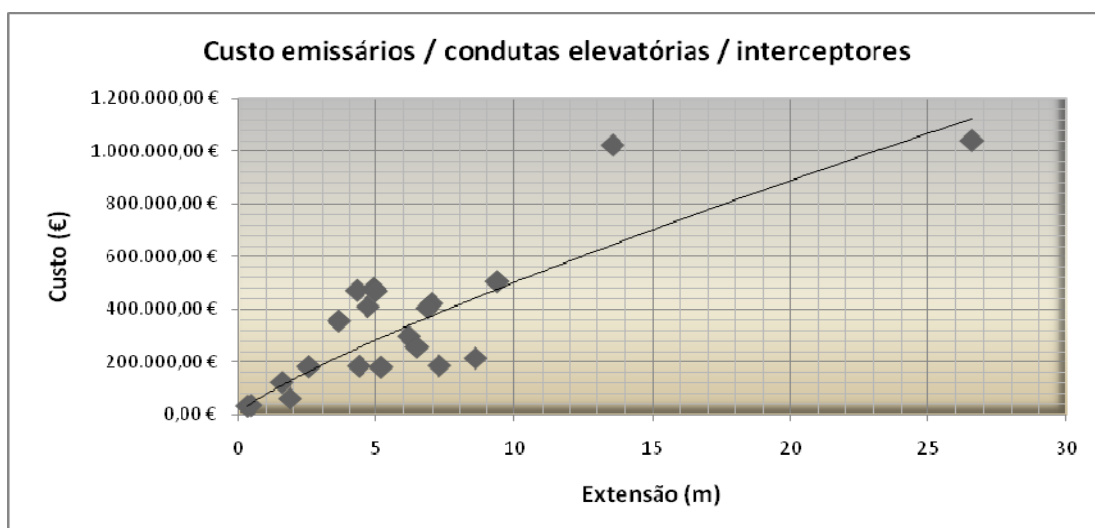


Gráfico 8 - Relação entre o custo dos emissários/condutas elevatórias/interceptores e a sua extensão

A curva representada no gráfico 8 escreve-se pela expressão [9]:

$$y = 74402.338 \cdot X^{-0.827}$$

[9]

Da análise estatística da expressão [9], resulta, Tabela 7:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[9]	21	0	0.89	0.792	0.781	72.424	0.0002

Tabela 7 – Resultados da análise estatística

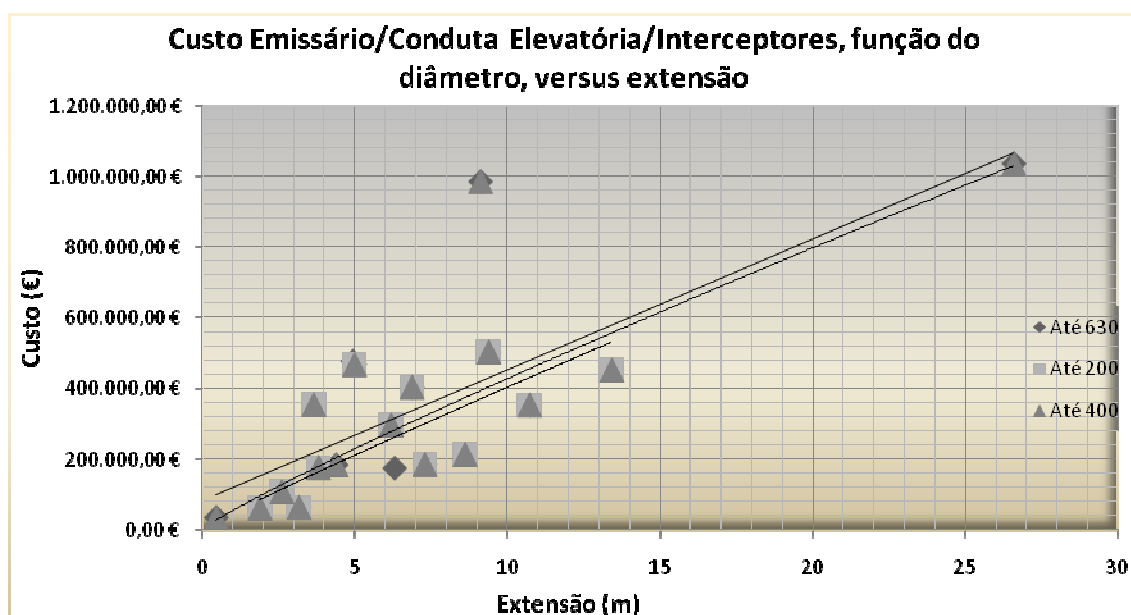


Gráfico 9 - Relação entre o custo dos emissários/conduitas elevatórias/interceptores, função do diâmetro, e a sua extensão

A curva representada no gráfico 9, correspondente a emissários/conduitas elevatórias/interceptores, com diâmetros até 200mm, escreve-se pela expressão [10]:

$$y = 74402.338 \cdot X^{-0.827}$$

[10]

Da análise estatística da expressão [10], resulta, Tabela 8:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[10]	13	0	0.732	0.536	0.494	12.725	0.004

Tabela 8 – Resultados da análise estatística

A curva representada no gráfico 9, correspondente a emissários/conduitas elevatórias/interceptores, com diâmetros até 400mm, escreve-se pela expressão [11]:

$$y = -536948.241 + 132990.985 \cdot X \quad [11]$$

Da análise estatística da expressão [11], resulta, Tabela 9:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[11]	9	5	0.72	0.518	0.449	7.53	0.029

Tabela 9 – Resultados da análise estatística

Finalmente, a curva representada no gráfico 9, correspondente a emissários/conduitas elevatórias/interceptores, com diâmetros até 630mm, escreve-se pela expressão [12]:

$$y = 74402.338 \cdot X^{-0.827} \quad [12]$$

Da análise estatística da expressão [12], resulta, Tabela 10:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[12]	4	0	0.901	0.536	0.718	8.625	0.099

Tabela 10 – Resultados da análise estatística

Concluiu-se que a variação do custo dos emissários/conduitas elevatórias/interceptores é dada pela expressão [9].

À luz dos resultados pela análise estatística das correlações [10], [11] e [12] não é possível afirmar que as expressões obtidas para os custos dos emissários, conduitas elevatórias e interceptores, possam ser utilizadas como modelos de custo e, conseqüentemente servir de ferramenta fiável para estabelecimento de EC. Com efeito, os valores dos coeficientes de correlação, a significância das regressões e o tamanho das amostras sugerem que as expressões [10], [11] e [12] encontradas devem usadas com precaução.

É possível relacionar o custo da ETAR com diversas variáveis, no entanto, importa escolher variáveis que sejam conhecidas em fase de anteprojecto, nomeadamente, a população de dimensionamento ou o caudal de projecto. Estes parâmetros, são directamente proporcionais.

Observa-se no Gráfico 10 a evolução do custo das ETAR com a população e no Gráfico 11 a evolução do custo por habitante também em função da população.

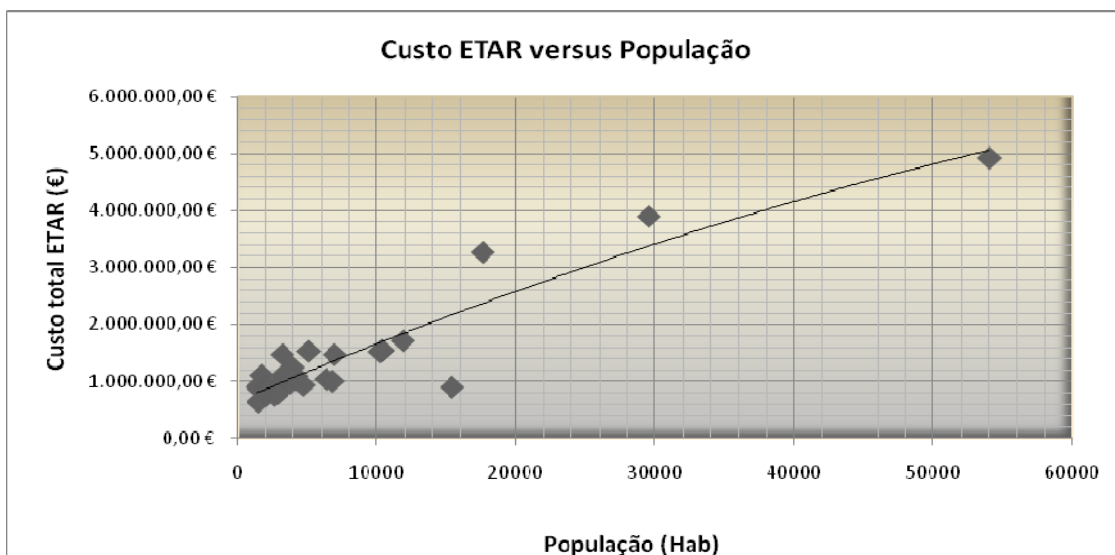


Gráfico 10 - Relação entre o custo total da ETAR e a população no horizonte de projecto

A curva representada no gráfico 10, escreve-se pela expressão [13]:

$$y = 14870.116 \cdot X^{0.475} \quad [13]$$

Da análise estatística da expressão [13], resulta, Tabela 11:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[13]	36	1	0.927	0.859	0.854	176.216	0.000

Tabela 11 - Resultados da análise estatística

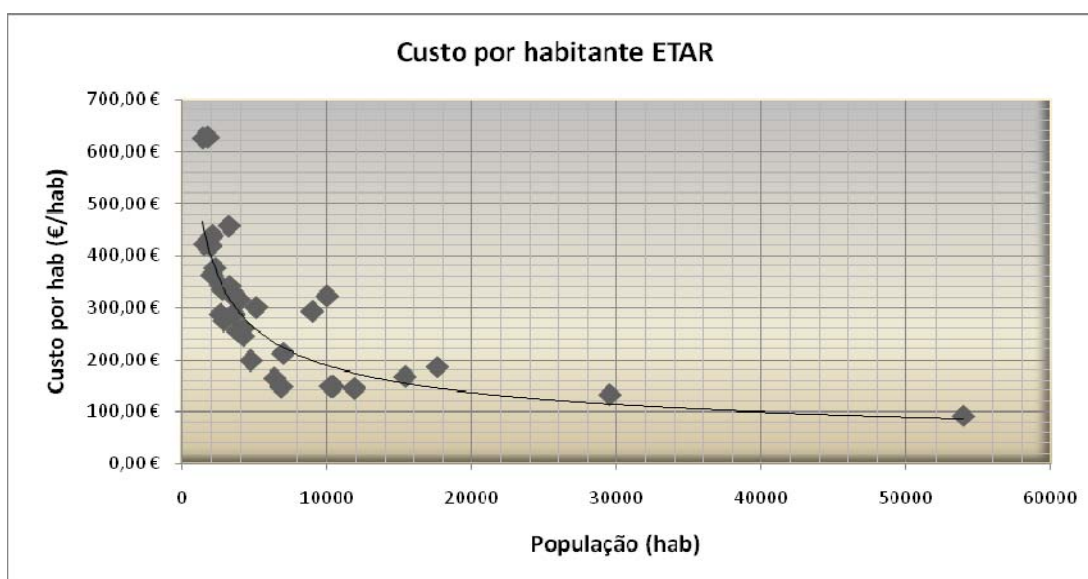


Gráfico 11 - Relação entre o custo, por habitante, das ETAR e a população no horizonte de projecto

A curva representada no gráfico 11, escreve-se pela expressão [14]:

$$y = 14870.116 \cdot X^{0.475} \quad [14]$$

Da análise estatística da expressão [14], resulta, Tabela 12:

Regressão	Tamanho da amostra	Casos não considerados	Coefficiente de Correlação	Coefficiente de Determinação	Coefficiente de Determinação Ajustado	Teste F	Significância
[14]	36	1	0.876	0.768	0.761	109.392	0.000

Tabela 12 – Resultados da análise estatística

Os resultados obtidos nesta análise permitem verificar que existe um aumento do custo da ETAR em função da população, descrito pela expressão [13] e uma diminuição do custo unitário de construção das ETAR com o aumento de população, expressão [14]. Estes resultados permitem-nos concluir que existem vantagens económicas em tratar grandes volumes de águas residuais na mesma ETAR em detrimento do tratamento de menores volumes em mais do que uma estação de tratamento.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Os objectivos deste estudo eram estimar custos de infra-estruturas de recolha, transporte e tratamento de águas residuais e respectivas componentes bem como relacionar esses custos com a densidade/dispersão populacional.

O conhecimento de estimativas de custos de infra-estruturas são as premissas fundamentais para planeamento, selecção de investimentos e apoio a decisões estratégicas de médio e longo prazo. As RPC obtidas são de extrema utilidade para empresas de gestão de saneamento básico, consultores, projectistas e entidades responsáveis pelas decisões políticas, podendo ser utilizados como estimativas iniciais dos preços dos componentes do sistema. Efectivamente os modelos paramétricos de custo aqui desenvolvidos, para cada órgão do SAR, não requerem a existência de um projecto, mas somente o conhecimento de alguns elementos base necessários para estudo prévio. Com efeito, o conhecimento de dados detalhados não está disponível quando da tomada de decisões estratégicas.

Os modelos encontrados explicam adequadamente os custos de cada componente do sistema de recolha e drenagem de águas residuais.

Os únicos órgãos dos SAR que permitem estabelecer alguma relação com a densidade/dispersão populacional foram as redes colectoras e as ETAR. Concluiu-se que há vantagens económicas a nível de construção de infra-estruturas de drenagem e tratamento de águas residuais, em tipos de povoamento mais concentrados.

Como trabalhos futuros propõe-se a determinação da dimensão óptima dos aglomerados populacionais por forma, por um lado, a minimizar os custos das infra-estruturas e por outro aumentar/manter elevados níveis de conforto urbanístico.

Neste estudo foi analisado o custo das estações de tratamento que utilizam lamas activadas, no entanto, foram inicialmente enquadradas neste estudo ETAR que utilizam outros tipos de tratamento. Verificou-se que o tipo de tratamento influenciava os resultados. Atendendo a que o número de ETAR com tratamento diferente do de lamas activadas era pequeno, excluíram-se essas estações deste estudo. No entanto, propõe-se um estudo similar para estações que não utilizem lamas activadas. Propõe-se ainda um estudo de optimização que permita avaliar o número/volume das ETAR em função

da extensão dos emissários, bem como, avaliar quando é mais económico utilizar uma EE em detrimento de uma ETAR.

Propõe-se ainda o estabelecimento, de uma forma similar, de modelos paramétricos de custo em sistemas de abastecimento de água.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer às entidades que disponibilizaram a informação necessária ao desenvolvimento deste estudo, o seu apoio e colaboração, nomeadamente à empresa Águas de Trás-os-Montes e Alto Douro (ATMAD), Empresa Municipal de Águas e Resíduos de Vila Real (EMAR) e ao Município de Mirandela.

BIBLIOGRAFIA

CARR, Robert I.-“ Cost-Estimating Principles”. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 115, no. 4, 1989, p.p. 545-551

COLOSSI, Nelson. “Modelos paramétricos de custos para projectos de sistema de esgoto sanitário”. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.

EARLE, George A., FARREL JR., Paul. “A mathematical model for estimating sewer costs”. In New England Water Environment Association Annual Conference. Boston, (USA). Environment One Corporation, 1997.

OTERO, Juliano Araújo. “Análise paramétrica de dados orçamentais para estimativa de custos na construção de edifícios: estudo de caso voltado para a questão da variabilidade.” Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, UFSC, 2000.

NASA, USA. Parametric Cost Estimating Handbook. Internet [online]: <http://www.jxc.nasa.gov/bu2/PCEH/pceh.zip>. 1995.