

II-193 - DESENVOLVIMENTO DE FUNÇÕES DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO PARA REDES COLETORAS E INTERCEPTORES

Bruno Lopes Salazar⁽¹⁾

Engenheiro civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFMG).

Marcos von Sperling

Engenheiro civil (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental (Imperial College, Universidade de Londres – Inglaterra). Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Juvenal Melo Senra, 41/1301 - Belvedere - Belo Horizonte - MG - CEP: 30320-660 - Brasil - Tel: (31) 3264-9535 - e-mail: bsalazar1701@yahoo.com.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta faixas de valores e funções de custo unitário de implantação de redes coletoras e interceptores de sistemas de esgotamento dinâmico. O objetivo é a disponibilização de informações simples que possam ser utilizadas em estudos preliminares ou quando não se dispõe de um projeto completo. Para facilitar a utilização das informações, os custos médios são expressos em custos unitários, ou seja, R\$/m e R\$/hab. As funções de custo foram elaboradas tendo por base orçamentos efetuados por uma firma de consultoria para projetos em diversos locais do território nacional, mas com predominância daqueles desenvolvidos no Estado de Minas Gerais. As faixas e funções são separadas por condições de implantação (presença de rochas, pavimentação e outros) e diâmetro, analisando-se ainda a influência da profundidade. Foram comparados ainda os custos dos serviços com os custos de materiais, tendo-se concluído que os primeiros representam cerca de 70 a 85% dos custos totais de implantação.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto, custos de implantação, rede coletora, interceptor.

INTRODUÇÃO

O sistema de esgotamento sanitário típico de uma localidade é composto por rede coletora, interceptor, estação elevatória e estação de tratamento. Há um grande número de trabalhos que concentram seus esforços em avaliar os custos de implantação das estações de tratamento (ANA, 2002; Brostel et al, 2001; Jordão e Pessoa, 2005; von Sperling, 2005 e 2007). Entretanto, os custos das unidades coletoras e de transporte dos esgotos são consideráveis e suas estimativas importantes para o custo global do sistema.

O objetivo geral deste trabalho é determinar faixas de custos unitários e, quando pertinente, por meio de análise da regressão, funções de custos unitários de implantação das tubulações responsáveis pela coleta e transporte dos esgotos gerados pela comunidade.

MÉTODOS

Os dados de custos a partir dos quais foram definidas as funções foram provenientes dos orçamentos feitos por uma firma de consultoria (ESSE Engenharia e Consultoria) para projetos básicos e executivos em diversas localidades no Brasil.

Para a determinação das faixas e funções de custos de implantação, os coletores e interceptores foram categorizados em suas particularidades. Através disso, conseguiu-se um melhor ajuste dos pontos às funções, pois os custos dentro de cada categoria referem-se a situações de implantação semelhantes. No total foram 440 km de redes coletoras em 20 sistemas, atendendo a uma faixa de 250 a 47.500 habitantes, e 145 km de interceptores em 22 sistemas, atendendo a uma faixa de 50 a 176.600 habitantes.

Os valores originais referem-se aos custos completos de implantação, ou seja, já têm incorporados todos os custos de implantação das unidades, além do BDI médio de 30%. Vale a importante ressalva que as funções

aqui propostas se baseiam apenas em custos de implantação e não incluem os custos de operação ou manutenção.

Optou-se pelo INCC – Índice Nacional de Custo da Construção (<http://www.esccgaspar.com.br/incc.htm>) para a conversão dos valores à mesma data-base, abril de 2010. A Figura 1 mostra a variação mensal deste índice ao longo dos últimos 12 anos. Observa-se que a maioria dos valores situa-se entre 0,3 e 1,5% de aumento ao mês. Desta forma, apesar da estabilidade do real nos últimos anos, o aumento mensal é importante, gerando incrementos anuais bastante expressivos.

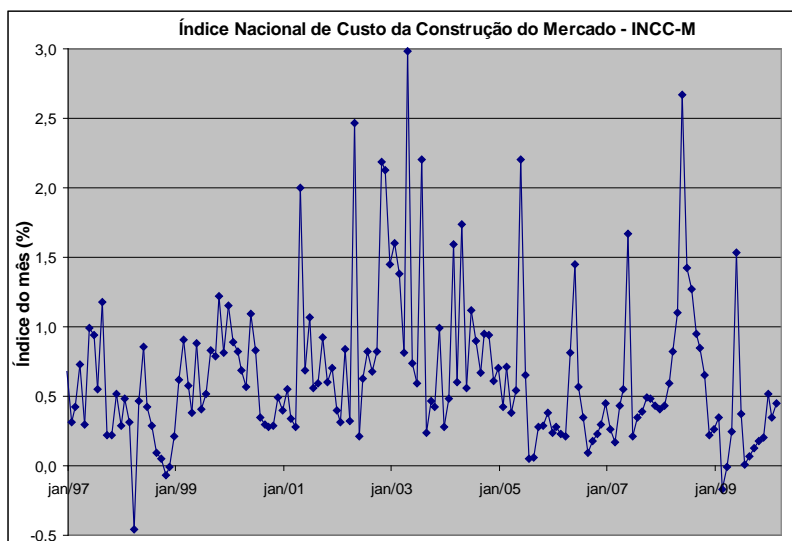


Figura 1 – Variação mensal do INCC-M, em percentagem

Fonte: Índice Nacional de Custo da Construção (Fundação Getúlio Vargas) – FGV (<http://www.esccgaspar.com.br/incc.htm>).

A metodologia de transformação dos dados em funções de custos baseou-se na análise da regressão. Os custos médios foram expressos em custos unitários, ou seja, R\$/m. Os valores sofrem influência de diversos fatores, tais como, pavimentação, solo seco, solo com rochas, tipo de material utilizado nas tubulações. Para minimizar a dispersão dos dados, foi feita uma separação dos fatores com a maior relevância nos custos. Desta forma, compararam-se os custos médios entre as categorias previamente estipuladas e geraram-se curvas que aproximam os dados.

No presente trabalho só são apresentadas as funções de custo quando a análise de regressão indicou um ajuste pelo menos razoável, tal como indicado pelo Coeficiente de Determinação (R^2). Para os casos onde as funções de custo não se adequaram aos pontos resultando em Coeficientes de Determinação inferiores a 15% (limite arbitrário) ou, quando a tendência observada não foi a esperada, optou-se pela apresentação dos valores máximos e mínimos da profundidade das tubulações, além dos custos associados aos **percentis 25% e 75%**, pois a utilização das funções poderia levar a conclusões equivocadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) REDE COLETORA

Para início da análise dos custos de implantação dos SES, é importante salientar as variabilidades e particularidades que cada localidade possui. Como o objetivo deste trabalho é a generalização, através de faixas ou funções de custo, dos valores de implantação das unidades de coleta e transporte de esgotos, se faz fundamental a utilização de algumas ferramentas de categorização. As redes coletoras são os primeiros instrumentos da infraestrutura dos sistemas de esgotamento. A partir da análise do banco de dados de orçamentos dos projetos, ficaram claras as influências da profundidade dos coletores, da presença de rochas e do tipo de pavimentação nas ruas onde tais unidades foram implantadas. Para o caso das redes coletoras, as

demais características como tipo de material e diâmetro não tiveram grande influência nos custos de implantação.

Custos de implantação por metro linear de rede implantada

As Figuras 2 e 3 demonstram que a maior parte das redes coletoras tem valores de profundidade média compreendidos entre 1,20 e 1,50 m e custos de implantação (sem categorização) entre R\$90,00 e R\$120,00 por metro linear de rede. Ao se comparar as contribuições dos custos de serviços e de materiais no custo global, observa-se que, no caso das redes coletoras, o percentual relativo aos serviços está, em sua maior parte, compreendido entre 75 e 80% dos custos totais. Portanto, os custos de fornecimento de materiais são significativamente inferiores aos custos dos serviços de escavação e recomposição dos pavimentos.

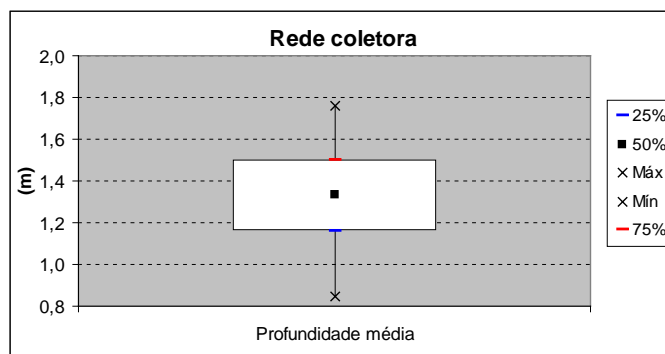


Figura 2 – Box-plot das profundidades de redes coletoras investigadas.

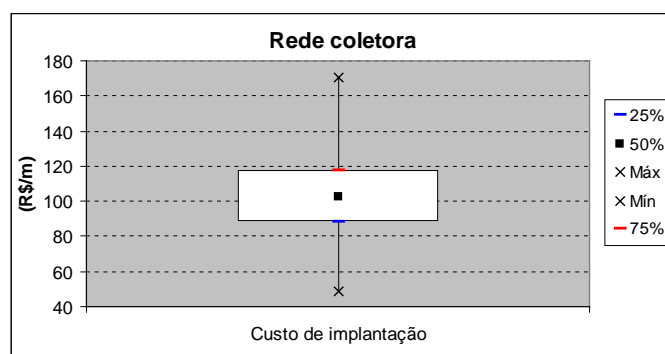


Figura 3 – Box-plot dos custos por metro para implantação de redes coletoras.

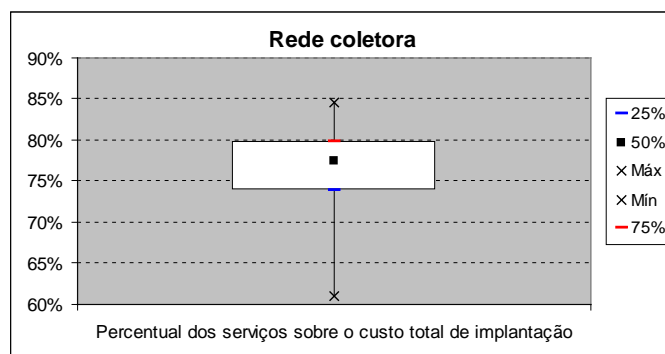


Figura 4 – Box-plot dos percentuais dos serviços sobre o custo total para implantação de redes coletoras.

A Figura 5 ilustra os valores de custo por metro de rede implantada, ordenados pela profundidade média. Foi feita a tentativa de ajustar os dados por meio de uma análise de regressão. Neste caso, entretanto, em função da grande dispersão dos pontos, ficou evidente o baixo ajuste que esta função proporcionou.

Os dados foram então divididos em subcategorias para propiciarem curvas com melhores ajustes:

- Tipo 1 (7 SES): Solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma;
- Tipo 2 (13 SES): Solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma.

Apresentam-se nas Figuras 6 e 7 as curvas com os novos ajustes.

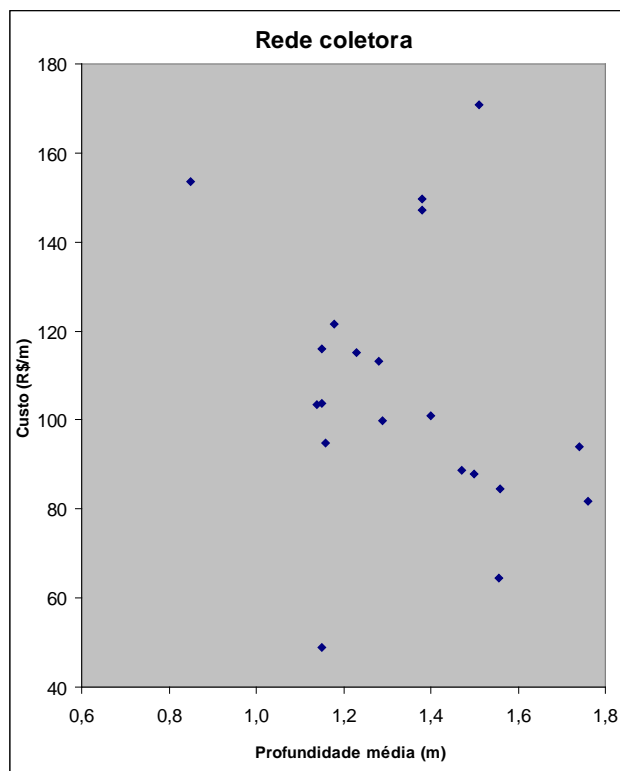


Figura 5 – Custos por metro para implantação de redes coletoras em termos da profundidade média dos coletores.

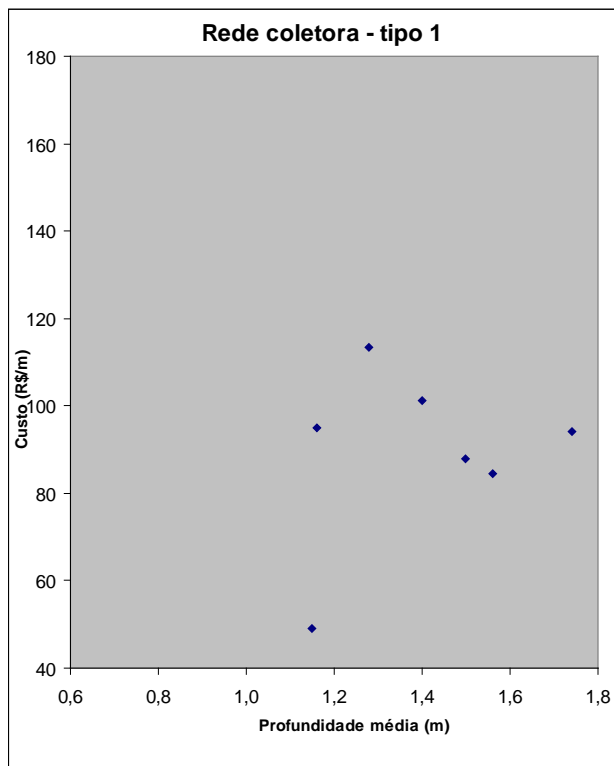


Figura 6 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 1 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 1: solo com até 10% de rochas e até 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).

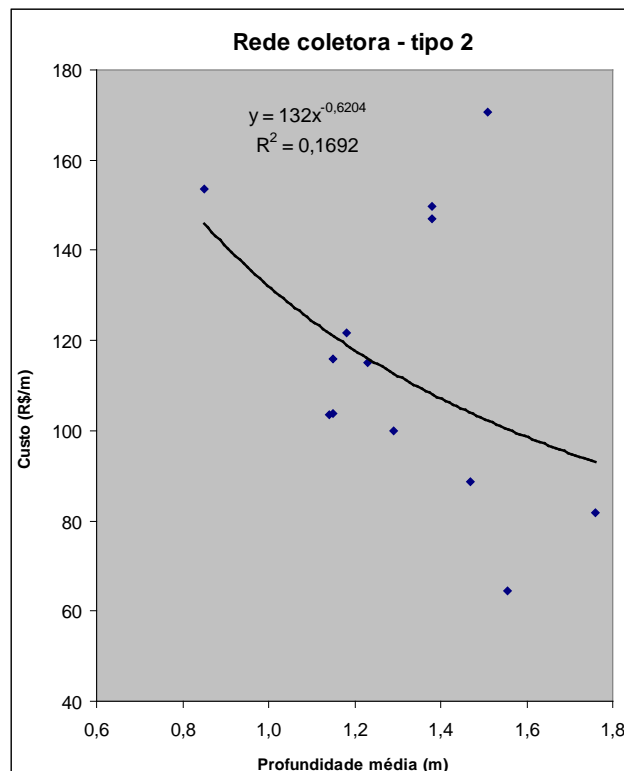


Figura 7 – Custos por metro para implantação de redes coletoras TIPO 2 em função da profundidade média das mesmas. (Tipo 2: solo com mais de 10% de rochas e mais de 40% de ruas pavimentadas de alguma forma).

A Figura 8 a seguir sintetiza em um único gráfico box-plot as duas categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação. Observa-se claramente que a implantação segundo o Tipo 2 está associada a condições mais difíceis e, em decorrência, maiores custos de implantação.

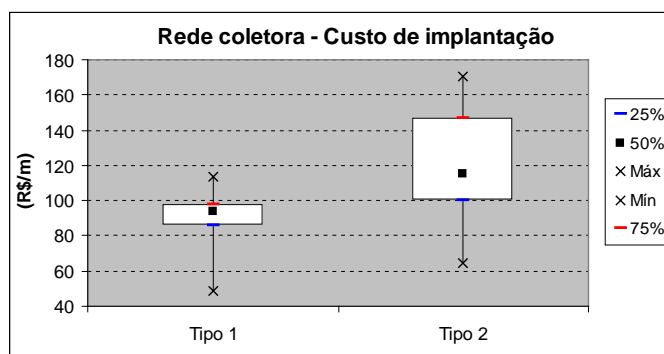


Figura 8 – Custos para implantação de redes coletoras.

b) INTERCEPTOR

Assim como as redes coletoras, os interceptores são tubulações, mas que costumam ser implantados nos fundos de vale. Ficam nas proximidades dos corpos d'água e têm por objetivo a interceptação e encaminhamento dos esgotos até as estações elevatórias e/ou estações de tratamento de esgotos. Frequentemente são locados em regiões inundáveis, quando não dentro do próprio corpo d'água. Geralmente são tubulações mais profundas e com diâmetros maiores, pois podem receber grandes contribuições das sub-bacias.

Seguindo a metodologia das redes coletoras, os custos são expressos por metro linear de interceptor implantado. Ao se desenvolverem as curvas, se fez necessária a criação de quatro tipos característicos visando à melhoria da qualidade das análises. Os interceptores possuem muito mais particularidades do que as redes coletoras. Além das características geológicas como presença de rochas e nível d'água, existem as contenções, travessias de bueiros, rodovias, córregos, rios. Os diâmetros de maior bitola passam a ter um peso adicional e precisam ser considerados nos custos de implantação.

A princípio seriam quatro tipos:

- Tipo 1 (29 SES): Solo seco com até 10% de rochas;
- Tipo 2 (7 SES): Solo seco com mais de 10% de rochas;
- Tipo 3 (9 SES): Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas;
- Tipo 4 (4 SES): Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com mais de 10% de rochas.

Entretanto, em função dos elevados custos de implantação das travessias e contenções, foi necessária a criação dos subtipos **A** e **B**, sendo o primeiro para designar interceptor **sem** condições especiais como travessias e **B** para interceptores que necessitam desses artifícios para suas implantações.

Custos de implantação por metro linear de interceptor implantado

As Figuras 9 e 10 mostram que a maior parte dos interceptores pesquisados tem valores de profundidade média entre 1,30 e 1,80 m e custos de implantação entre R\$130,00 e R\$360,00 por metro de interceptor. A Figura 11 retrata a influência dos custos de serviço no custo total de implantação. Para o caso dos interceptores, este percentual está, em sua maior parte, compreendido entre 70 e 85% dos custos totais. Portanto, os custos de material são substancialmente inferiores aos custos dos serviços de escavação, travessias, contenção e recomposição dos pavimentos.

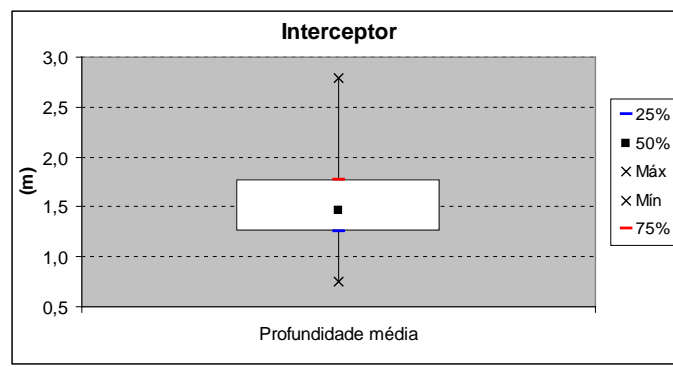


Figura 9 – Profundidade média de interceptores.

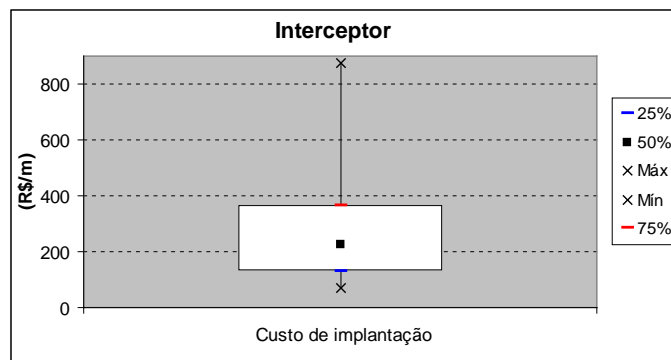


Figura 10 – Custos por metro para implantação de interceptores.

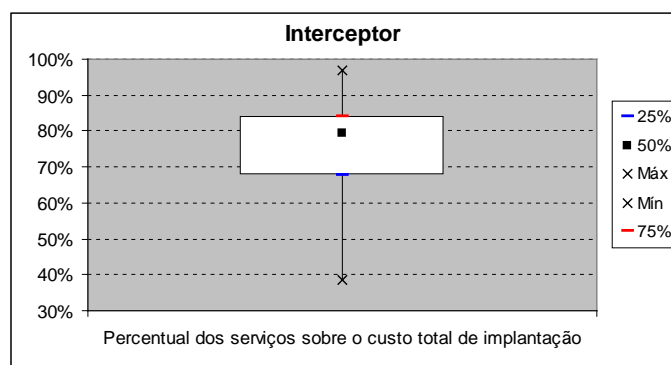


Figura 11 – Percentual dos serviços sobre o custo total para implantação de interceptores.

A Figura 12 ilustra os valores de custo por metro de interceptor implantado, ordenados pela profundidade média. Os dados foram ajustados por meio de uma análise de regressão que melhor se adequava a esses pontos. Neste caso, a curva de melhor ajuste foi uma função multiplicativa ($\text{Custo por metro} = a \cdot \text{Prof}^b$). Entretanto, em função da grande dispersão dos pontos, ficou evidente o baixo ajuste que esta função proporcionou.

Os dados foram então categorizados em tipos e subtipos para propiciarem curvas com melhores ajustes. Apresentam-se nas Figuras 13 a 16 as curvas com os novos ajustes. A Figura 17 retrata uma situação mais abrangente que as demais – não houve dados suficientes para a geração de curvas individuais para os subtipos 1B, 2B, 3B, 4A e 4B, razão pela qual esses pontos foram agrupados em um só gráfico.

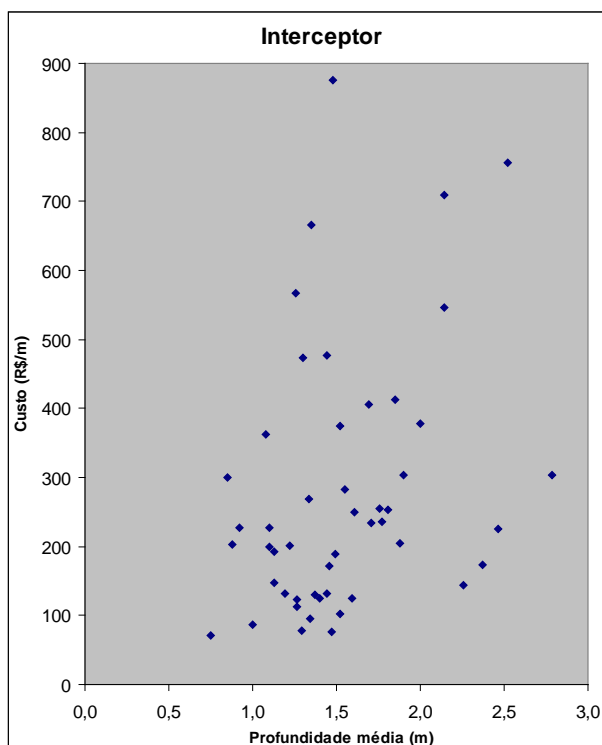


Figura 12 – Custos por metro para implantação de interceptores em função da profundidade média das tubulações.

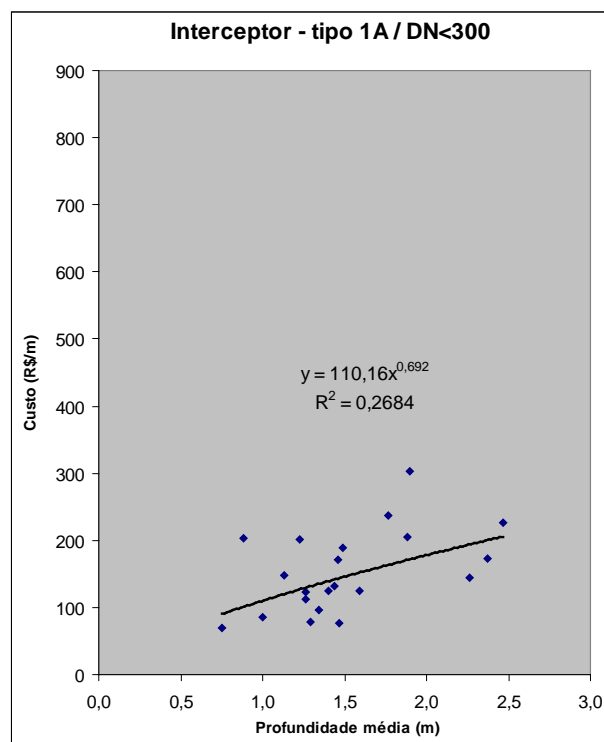


Figura 13 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

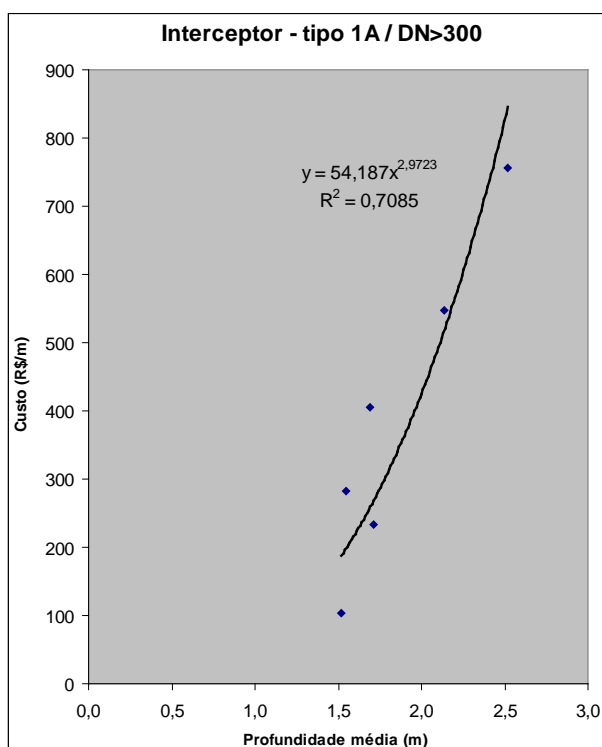


Figura 14 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 1A - Solo seco com até 10% de rochas, com diâmetros maiores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

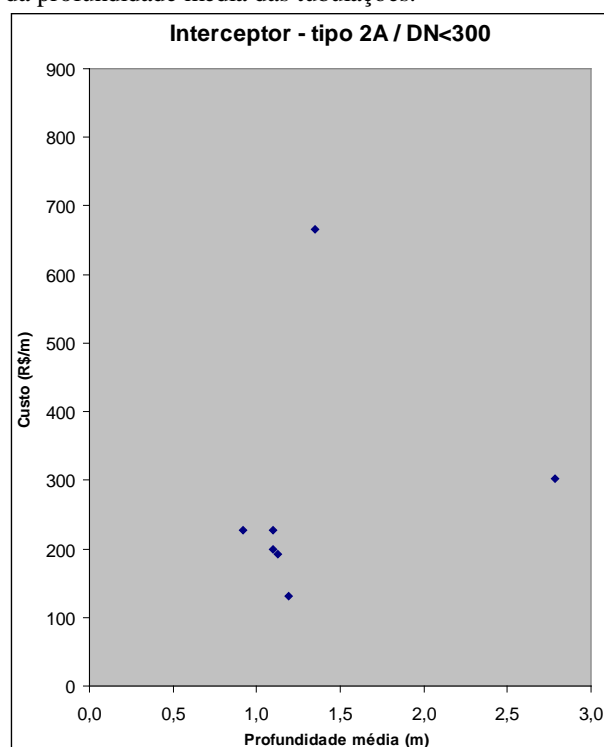


Figura 15 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 2A - Solo seco com mais de 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

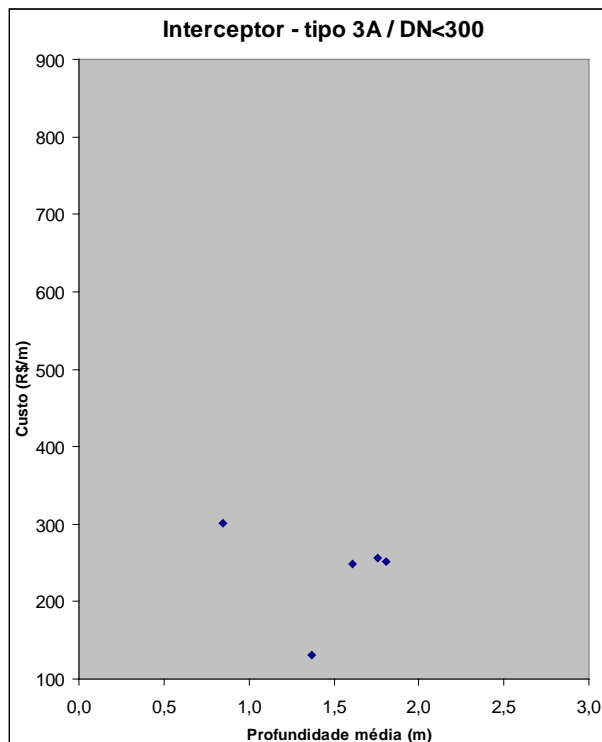


Figura 16 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPO 3A - Solo predominantemente seco (presença de água em até 40% dos casos) com até 10% de rochas, com diâmetros menores que 300 mm em função da profundidade média das tubulações.

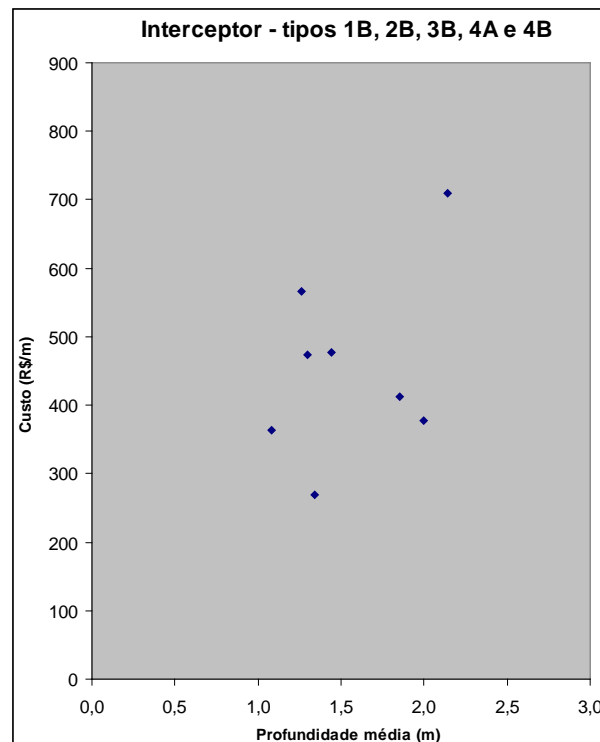


Figura 17 – Custos por metro para implantação de interceptores TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A e 4B – Tipo B (requerem travessias e contenções) em função da profundidade média das tubulações.

A Figura 18 agrupa em um único gráfico box-plot as cinco categorias para ajudar a visualização dos custos de implantação. Observa-se a influência das condições de implantação e dos diâmetros.

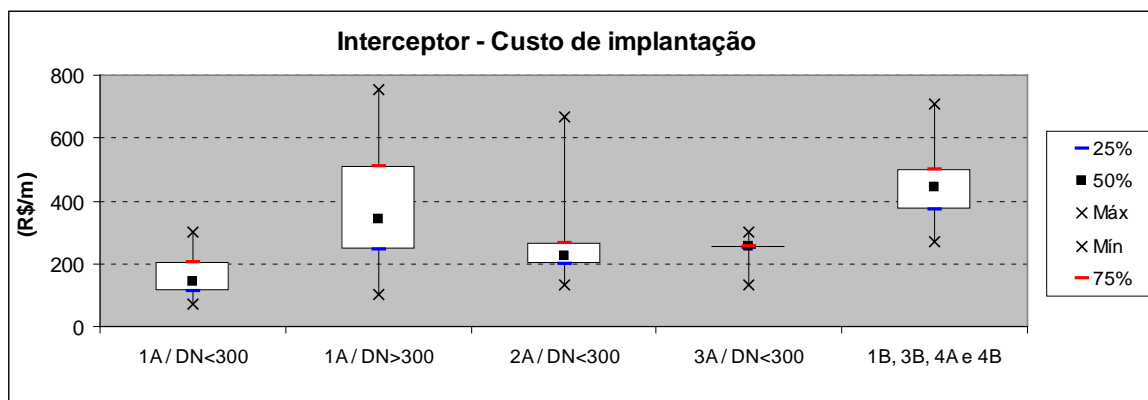


Figura 18 – Custos para implantação de interceptores.

c) SÍNTESE DAS FAIXAS DE CUSTOS E FUNÇÕES OBTIDAS

As Tabelas 1 (rede coletora), 2, 3 e 4 (interceptores) sintetizam os principais resultados do trabalho. As funções de custo obtidas poderão ser facilmente adequadas para outras datas-base, bastando a correção adicional a partir das futuras correções do INCC. Para os casos onde as funções não se ajustaram bem, ou quando não houve dados suficientes para a elaboração das mesmas, o campo indicativo da função foi deixado propositalmente em branco. Deve-se, neste caso, usar as faixas dadas pelos percentis 25% e 75%. Esta faixa pode ser considerada a faixa típica dos custos, pois dentro dela se situam 50% dos dados. Acredita-se que estes valores possam ser mais representativos, uma vez que as funções de custo não deram bons ajustes.

Tabela 1 – Faixas e funções de custos para implantação de **redes coletoras** (data-base abr/2010).

TIPO 1- COM ATÉ 10% DE ROCHA / COM ATÉ 40% PAVIMENTADO		TIPO 2- COM MAIS DE 10% DE ROCHA / COM MAIS DE 40% PAVIMENTADO	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)	Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)
-	-	132.Prof^{-0,6204}	0,1692
Profundidade mínima (m)	1,15	Profundidade mínima (m)	0,85
Profundidade máxima (m)	1,74	Profundidade máxima (m)	1,76
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	86,14	Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	99,92
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	98,00	Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	147,05

Tabela 2 – Funções de custos para implantação de **interceptores tipo 1A** (data-base abr/2010).

TIPO 1A: SOLO SECO COM ATÉ 10% DE ROCHAS / SEM CONDIÇÕES ESPECIAIS COMO TRAVESSIAS E CONTENÇÕES DIÂMETROS MENORES QUE 300 mm		TIPO 1A: SOLO SECO COM ATÉ 10% DE ROCHAS / SEM CONDIÇÕES ESPECIAIS COMO TRAVESSIAS E CONTENÇÕES DIÂMETROS MAIORES QUE 300 mm	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)	Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)
110,16.Prof^{0,692}	0,2684	54,187.Prof^{2,9723}	0,7085
Profundidade mínima (m)	0,75	Profundidade mínima (m)	1,52
Profundidade máxima (m)	2,46	Profundidade máxima (m)	2,52
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	112,07	Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	245,57
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	201,33	Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	511,62

Tabela 3 – Funções de custos para implantação de **interceptores tipo 2A e 3A** (data-base abr/2010).

TIPO 2A: SOLO SECO COM MAIS DE 10% DE ROCHAS / SEM CONDIÇÕES ESPECIAIS COMO TRAVESSIAS E CONTENÇÕES DIÂMETROS MENORES QUE 300 mm		TIPO 3A: PREDOMINANTEMENTE SECO (PRESENÇA DE ÁGUA EM ATÉ 40% DOS CASOS) / COM ATÉ 10% DE ROCHA / SEM CONDIÇÕES ESPECIAIS COMO TRAVESSIAS E CONTENÇÕES DIÂMETROS MENORES QUE 300 mm	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)	Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^b	Coefficiente de Determinação (R²)
-	-	-	-
Profundidade mínima (m)	0,92	Profundidade mínima (m)	0,85
Profundidade máxima (m)	2,78	Profundidade máxima (m)	1,81
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	196,38	Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	249,25
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	265,58	Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	255,74

Tabela 4 – Funções de custos para implantação de interceptores tipos 1B, 2B, 3B, 4A e 4B (data-base abr/2010).

TIPOS 1B, 2B, 3B, 4A E 4B (B - COM CONDIÇÕES ESPECIAIS COMO TRAVESSIAS E CONTENÇÕES)	
Função de custo (R\$/m) em função da profundidade (m) Custo=a.Prof ^{b-}	Coefficiente de Determinação (R ²)
-	-
Profundidade mínima (m)	1,08
Profundidade máxima (m)	2,14
Custo associado ao percentil 25% (R\$/m)	374,25
Custo associado ao percentil 75% (R\$/m)	499,37

CONCLUSÕES

O presente trabalho apresenta uma série de faixas de valores unitários típicos (dados pelos percentis 25% e 75%) de custos de implantação de redes coletoras e interceptores, expressos em R\$ por metro linear, tendo como data-base abril de 2010. Apesar de terem sido desenvolvidas algumas funções de custo levando em consideração a profundidade da tubulação, o ajuste aos dados observados foi muitas vezes bastante fraco, dada a grande dispersão dos custos reais. Por este motivo, acredita-se que seja mais útil se trabalhar com as faixas de custos dadas pelos percentis 25% e 75%.

Através desse estudo ficou clara a grande influência das condições de assentamento e diâmetros das tubulações, os quais influenciam os custos de implantação das tubulações responsáveis pela coleta e transporte dos esgotos. Por este motivo, os custos foram separados por categorias, para melhor retratar suas particularidades.

Dentro dos custos globais, observou-se que os custos associados aos serviços foram sempre maiores do que os custos associados aos materiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à firma ESSE Engenharia e Consultoria Ltda pelos dados fornecidos para este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). *Manual de operação - versão 2002.0*. Programa de despoluição de bacias hidrográficas – PRODES. 149p. 2002.
2. BROSTEL, R.C., NEDER, K.D., SOUZA, M.A.A. Análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. In: *Anais, 21º Congresso ABES*. João Pessoa, set/2001.
3. IBGE – Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03/04/2010.
4. IBGE – Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acesso em: 03/04/2010.
5. INCC/FGV – Disponível em: <<http://www.esccaspar.com.br/incc.htm>>. Acesso em: 20/03/2010.
6. JORDÃO, E.P., PESSOA, C.A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4 ed. Rio de Janeiro, ABES. 2005.
7. MEDEIROS FILHO, C.F. *Esgotos Sanitários*, Editora da UFPB, 1997, 430p.
8. MINISTÉRIO DAS CIDADES (MCidades). *Relatório de aplicações de 2008. Gasto Público em Saneamento Básico*. p.54, 86. 2008.
9. VON SPERLING, M.. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 2005.

10. VON SPERLING, M. *Desenvolvimento de Funções de Custo de Implantação de Estações de Tratamento de Esgotos* In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte. Resumo dos Trabalhos Técnicos... ABES, 2007.p. 126-127)