
Instituto Politécnico do Porto

Instituto Superior de Engenharia do Porto

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS
ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE
CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE
CONDUTAS DE SANEAMENTO**

João Miguel Costa Moura

1060310

Dissertação apresentada no Instituto Superior de Engenharia do Porto para obtenção do
grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientador

Jaime António Pires Gabriel Silva

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

i. AGRADECIMENTOS

Queria agradecer aos meus pais, Narcisa Moura e Jorge Moura, pela educação que me foi transmitida até hoje e a oportunidade de frequentar o ensino superior, acompanhadas sempre de auxílio, carinho e conforto.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador, Engenheiro Jaime Gabriel Silva, pela orientação provida de extensa experiência nesta área, ânimo e apoio prestados ao longo da execução da presente dissertação, sendo que sem a sua ajuda não teria sido possível o desenvolvimento deste estudo.

É também de salientar a amizade e amparo de Filipa Anjos. Agradeço imensamente pela motivação e ajuda prestada, bem como pela paciência demonstrada comigo nos dias mais difíceis do desenvolvimento do estudo em causa.

É igualmente importante agradecer à Dr^a. Margarida André e ao Engenheiro Vítor Vinagre da SIMRIA e à Engenheira Cláudia Nogueira da SIMLIS que tiveram um papel fulcral no progresso do presente trabalho.

Agradeço também aos meus amigos, pertencentes ou não ao Instituto, por me acompanharem nesta importante etapa da minha vida, bem como pelo companheirismo demonstrado.

A todos, mais uma vez, muito obrigado.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

ii. RESUMO

O trabalho apresentado centra-se na determinação dos custos de construção de condutas de pequenos e médios diâmetros em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) para saneamento básico, tendo como base a metodologia descrita no livro *Custos de Construção e Exploração – Volume 9 da série Gestão de Sistemas de Saneamento Básico*, de Lencastre et al. (1994).

Esta metodologia descrita no livro já referenciado, nos procedimentos de gestão de obra, e para tal foram estimados custos unitários de diversos conjuntos de trabalhos. Conforme Lencastre et al (1994), “*esses conjuntos são referentes a movimentos de terras, tubagens, acessórios e respetivos órgãos de manobra, pavimentações e estaleiro, estando englobado na parte do estaleiro trabalhos acessórios correspondentes à obra.*” Os custos foram obtidos analisando vários orçamentos de obras de saneamento, resultantes de concursos públicos de empreitadas recentemente realizados.

Com vista a tornar a utilização desta metodologia numa ferramenta eficaz, foram organizadas folhas de cálculo que possibilitam obter estimativas realistas dos custos de execução de determinada obra em fases anteriores ao desenvolvimento do projeto, designadamente numa fase de preparação do plano diretor de um sistema ou numa fase de elaboração de estudos de viabilidade económico-financeiros, isto é, mesmo antes de existir qualquer pré-dimensionamento dos elementos do sistema.

Outra técnica implementada para avaliar os dados de entrada foi a “*Análise Robusta de Dados*”, Pestana (1992). Esta metodologia permitiu analisar os dados mais detalhadamente antes de se formularem hipóteses para desenvolverem a análise de risco. A ideia principal é o exame bastante flexível dos dados, frequentemente antes mesmo de os

comparar a um modelo probabilístico. Assim, e para um largo conjunto de dados, esta técnica possibilitou analisar a disparidade dos valores encontrados para os diversos trabalhos referenciados anteriormente.

Com os dados recolhidos, e após o seu tratamento, passou-se à aplicação de uma metodologia de Análise de Risco, através da *Simulação de Monte Carlo*. Esta análise de risco é feita com recurso a uma ferramenta informática da *Palisade*, o *@Risk*, disponível no Departamento de Engenharia Civil. Esta técnica de análise quantitativa de risco permite traduzir a incerteza dos dados de entrada, representada através de distribuições probabilísticas que o *software* disponibiliza.

Assim, para por em prática esta metodologia, recorreu-se às folhas de cálculo que foram realizadas seguindo a abordagem proposta em Lencastre et al (1994).

A elaboração e a análise dessas estimativas poderão conduzir à tomada de decisões sobre a viabilidade da ou das obras a realizar, nomeadamente no que diz respeito aos aspetos económicos, permitindo uma análise de decisão fundamentada quanto à realização dos investimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Custos de construção, Análise de Risco, Simulação de Monte Carlo, Simulação Estocástica.

iii. ABSTRACT

This assignment focuses on the construction costs estimation of small and medium diameter High Density Polyethylene for sanitation, based on the methodology presented in the book *Custos de Construção e Exploração – Volume 9* from the serie *Gestão de Sistemas de Saneamento Básico*, of Lencastre et al. (1994).

That methodology was adapted attending the evolution verified, since 1994, in the management work procedures, and for that, unitary costs of several activities were estimated referred to soil hauling, pipes, operation devices, paving and construction site. The costs were obtained due to the analysis of numerous water supplies project budgets of public biddings.

With the goal of making the application of this methodology in a practical tool, were elaborated worksheets that permit to obtain realistic estimative of construction cost of determinate project in early stages, mainly in the preparation of a system global planning, or in a stage of elaboration of financial and economical viability studies, even before existing any pre calculus of the systems components.

An added technique implemented to evaluate the input data was the "Robust Data Analysis", Pestana (1992). This methodology allowed a more detailed analysis of data before producing hypotheses to develop a Risk Analysis. The main idea is the quite flexible examination of the data, often before you even compare them to a probabilistic model. Thus, and to a large data set, this technique made it possible to analyze the disparity of values for the various references mentioned above.

With the data previously collected, using the methodology previously referenced – the “Robust Data Analysis” – the data processing was done using the software provided by @Risk - BestFit. This *Palisade* application, coupled with the “Robust Data Analysis”, allows removing abnormally high or low values from the sample.

With the data previously collected, and after data treatment, using the methodology “Risk Analysis”, through *Monte Carlo Simulation*, this “Risk Analysis” is done using a software tool available from *Palisade*, the @Risk, available on Civil Engineer Department; this quantitative risk analysis technique allows assigning uncertainty to the input data that are represented by probability distributions that the software provides.

So, to put this methodology into practice, were used spreadsheets that were carried according to the Lancaster et al (1994) method.

The elaboration and analysis of those estimative may lead to fundamental decisions about the construction/project viability, particularly in what concerns to economic aspects, allowing the possibility of making a secure decision about the investment realization.

KEYWORDS: Constructions Costs, Risk Analysis, Monte Carlo Simulation, Stochastic Simulation

ÍNDICE GERAL

1	INTRODUÇÃO	21
1.1.	Objetivo.....	21
1.2.	Âmbito	22
1.3.	Organização da Dissertação	23
2	ESTIMATIVAS DE CUSTO DE CONDUTAS ADUTORAS EM PEAD.....	24
2.1.	METODOLOGIA BASE	24
2.2.	Tubagens de diferentes materiais usadas em redes de saneamento	32
2.3.	Metodologia aplicada no trabalho.....	37
2.3.1.	Elaboração do mapa de medições.....	39
2.4.	Estimativas de custo.....	58
2.4.1.	Cálculo dos custos unitários.....	59
2.4.2.	Decomposição dos orçamentos	67
2.5.	Determinação do valor global da obra	70
2.6.	Seleção dos Dados a Utilizar	74
2.6.1.	Análise Robusta de Dados	74
2.6.2.	Exposição de um exemplo de aplicação das caixas de bigodes.....	76
2.7.	Atualização de custos para o ano em curso	83
3	ANÁLISE DE RISCO	95

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

3.1.	Ferramentas estatísticas para análise de risco	97
3.2.	Ferramenta da <i>Palisade</i> para a área de análise de risco	97
3.3.	Ferramentas de Análise de Decisão com Apoio Informático	98
3.4.	Método de Monte Carlo	100
3.5.	Aplicação do Método de Monte Carlo	104
3.6.	Modelo de Análise de Risco Elaborado com Tradução da Incerteza Associada às Variáveis	105
3.7.	Utilização da Ferramenta <i>BestFit Distributions</i>	107
3.7.1.	Preparação dos Parâmetros – <i>BestFit</i>	111
3.7.2.	Exemplo de aplicação da Ferramenta informática Ajuste de distribuição - <i>Best Fit</i>	115
3.8.	Preparação dos Parâmetros da Simulação de Monte Carlo	131
3.8.1.	Realização da simulação e análise dos seus resultados	133
3.9.	Redistribuição dos Itens de Custo	146
4	CONCLUSÃO	151
5	BIBLIOGRAFIA	156
	ANEXOS	160
	ANEXO I	162
	DADOS BASE E ESTIMATIVAS DE CUSTO	162
	ANEXO II	166

TIPIFICAÇÃO DE ALGUNS CUSTOS PARCELARES DAS PROPOSTAS ANALISADAS.....	166
ANEXO III.....	170
MAPA COMPARATIVO DOS CUSTOS UNITÁRIOS DAS PROPOSTAS ANALISADAS.....	170
ANEXO IV.....	174
ANÁLISE ROBUSTA DE DADOS	174
ANEXO V.....	178
AJUSTE DOS DADOS	178

ÍNDICE QUADROS

Quadro 1 - Custo dos acessórios segundo metodologia de Lencastre et al (1994).....	29
Quadro 2 - Itens da Metodologia desenvolvida.....	68
Quadro 3 - Determinação dos custos parciais dos variados itens	71
Quadro 4 - Valores a introduzir pelo operador no separador <i>Dados Base e Estimativa</i> <i>Custo</i>	72
Quadro 5 - Valores a introduzir pelo operador no separador <i>Dados Base e Estimativa</i> <i>Custo</i> (com variabilidade).....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Quadro relativo ao arranque e reposição de pavimentos	26
Figura 2 - Quadro relativo às Medições do Movimento de Terras	27
Figura 3 - Quadro relativo aos Custos do Movimento de Terras para uma recarga de 1,50 m	28
Figura 4 - Quadro relativo ao custo por metro linear dos diferentes tipos de tubagem	29
Figura 5 - WBS da metodologia de Lencastre et al (1994)	31
Figura 6 - Abertura de vala para assentamento de conduta	33
Figura 7 - WBS da metodologia desenvolvida	38
Figura 8 - Mapa de Medições elaborado	39
Figura 9 - Vala tipo para instalação de tubagem.....	40
Figura 10 - Cálculo da Largura de vala para DN 200.....	41
Figura 11 - Cálculo da Escavação Total para DN 200.....	44
Figura 12 - Cálculo do volume de Escavação em Terra para DN 200 Erro! Marcador não definido.	
Figura 13 - Cálculo do Transporte a Vazadouro.....	49
Figura 14 - Almofada de areia.....	50

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Figura 15 - Elementos de medição auxiliares para cálculo de almofada de areia.....	51
Figura 16 - Mapa comparativo entre concorrentes para os custos unitários referentes a cada item	59
Figura 17 - Cálculo da célula E12 (custo total Escavação em Terra/Rocha Branda).....	60
Figura 18 - Cálculo da célula F12 (custo unitário Escavação em Terra/Rocha Branda)...	61
Figura 19 - Cálculo da célula F19 (custo unitário Assentamento DN200).....	62
Figura 20 - Cálculo célula F28 (custo unitário acessórios em caixas e caixas DN200).....	63
Figura 21 - Cálculo da célula F33 (custo unitário Caixa de Pavimento).....	64
Figura 22 - Cálculo da célula F37 (custo unitário Estaleiro e trabalhos acessórios)	65
Figura 23 - Disparidade de valores entre concorrentes.....	66
Figura 24 - Tipificação dos diversos custos parcelares nas propostas analisadas	69
Figura 25 - Separador <i>Dados Base e Estimativa Custos</i>	72
Figura 26 - Cálculo do nº de elementos, Profundidade da mediana e Mediana	77
Figura 27 - Cálculo da Dispersão Quartal e Barreiras de Outliers	78
Figura 28 - Caixa de Bigodes – Fornecimento e assentamento PEAD 200 Erro! Marcador não definido.	
Figura 29 - Valores adotados (Aterro com produtos de empréstimo).....	80
Figura 30 - Média resultante da amostra de valores da análise robusta.....	82

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Figura 31 - Taxa anual dos índices do preço do consumidor excluindo a habitação.....	84
Figura 32 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 200, com base no I.P.C.E.H.	87
Figura 33 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 250, com base no I.P.C.E.H.	88
Figura 34 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 300, com base no I.P.C.E.H.	89
Figura 35 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 400, com base no I.P.C.E.H.	90
Figura 36 - Quadros de definição das condições de projeto.....	92
Figura 37 - Quadros de comparação entre custos de 1994 e custos de obras recentes	93
Figura 38 - Separador Dados (Ajuste da Distribuição).....	112
Figura 39 - Separador <i>Distribuições a Ajustar</i>	113
Figura 40 - Lista do <i>Ranking do Ajuste</i> (Resultado do Ajuste).....	114
Figura 41 - Estatísticas de ajuste possíveis.....	115
Figura 42 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de ajuste <i>Chi-quadrado</i>).....	116
Figura 43 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste <i>Chi-quadrado</i>)	117

Figura 44 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de Ajuste <i>Anderson-Darling</i>).....	118
Figura 45 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste <i>Anderson-Darling</i>).....	118
Figura 46 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de Ajuste <i>Komolgorov-Smirnov</i>)	119
Figura 47 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste <i>Komolgorov-Smirnov</i>)	119
Figura 48 - Gráfico Q-Q (Estatística de ajuste <i>Komolgorov-Smirnov</i>).....	120
Figura 49 - Botão <i>Escrever na Célula</i> (Resultado do Ajuste)	122
Figura 50 - Valores da amostra após análise de risco e distribuição	123
Figura 51 - Mapa de Medições elaborado atendendo à variabilidade	126
Figura 52 - Determinação dos custos parciais dos variados itens com valores atendendo ao risco	127
Figura 53 - Variáveis de entrada com incerteza associada	128
Figura 54 – Botão para chamar a caixa de diálogo <i>Define Distributions</i>	129
Figura 55 - Caixa de diálogo <i>Define Distributions</i> preenchida.....	129
Figura 56 - Botão <i>Add Output</i>	130
Figura 57 – Botão para aceder à caixa de diálogo <i>Simulation Settings</i>	131
Figura 58 - Definição das características das iterações pretendidas para a simulação	132

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Figura 59 - Determinação dos parâmetros relativos à definição da amostragem	132
Figura 60 – Botão <i>Start Simulation</i>	133
Figura 61 - Resultado da simulação efetuada	134
Figura 62 - Custos atendendo aos riscos.....	135
Figura 63 - Histograma da distribuição probabilística da variável – Custo por m.l. com análise risco.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 64 - Histograma da distribuição probabilística da variável Custo por m.l. com análise risco.....	Erro! Marcador não definido.
Figura 65 - Histograma da distribuição probabilística Custo total com análise de risco	Erro!
Marcador não definido.	
Figura 66 - Histograma da distribuição probabilística Custo total com análise de risco .	140
Figura 67 - Curva acumulada descendente da distribuição obtida para o Custo Total da Obra	141
Figura 68 - Histograma da distribuição probabilística da variável – Custo total da obra	142
Figura 69 - Curva acumulada ascendente da distribuição obtida para o Custo Adicional da obra com análise de risco	143
Figura 70 - Gráfico tornado da distribuição obtida para o Custo Adicional da obra com análise de risco.....	144
Figura 71 - Botão <i>Simulation Data</i>	147

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Figura 72 - Botão <i>Add Output</i>	148
Figura 73 - Cálculo da coluna Somatório de Custos	149

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I – DADOS BASE E ESTIMATIVAS DE CUSTO

ANEXO II – TIPIFICAÇÃO DE ALGUNS CUSTOS PARCELARES DAS PROPOSTAS
ANALISADAS

ANEXO III – MAPA COMPARATIVO DOS CUSTOS UNITÁRIOS DAS PROPOSTAS
ANALISADAS

ANEXO IV - ANÁLISE ROBUSTA DE DADOS

ANEXO V – AJUSTE DOS DADOS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO
DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

1

INTRODUÇÃO

No âmbito da unidade curricular Dissertação, propus o seguinte tema de trabalho *Aplicação de métodos estocásticos na gestão de custos de construção de condutas de saneamento (Diâmetros entre 200 e 400 mm)*, sob orientação do Sr. Engenheiro Jaime Gabriel Silva.

1.1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consiste na elaboração de estimativas de custo de construção de condutas de saneamento básico e conseqüente análise de risco.

Para tal era essencial recorrer a um método de análise que possibilitasse desenvolver estimativas com base num conjunto bastante reduzido de dados. Este número bastante pequeno de dados é muito usual nesta fase de projeto, que é a fase inicial.

Após sugerir o tema do trabalho foi-me proposto estudar e eventualmente adaptar a metodologia proposta em Lencastre et al (1994), sobre estimativas de custos, com vista à preparação das respetivas folhas de cálculo, e a realização de uma avaliação de risco essencial a um potencial projeto.

A metodologia adotada resultou de ligeiros ajustamentos e da implementação informática da metodologia apresentada no livro acima referido. Nesse livro, a

determinação do custo de uma conduta baseia-se em custos médios por metro linear de conduta, permitindo criar uma estimativa realista do custo de uma determinada obra, numa fase inicial ou seja antes mesmo de existir um projeto de execução ou estudo prévio. Isto possibilita avaliar a viabilidade do projeto, principalmente analisar os seus prováveis custos e analisar riscos inerentes.

Na elaboração das folhas de cálculo e para uma mais correta estimação dos custos, foi necessário recorrer ao estudo de valores atualizados de custos unitários, fornecidos, neste trabalho, de propostas apresentadas a um concurso público, de empresas gestoras de sistemas de saneamento (a SIMRIA e a SIMLIS).

1.2. ÂMBITO

Para dar início à realização das folhas de cálculo foi fundamental definir alguns parâmetros de forma a permitir a realização do presente trabalho.

Era, portanto, fundamental dizer qual o tipo de material das condutas a estudar e os diâmetros destas, de modo a poderem-se utilizar preços unitários coerentes.

Assim as folhas de cálculo elaboradas destinam-se a possibilitar estimar os custos associados à instalação de condutas de saneamento básico em polietileno de alta densidade (PEAD) com diâmetros entre 200 e 400mm.

Do mesmo modo, a razão do material ser PEAD acontece devido ao facto de que os orçamentos disponibilizados pelo orientador, para recolha de dados, pertencentes a

obras com tubagem desse tipo, executadas para construção do sistema da *SIMRIA* ou *SIMLIS*, serem constituídos, principalmente, por essa solução. Aliás, este tipo de situação acontece na maioria dos sistemas noutras empresas do grupo Águas de Portugal, segundo informação do orientador.

.

1.3. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No 1º capítulo da dissertação, apresenta-se a introdução, o objetivo e o âmbito que pretende enquadrar e justificar o trabalho desenvolvido bem como a metodologia adotada.

No capítulo 2 apresentam-se estimativas de custos para as condutas adutoras adotadas, onde se irá descrever a metodologia base para a realização deste trabalho.

Quanto ao capítulo 3 procurou-se realizar uma análise de risco, com o objetivo de estimar os resultados mais prováveis para o problema.

No capítulo 4 apresenta-se as conclusões que foram retiradas com a realização deste trabalho.

.

2

ESTIMATIVAS DE CUSTO DE CONDUTAS SANEAMENTO EM PEAD

2.1. METODOLOGIA BASE

Como foi dito anteriormente, a metodologia que se encontra na base para a realização deste trabalho, é a descrita na publicação conjunta do LNEC e da Direção Geral do Ambiente *Custos de Construção e Exploração* de Lencastre et al (1994).

A publicação referida tem como objetivo a avaliação dos custos médios de investimento e de exploração de sistemas de abastecimento de água, de sistemas de drenagem e tratamento das águas residuais, e de sistemas de processamento de resíduos sólidos urbanos.

Para o desenvolvimento deste trabalho, a secção do livro que foi objeto de uma análise mais intensa corresponde ao subcapítulo *2.1 Custos de Investimento das canalizações*.

De acordo com os autores, *o custo médio de um troço unitário de conduta depende do diâmetro, do material, da pressão de serviço a suportar e ainda da extensão, da necessidade de proceder ao arranque e reposição do pavimento, do volume e da natureza dos movimentos de terra necessários à sua implantação no local onde deve*

ficar instalada, bem como da quota-parte do custo dos órgãos acessórios que seja lícito atribuir-lhe, por sua vez dependente das funções que a tubagem desempenhar no sistema (adução ou rede de distribuição).

A publicação de Lencastre et al. (1994) remonta ao ano de 1994, sendo os custos que foram descritos obtidos a partir de estudos do mercado, das listas de preço de empreitada e estimativas de custo das obras desse mesmo ano.

Assim, na metodologia descrita no livro acima referido, existem custos parcelares que, através de uma análise mais cuidada e de quantificação estimada dos correspondentes custos, são os principais para estimar o custo da globalidade da obra. Tal é o caso do arranque e reposição de pavimentos, movimento de terras, tubagem e acessórios, que serão explicados com maior detalhe, de seguida.

Arranque e reposição de pavimentos

No que respeita ao arranque e reposição de pavimentos a publicação de Lencastre et al (1994) faz alusão à utilização de vários tipos diferentes de pavimento, sendo divididos em cinco grupos, e em que a largura da área a pavimentar é superior em 0,40m relativamente à largura da vala necessária para implantação da conduta, conforme se pode constatar no quadro transcrito abaixo.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

	CUSTOS DE BASE (1994)	
1 Arranque e reposição de pavimentos	Betume asfáltico	2200 Esc/m ²
	Calçada de vidro (passeio)	2000 Esc/m
	Cubos de granito	1500 Esc/m
	Calçada à portuguesa	1100 Esc/m
	Macadame	900 Esc/m

DIÂMETRO (mm)	LARGURA DA VALA (m)	CUSTO (Esc/m)				
		BETUME ASFÁLTICO	CALÇADA DE VIDRAÇO	CUBOS DE GRANITO	CALÇADA À PORTUGUESA	MACADAME
		40	0,65	2310	2100	1575
...
700	1,27	3674	3340	2505	1837	1503
...
900	1,49	4158	3780	2835	2079	1701
..

Figura 1 - Quadro relativo ao arranque e reposição de pavimentos

Fonte: Lencastre et al (1994)

Movimento de terras

Os custos inerentes ao movimento de terras dependem do tipo de escavação a realizar, do volume de aterro e remoção e transporte de terras sobranes a depósito.

Relativamente à escavação, a metodologia abordada faz referência a dois tipos de escavação: a escavação em rocha ou em terra. Para o cálculo do volume de escavação são consideradas alturas de recarga de vala com valores de 1,00m, 1,50m e 2,00m, sendo que a largura da vala é calculada com recurso às seguintes expressões:

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

$$L = D_{ext} + 0,50m \text{ (para } D_{ext} \leq 500mm \text{)}$$

$$L = D_{ext} + 0,70m \text{ (para } D_{ext} > 500mm \text{)}$$

com um valor mínimo de $L = 0,65 \text{ m}$.

Sendo:

L – Largura da vala

D_{ext} – Diâmetro exterior da conduta

O custo do aterro é determinado, tendo em conta que o volume total de aterro é igual ao volume de escavação subtraído do volume ocupado pela conduta.

Para o custo da remoção e transporte a depósito a metodologia estudada aponta para que seja arbitrada uma distância média de transporte de 1000m.

2
Abastecimento de água
Movimento de terras
Medições

DIÂMETRO (mm)	LARGURA DA VALA (m)		Recarga: 1,00 m						Recarga: 1,50 m						Recarga: 2,00 m					
			PROFUNDIDADE DE SOLEIRA		ESCAVAÇÃO	TRANSPORTE A VAZADOURO	ATERROS		PROFUNDIDADE DE SOLEIRA		ESCAVAÇÃO	TRANSPORTE A VAZADOURO	ATERROS		PROFUNDIDADE DE SOLEIRA		ESCAVAÇÃO	TRANSPORTE A VAZADOURO	ATERROS	
			(m)	(m)			(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)			(m)	(m)	(m ³)	(m ³)			(m ³)	(m ³)
40	0,65	1,29	0,78	0,11	0,11	0,66	1,69	1,10	0,11	0,11	0,99	2,19	1,43	0,11	0,11	1,31	1,43	0,11	0,11	1,31
700	1,27	1,90	2,41	0,88	0,42	1,53	2,40	3,05	0,88	0,42	2,16	2,90	3,68	0,88	0,42	2,80	3,68	0,88	0,42	2,80
900	1,49	2,16	3,21	1,37	0,60	1,84	2,66	3,96	1,37	0,60	2,59	3,16	4,70	1,37	0,60	3,33	4,70	1,37	0,60	3,33

Figura 2 - Quadro relativo às Medições do Movimento de Terras

Fonte: Lencastre et al (1994)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Abastecimento de água
Movimentos de terras. Custos

Recarga sobre a tubagem = 1,50m

CUSTOS DE BASE (1994)									
Escavação em terra	1100Esc/m ³		Escavação em rocha	4500 Esc/m ³					
Transporte a vazadouro	600Esc/m ³		Areia	4000Esc/m ³					
Aterro com produtos de escavação	900Esc/m ³		Aterro com produtos de empréstir	1500Esc/m ³					

DIÂMETRO (mm)	ESCAVAÇÃO EM TERRA					ESCAVAÇÃO EM ROCHA				
	ESCAVAÇÃO	TRANSPORTE A VAZADOURO	ATERROS		TOTAL	ESCAVAÇÃO	TRANSPORTE A VAZADOURO	ATERROS		TOTAL
			ALMOFADA DE AREIA	PRODUTOS DE ESCAVAÇÃO				ALMOFADA DE AREIA	PRODUTOS DE ESCAVAÇÃO	
40	1211	68	444	890	2613	4955	68	444	1483	6949
...
700	3350	531	1676	1945	7503	13706	531	1676	3242	19155
...
900	4352	821	2934	2329	9895	17802	821	2394	3881	24898

Figura 3 - Quadro relativo aos Custos do Movimento de Terras para uma recarga de 1,50 m

Fonte: Lencastre et al (1994)

Tubagem

Os custos para os vários tipos de tubagem apresentados por Lencastre et al (1994) (fibrocimento, betão pré-esforçado, ferro fundido, PVC rígido e PEAD) foram obtidos a partir das tabelas dos fabricantes e das listas de preços de empreitadas com preços respeitantes ao ano de 1994.

Na figura apresentada de seguida, Figura 4, encontra-se um dos quadros existentes na publicação de Lencastre et al para os diferentes tipos de tubagem.

Na figura 5 é exposto um organograma esquemático dos grupos de trabalhos adotados na metodologia de Lencastre et al (1994) para os custos de construção de condutas. Esta representação é geralmente denominada pelo termo inglês WBS (*work breakdown structure*) e possibilita uma visualização gráfica de fácil percepção dos itens que a metodologia de Lencastre elege para quantificação dos custos.

Uma WBS é uma ferramenta que permite a decomposição do trabalho do projeto em pacotes de trabalho menores. É estruturada uma árvore exaustiva, hierarquizada (da tarefa mais geral para a mais específica), de modo a serem realizadas as tarefas necessárias para ir ao encontro do objetivo pretendido.

Assim, com uma WBS construída pode encontrar-se, de forma rápida, informações bastante úteis sobre um determinado projeto. Informações como os vários elementos do projeto são; como os elementos de maior dimensão do projeto são subdivididos em pequenos, ou até como o trabalho necessário está distribuído entre os elementos do projeto.

É, de todo, importante referir que uma WBS está direcionada não só para organizar a estrutura das atividades (trabalho), como também para representar a estrutura de custos de uma dada obra.

No entanto, para uma melhor compreensão deste conceito, é possível ver na figura 5 um exemplo de uma WBS, diretamente relacionada com o presente trabalho.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

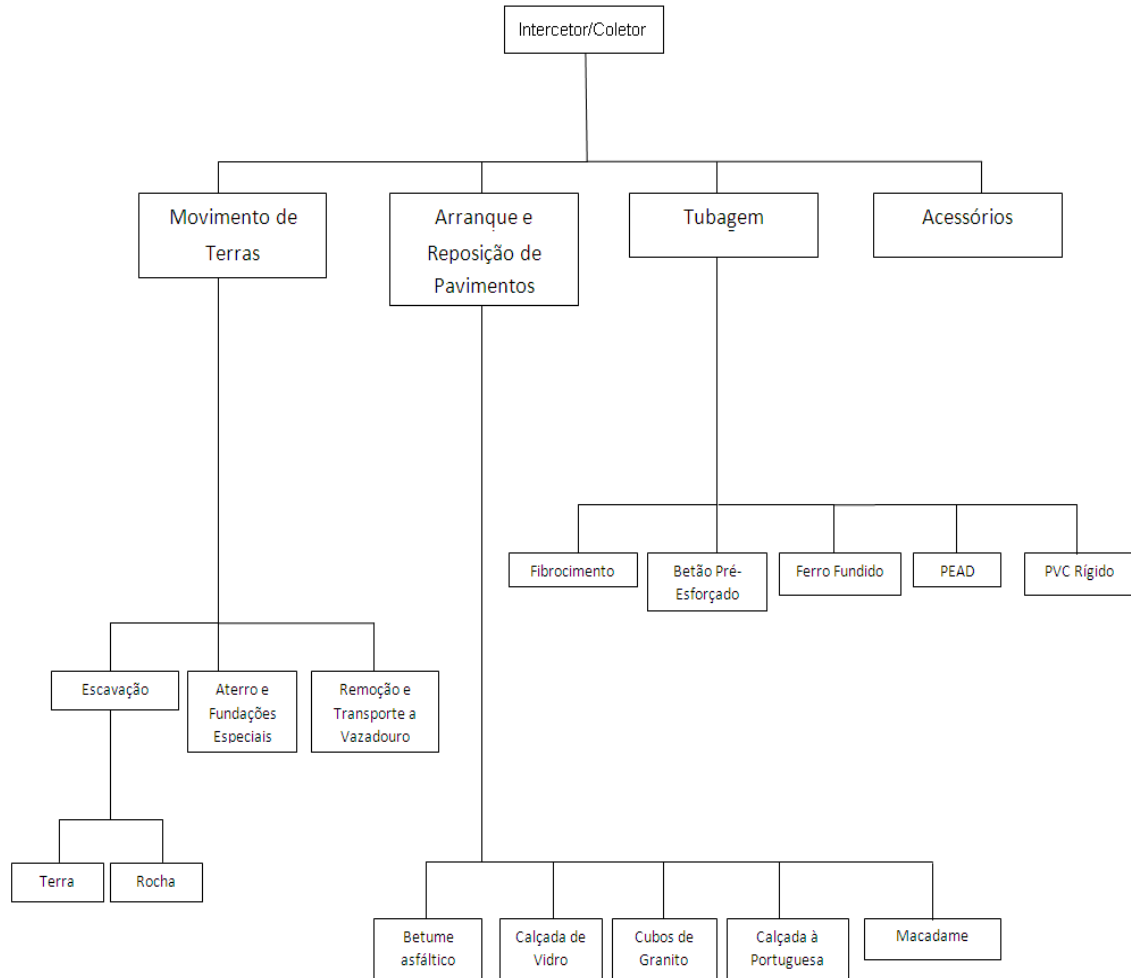


Figura 5 - WBS da metodologia de Lencastre et al (1994)

2.2. TUBAGENS DE DIFERENTES MATERIAIS USADAS EM REDES DE SANEAMENTO

O saneamento básico é um conjunto de procedimentos adotados numa determinada região que visa proporcionar uma situação higiênica saudável para os habitantes.

Uma das principais preocupações no que respeita à água prende-se com uma gestão cuidada e eficiente deste recurso, de modo a melhorar a qualidade física, química e biológica. Sendo assim, é relevante a implementação de políticas coerentes e sustentáveis. O saneamento básico é um parâmetro que requer especial atenção por parte das políticas nacionais do ambiente, já que tem um impacto muito grande na população e meio ambiente, com especial efeito nos meios recetores.

Após esta pequena introdução, com uma sucinta descrição do objetivo do saneamento, irá ser feita uma descrição sobre os vários materiais que poderão ser utilizados no fabrico das tubagens.

Nas condutas sob pressão, o escoamento pode processar-se por ação da gravidade ou por meio de bombagem.

Os materiais normalmente utilizados para o fabrico das condutas são normalmente ferro fundido dúctil, o aço, o PVC (cloreto de polivinilo), o PEAD (polietileno de alta densidade) e o PP Corrugado (Polipropileno Corrugado).

Tal como foi em cima referido, no ponto 1.2, o âmbito deste trabalho foca-se em condutas adutoras de polietileno de alta densidade, material que ser objeto de uma pequena explicação apresentada em seguida.



Figura 6 - Abertura de vala para assentamento de conduta

Fonte: Martins, F. (2004)

O uso do polietileno de alta densidade (PEAD) para tubagens é relativamente recente. A sua utilização teve início em 1950 e tem permitido a substituição de outros materiais utilizados. Em obras como saneamento básico, drenagem, canalização de rios, tem sido, cada vez mais utilizado o polietileno de alta densidade. Na construção civil e obras de infraestruturas, é notório o crescimento da utilização deste tipo de tubagens, em substituição ao aço e ao betão, devido à sua facilidade de processamento e às suas favoráveis propriedades químicas e mecânicas.

As tubagens de polietileno de alta densidade são obtidas através de um processo de extrusão. Devido à sua elevada leveza e à grande flexibilidade que possui podem ser transportados com enorme facilidade, características muito importantes dos tubos de PEAD usados em obras de saneamento, drenagem, gás, entre outro tipo de obras. Os tubos de polietileno de alta densidade têm a vantagem de poder ser utilizados em todo o tipo de obras em que são usadas outras tubagens.

Assim, os tubos feitos de materiais como PVC, betão armado e aço podem ser substituídos por este tipo. Podendo ser utilizadas nas mais variadas obras, tais como:

Conduatas;

Telecomunicações;

Sistemas de drenagem de águas prediais;

É de referir que este tipo de tubagens (PEAD) segue normas bastante rígidas.

As tubulações são, normalmente, divididas em dois tipos: as rígidas e as flexíveis. As tubagens rígidas não permitem nenhum tipo de desvio sem que seja feita uma intervenção na sua estrutura. É o caso de materiais como o betão, cerâmica e ferro fundido.

Quanto às tubagens flexíveis estas permitem um pequeno desvio (mínimo) sem que seja necessário uma intervenção estrutural – é o caso de tubos produzidos com materiais como o aço, alumínio e termoplásticos, como o é o caso do polietileno. Os tubos flexíveis podem, ainda, ser divididos em materiais elásticos – caso dos tubos de metal – e viscoelásticos, representados pelos materiais termoplásticos.

Os tubos em PEAD podem ser lisos ou corrugados, sendo que a sua resistência mecânica é intensificada pelo exterior corrugado, aumentando, conseqüentemente, a força estrutural do tubo.

Como a capacidade de condução de uma tubagem é inversamente proporcional à sua rugosidade interna, o baixo índice de rugosidade do interior dos tubos ajuda a uma melhor condução da água ou de outros fluídos à base de água.

Leveza e trabalhabilidade

O polietileno é um material mais leve do que os outros materiais usados em tubagens. Essa leveza permite uma economia em vários aspetos comparativamente aos materiais mais pesados.

Podem ser transportados em maiores quantidades; a utilização dos tubos é facilitado pelo seu peso e, conseqüentemente, não é necessário um maior número de pessoas para auxiliar, bem como a diminuição de equipamentos pesados que costumam ser necessários para o transporta para o local desejado. Além disso, há uma menor perda de tubos avariados em obra. Com todas estas vantagens, pode dizer-se que há um incremento da segurança na aplicação deste tipo de tubagens.

Resistência química e à abrasão

Comparativamente com o betão, o índice de perda de material do PEAD é de 15% a 25%. Este material é bastante resistente à corrosão, além de imune à reação galvânica e eletromecânica. O polietileno pode ser utilizado de maneira segura nos solos ou efluentes que apresentem uma variação de pH de 1,5 a 14. O polietileno de alta densidade tem uma vida útil mínima de 50 anos, e esperada de 75 anos.

Instalação e produtividade

A ligação entre os tubos, após terem sido colocados na respetiva vala, é feita através de um processo denominado eletrofusão.

Esta operação consiste num processo de solda em que uma corrente elétrica, com intensidade controlada, passa por uma resistência existente na conexão, aquece-a e transfere ao tubo energia suficiente para que aconteça a fusão dos dois elementos. A execução da solda é feita através de uma máquina de eletrofusão, a qual controla a tensão fornecida à conexão e o tempo necessário para atingir a temperatura de fusão e arrefecimento dos elementos.

2.3. METODOLOGIA APLICADA NO TRABALHO

Como foi referido previamente, a metodologia de base usada para a execução deste trabalho data de 1994. Tendo em conta a constante e significativa evolução do setor da construção desde essa data até aos dias de hoje, considera-se que a metodologia descrita na publicação poderia favorecer de alguns ajustes e do melhoramento de alguns parâmetros, de forma a ir de encontro às recentes condições de mercado e técnicas de realização das obras. Assim, foram introduzidas as alterações que se acharam mais vantajosas, conforme se pode constatar na Figura 7, e que se encontram alicerçadas mais adiante, no ponto 2.3.

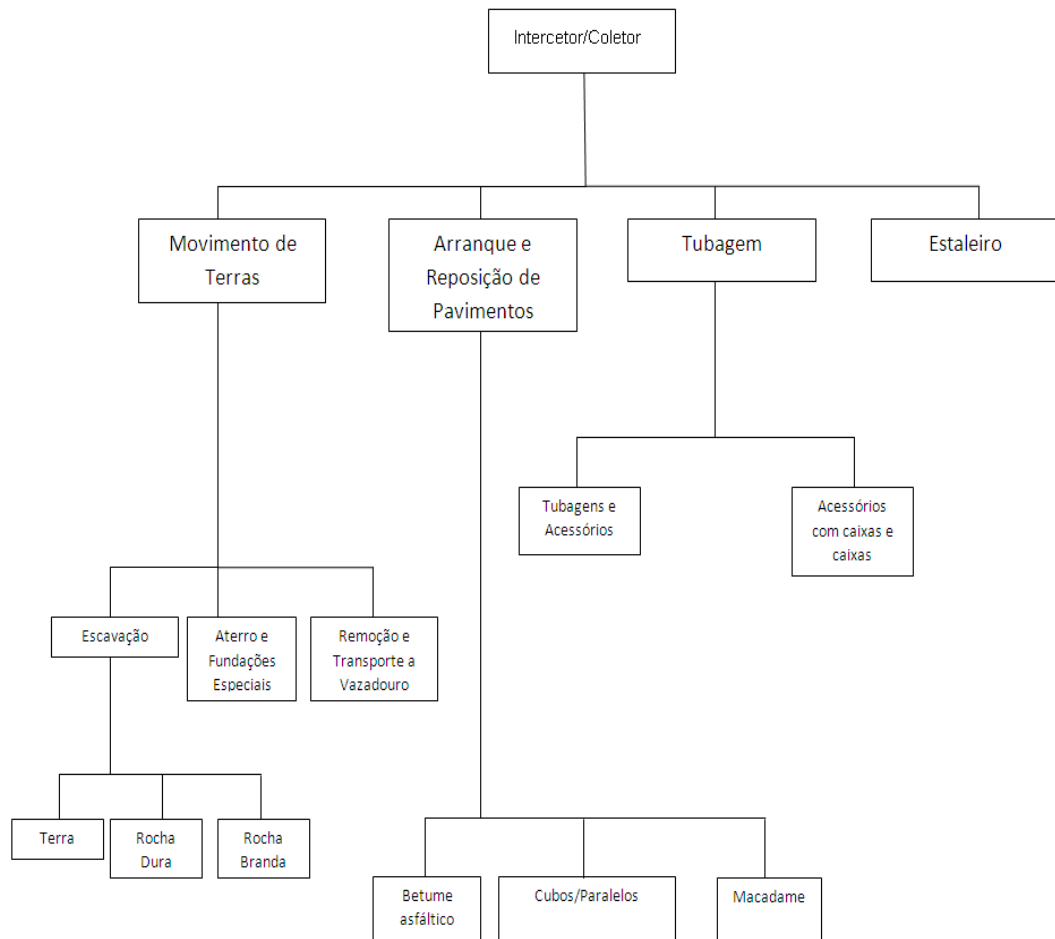


Figura 7 - WBS da metodologia desenvolvida

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

2.3.1. ELABORAÇÃO DO MAPA DE MEDIÇÕES

O mapa de medições criado permite agrupar todas as informações relevantes ao trabalho referentes a tubagens com diâmetros nominais que vão desde os 60mm até os 2000mm. Trata-se da implementação informática, em *Excel*, do mapa de medições proposto na metodologia de Lencastre et al (1994), com algumas adaptações e correção de algumas gralhas. Este mapa tem como objetivo a quantificação dos trabalhos referentes ao movimento de terras e pavimentação por metro linear de conduta para os vários diâmetros de conduta.

13	Mapa de cálculo de quantidades das soluções determinísticas																	
14	DN	DE	Larg. vala	Profund. média do gerat. sup.	Profund. da vala	Escavação (em m ³ por m de vala)				Transp. a	Aterros para 1m			Pavimentações para 1m				
15						Total	Terra 90%	R. brando 5%	R. dura 5%	vazod.	Almoeda	C/pedregul.	C/pedregul.	Total	Bet. acfalt.	Dubos/Parf.	Macadame	S/ pavim.
16						OK								OK	80%	10%	10%	0%
17	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
18	(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
19	60	0,077	0,650	1,500	1,127	1,123	1,010	0,056	0,056	0,114	0,103	0,706	0,303	1,050	0,840	0,105	0,105	0,000
20	80	0,098	0,650	1,500	1,748	1,136	1,023	0,057	0,057	0,119	0,112	0,712	0,305	1,050	0,840	0,105	0,105	0,000
21	100	0,118	0,650	1,500	1,768	1,143	1,034	0,057	0,057	0,125	0,115	0,717	0,307	1,050	0,840	0,105	0,105	0,000
22	125	0,144	0,650	1,500	1,794	1,166	1,043	0,058	0,058	0,134	0,118	0,722	0,310	1,050	0,840	0,105	0,105	0,000
23	150	0,170	0,670	1,500	1,820	1,219	1,097	0,061	0,061	0,147	0,125	0,751	0,322	1,070	0,856	0,107	0,107	0,000
24	200	0,222	0,722	1,500	1,872	1,352	1,216	0,068	0,068	0,180	0,141	0,820	0,352	1,122	0,838	0,112	0,112	0,000
25	250	0,274	0,774	1,500	1,924	1,483	1,340	0,074	0,074	0,217	0,158	0,891	0,382	1,174	0,939	0,117	0,117	0,000
26	300	0,326	0,826	1,500	1,976	1,632	1,463	0,082	0,082	0,258	0,175	0,962	0,412	1,226	0,961	0,123	0,123	0,000
27	350	0,378	0,878	1,500	2,028	1,781	1,603	0,089	0,089	0,305	0,193	1,033	0,443	1,278	1,022	0,128	0,128	0,000
28	400	0,429	0,929	1,500	2,079	1,931	1,738	0,097	0,097	0,355	0,211	1,103	0,473	1,329	1,063	0,133	0,133	0,000
29	450	0,480	0,980	1,500	2,130	2,087	1,879	0,104	0,104	0,410	0,223	1,174	0,503	1,380	1,104	0,138	0,138	0,000
30	500	0,532	1,032	1,500	2,182	2,252	2,027	0,113	0,113	0,471	0,243	1,247	0,534	1,432	1,146	0,143	0,143	0,000
31	600	0,635	1,335	1,500	2,335	3,117	2,806	0,156	0,156	0,734	0,417	1,668	0,715	1,735	1,388	0,174	0,174	0,000
32	700	0,738	1,438	1,500	2,438	3,506	3,155	0,175	0,175	0,837	0,463	1,826	0,783	1,838	1,470	0,184	0,184	0,000
33	800	0,842	1,542	1,500	2,542	3,920	3,528	0,196	0,196	1,081	0,524	1,987	0,852	1,942	1,554	0,194	0,194	0,000
34	900	0,945	1,645	1,500	2,645	4,351	3,916	0,218	0,218	1,282	0,581	2,148	0,921	2,045	1,636	0,205	0,205	0,000
35	1000	1,048	1,748	1,500	2,748	4,804	4,323	0,240	0,240	1,502	0,639	2,311	0,991	2,148	1,718	0,215	0,215	0,000
36	1100	1,152	1,852	1,500	2,852	5,282	4,754	0,264	0,264	1,742	0,700	2,478	1,062	2,252	1,802	0,225	0,225	0,000
37	1200	1,255	1,955	1,500	2,955	5,777	5,193	0,289	0,289	2,000	0,763	2,644	1,133	2,355	1,884	0,236	0,236	0,000
38	1400	1,462	2,162	1,500	3,162	6,836	6,153	0,342	0,342	2,573	0,894	2,984	1,279	2,562	2,050	0,256	0,256	0,000
39	1500	1,565	2,265	1,500	3,265	7,395	6,656	0,370	0,370	2,887	0,963	3,156	1,353	2,665	2,132	0,267	0,267	0,000
40	1600	1,668	2,368	1,500	3,368	7,975	7,178	0,399	0,399	3,219	1,034	3,329	1,427	2,768	2,214	0,277	0,277	0,000
41	1800	1,875	2,575	1,500	3,575	9,206	8,285	0,460	0,460	3,943	1,182	3,684	1,579	2,975	2,380	0,298	0,298	0,000
42	2000	2,082	2,782	1,500	3,782	10,522	9,463	0,526	0,526	4,743	1,339	4,045	1,733	3,182	2,546	0,318	0,318	0,000

Figura 8 - Mapa de Medições elaborado

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Os **diâmetros nominais** das tubagens estão enumerados na primeira coluna do mapa (coluna A).

Os valores dos **diâmetros externos** (coluna B) da tubagem foram fornecidos pelo orientador, correspondendo a uma tabela do fabricante de tubos de PEAD.

Assim, para o cálculo dos parâmetros relativos com movimento de terras e pavimentação, que se encontram no mapa de medições (largura de vala, profundidade de vala, área a pavimentar, etc...), o orientador facilitou o esquema da vala tipo utilizado na metodologia estudada que é apresentado na Figura 9, devidamente legendado.

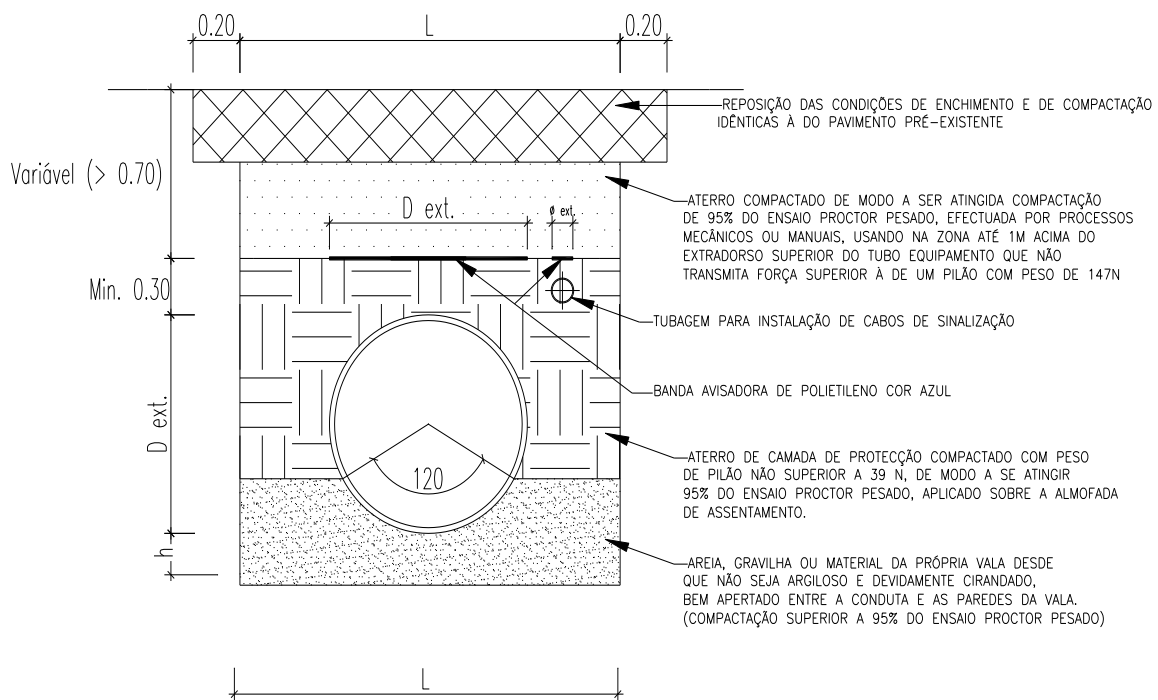


Figura 9 - Vala tipo para instalação de tubagem

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Largura da vala

A largura da vala (coluna C) foi determinada do mesmo modo que na metodologia estudada e já referido anteriormente.

Para a realização da folha de cálculo, foi utilizada a função *Máximo* comparando o valor mínimo com o obtido pela expressão. Por exemplo a célula **C24 = MÁXIMO (H\$6;B24+0,5)**. Poderá visualizar-se de melhor forma, na folha de cálculo de *Excel*, enviada em anexo.

Mapa de cálculo de quantidades das soluções determinísticas										
DN	DE	Larg. vala	Profund. média da gerat. sup.	Profund. da vala	Escavação (em m ³ por m de vala)				Transp. a	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Total	Terra	R. branda	R. dura	vazad.	
(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	
60	0,077	0,650	1,500	1,727	1,123	1,010	0,056	0,056	0,114	
80	0,098	0,650	1,500	1,748	1,136	1,023	0,057	0,057	0,119	
100	0,118	0,650	1,500	1,768	1,149	1,034	0,057	0,057	0,125	
125	0,144	0,650	1,500	1,794	1,166	1,049	0,058	0,058	0,134	
150	0,170	0,670	1,500	1,820	1,219	1,097	0,061	0,061	0,147	
200	0,222	0,722	1,500	1,872	1,352	1,216	0,068	0,068	0,180	
250	0,274	0,774	1,500	1,924	1,489	1,340	0,074	0,074	0,217	
300	0,326	0,826	1,500	1,976	1,632	1,469	0,082	0,082	0,258	
350	0,378	0,878	1,500	2,028	1,781	1,603	0,089	0,089	0,305	
400	0,429	0,929	1,500	2,079	1,931	1,738	0,097	0,097	0,355	
450	0,480	0,980	1,500	2,130	2,087	1,879	0,104	0,104	0,410	
500	0,532	1,032	1,500	2,182	2,252	2,027	0,113	0,113	0,471	
600	0,635	1,335	1,500	2,335	3,117	2,806	0,156	0,156	0,734	

Figura 10 - Cálculo da Largura de vala para DN 200

Através da comparação dos valores obtidos para a largura da vala com os dados pela metodologia de Lencastre et al (1994), constatou-se que embora refira na sua metodologia que para diâmetros superiores a 500mm o valor para a largura da vala será

obtido somando 0,70m ao diâmetro externo da tubagem nas suas tabelas tal facto não se comprova, continuando este a somar 0,50m para tubagens com diâmetros superiores a 500mm.

Profundidade média da geratriz superior (Pg)

É, de todo, recomendável que a tubagem se encontre a uma profundidade tal que a geratriz superior fique localizada a pelo menos 1m de profundidade e a menos de 2m para não fomentar a formação de tensões elevadas na parede da tubagem devido ao peso das terras.

Este valor será introduzido pelo utilizador na folha elaborada no separador *Dados de cálculo e estimativa custos*, que automaticamente é remetido para a folha de cálculo *Medições* na coluna D.

Profundidade da vala

A profundidade da vala é obtida da seguinte forma:

$$P = 0,15 + D_{ext.} + Pg \quad \rightarrow \text{Para } D_{ext} \leq 500mm$$
$$P = 0,20 + D_{ext.} + Pg \quad \rightarrow \text{Para } D_{ext} > 500mm$$

P – Profundidade da vala (m)

D_{ext} – Diâmetro externo da conduta (m)

Pg – profundidade da geratriz superior (m)

Para a elaboração da folha de cálculo foi utilizada a função *SE*, que permite inserir uma condição relativa ao diâmetro externo na aplicação de uma expressão de cálculo. Por exemplo a célula **E24** tem a fórmula = **SE (A24>500;0,2+B24+D24;0,15+B24+D24)**.

Escavação

A metodologia que tem sido abordada considera que os trabalhos de implantação da conduta podem ocorrer em solos constituídos por terra e/ou rocha.

Esta apreciação é muito importante para a determinação dos custos de escavação, visto que cada tipo de solo que se encontre exige métodos e tipos de máquinas distintas para realização dos trabalhos de escavação, sendo por isso fulcral a separação dos volumes relativos a cada solo.

Nos anos mais recentes os cadernos de encargos enveredaram por uma separação exaustiva, verificada nos orçamentos fornecidos pelo orientador. Essa separação consiste na divisão dos trabalhos em três tipos: escavação em terra, em rocha branda e em rocha dura. Assim, na metodologia desenvolvida nas folhas de cálculo, foi considerado que os trabalhos poderiam decorrer em solos constituídos por terra, rocha branda ou rocha dura.

É da responsabilidade do utilizador, com base no conhecimento geral do terreno, definir no separador *Dados de cálculo e estimativa de custos* o tipo de terreno que constitui o local de escavação. Deve-se, então, definir a percentagem, a mais aproximada possível, de cada tipo de solo que poderá eventualmente ser encontrado.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Escavação total

O valor de escavação total a efetuar é dado por:

$$E_T = L * P * 1 \text{ m}$$

E_T – Escavação total (m³)

L – Largura da vala (m)

P – Profundidade da vala (m)

Na tabela a coluna relativa a este ponto (**coluna F**) foi calculada pela simples multiplicação das colunas referentes à largura da vala (**coluna C**) e profundidade da vala (**coluna E**). Por exemplo a célula **E24*C24**.

Mapa de cálculo de quantidades das soluções determinísticas										
DN	DE	Larg. vala	Profund. média da gerat. sup.	Profund. da vala	Escavação (em m ³ por m de vala)				Transp. a vazad.	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Total OK	Terra 90%	R. branda 5%	R. dura 5%	(10)	
(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	
60	0,077	0,650	1,500	1,727	1,123	1,010	0,056	0,056	0,114	
80	0,098	0,650	1,500	1,748	1,136	1,023	0,057	0,057	0,119	
100	0,118	0,650	1,500	1,768	1,149	1,034	0,057	0,057	0,125	
125	0,144	0,650	1,500	1,794	1,166	1,049	0,058	0,058	0,134	
150	0,170	0,670	1,500	1,820	1,213	1,097	0,061	0,061	0,147	
200	0,222	0,722	1,500	1,872	1,352	1,216	0,068	0,068	0,180	
250	0,274	0,774	1,500	1,924	1,485	1,340	0,074	0,074	0,217	
300	0,326	0,826	1,500	1,976	1,632	1,469	0,082	0,082	0,258	
350	0,378	0,878	1,500	2,028	1,781	1,603	0,089	0,089	0,305	
400	0,429	0,929	1,500	2,079	1,931	1,738	0,097	0,097	0,355	
450	0,480	0,980	1,500	2,130	2,087	1,879	0,104	0,104	0,410	
500	0,532	1,032	1,500	2,182	2,252	2,027	0,113	0,113	0,471	
600	0,635	1,335	1,500	2,335	3,117	2,806	0,156	0,156	0,734	

Figura 11 - Cálculo da Escavação Total para DN 200

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Escavação em terra

O valor do volume de escavação em terra (que se apresenta na coluna G) é definida como uma percentagem da escavação total.

O valor de escavação em terra a efetuar é dado por:

$$E_{Terra} = E_t * \%E_{Terra}$$

E_{terra} – Escavação em terra

E_T – Escavação total (m³)

$\%E_{Terra}$ - Percentagem definida pelo utilizador para a quantidade de escavação em terra

Na aplicação da folha de cálculo executou-se uma simples operação de multiplicação entre a coluna referente à escavação total (coluna G) e a célula correspondente à percentagem atribuída (célula G16) logo: = **F24*\$G\$16**.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

G24 fx =F24*\$G\$16

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
13	Mapa de cálculo de quantidades das soluções determinísticas									
14	DN	DE	Larg.	Profund.	Profund.	Escavação (em m ³ por m de vala)				Transp.
15			vala	média da	da vala	Total	Terra	R. branda	R. dura	a
16				gerat. sup.		OK	90%	5%	5%	vazad.
17	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
18	(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
19	60	0,077	0,650	1,500	1,727	1,323	1,010	0,056	0,056	0,114
20	80	0,098	0,650	1,500	1,748	1,136	1,023	0,057	0,057	0,119
21	100	0,118	0,650	1,500	1,768	1,149	1,034	0,057	0,057	0,125
22	125	0,144	0,650	1,500	1,794	1,166	1,049	0,058	0,058	0,134
23	150	0,170	0,670	1,500	1,820	1,219	1,037	0,061	0,061	0,147
24	200	0,222	0,722	1,500	1,872	1,352	1,216	0,068	0,068	0,180
25	250	0,274	0,774	1,500	1,924	1,489	1,340	0,074	0,074	0,217
26	300	0,326	0,826	1,500	1,976	1,632	1,469	0,082	0,082	0,258
27	350	0,378	0,878	1,500	2,028	1,781	1,603	0,089	0,089	0,305
28	400	0,429	0,929	1,500	2,079	1,931	1,738	0,097	0,097	0,355
29	450	0,480	0,980	1,500	2,130	2,087	1,879	0,104	0,104	0,410
30	500	0,532	1,032	1,500	2,182	2,252	2,027	0,113	0,113	0,471
31	600	0,635	1,335	1,500	2,335	3,117	2,806	0,156	0,156	0,734

Figura 12 - Exemplo do Cálculo do volume de Escavação em Terra para DN 200

Escavação em rocha branda

O valor do volume de escavação em rocha branda (que se apresenta na coluna H) é determinada como uma percentagem da escavação total. O valor de escavação em rocha branda a efetuar por metro linear é dado por:

$$E_{rb} = E_T * \%E_{rb}$$

E_{rb} – Escavação em rocha branda

E_T – Escavação total (m³)

$\%E_{rb}$ - Percentagem definida pelo utilizador para a quantidade de escavação em rocha

Na aplicação da folha de cálculo realizou-se, mais uma vez, uma simples multiplicação entre a coluna referente à escavação total (coluna F) e a célula correspondente à percentagem atribuída (célula H16) logo: **=F24*\$H\$16**.

Escavação em rocha dura

O valor do volume de escavação em rocha dura (que se encontra na coluna I) é definido como uma percentagem da escavação total. O valor de escavação em rocha dura a efetuar é dado por:

$$E_{rd} = E_t * \%E_{rd}$$

E_{rd} – Escavação em terra

E_T – Escavação total (m³)

$\%E_{rd}$ - Percentagem definida pelo utilizador para a quantidade de escavação em rocha dura

Na aplicação da folha de cálculo executou-se uma simples multiplicação entre a coluna referente à escavação total (coluna F) e a célula correspondente à percentagem atribuída (célula I16) logo: **=F24*\$I\$16**.

Transporte a vazadouro

O volume de solo proveniente da escavação e que não é utilizado depois em aterro terá de ser transportado a vazadouro. Neste volume podemos diferenciar três tipos de escavação: a escavação em solos dos tipos rocha branda e rocha dura, da escavação em terra.

Contudo, o volume total de rocha pode não corresponder exatamente ao volume de solo a transportar a vazadouro, visto que a colocação da almofada de areia (parte que irá ser clarificada mais à frente) e da conduta na vala implica que esses espaços não sejam ocupados por solos de aterro.

Para nos auxiliar a encontrar o volume a transportar a vazadouro foram definidas duas colunas no final da tabela do mapa de medições intituladas “Volume da conduta + almofada de areia” (coluna Y) e “Volume de rocha (Dura + Branda)” (coluna Z). A utilização destas duas colunas permite-nos apenas a soma de valores.

A coluna Y determina o volume da conduta e soma-lhe o volume da almofada de areia apresentado na **coluna K**. Assim a **coluna Y** é $= PI() * B19^2 / 4 + K19$.

A coluna Z soma o volume de escavação em rocha branda (coluna H) com o volume de escavação em rocha dura (**coluna I**), logo a **coluna Z** é $= H19 + I19$.

Com estes dois elementos e relacionando-os verifica-se que se o volume de almofada de areia mais conduta for superior ao volume total de rocha, o volume a transportar a vazadouro será igual ao volume total de rocha mais o volume de terra correspondente à diferença entre os volumes em análise. Mas se por outro lado o volume de rocha for superior esse será o volume a transportar a vazadouro. Assim conclui-se que o volume

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

de solo a transportar a vazadouro corresponderá ao valor máximo volume obtido comparando estes dois elementos. O transporte a vazadouro (**coluna J**) é assim determinado aplicando a função “Máximo” (Y+Z), sendo por isso **J= MÁXIMO(Y19;Z19)**.

Mapa de cálculo de quantidades das soluções determinísticas									
DN	DE	Larg. vala	Profund. média da gerat. sup.	Profund. da vala	Escavação (em m ³ por m de vala)				Transp. a vazad.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	Total OK	Terra 90%	R. branda 5%	R. dura 5%	(10)
(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
60	0,077	0,650	1,500	1,727	1,123	1,010	0,066	0,056	0,114
80	0,098	0,650	1,500	1,748	1,136	1,023	0,057	0,057	0,119
100	0,118	0,650	1,500	1,768	1,149	1,034	0,057	0,057	0,125
125	0,144	0,650	1,500	1,794	1,166	1,049	0,058	0,058	0,134
150	0,170	0,670	1,500	1,820	1,219	1,097	0,061	0,061	0,147
200	0,222	0,722	1,500	1,872	1,352	1,216	0,068	0,068	0,180
250	0,274	0,774	1,500	1,924	1,489	1,340	0,074	0,074	0,217
300	0,326	0,826	1,500	1,976	1,632	1,469	0,082	0,082	0,258
350	0,378	0,878	1,500	2,028	1,781	1,603	0,089	0,089	0,305
400	0,429	0,929	1,500	2,079	1,931	1,738	0,097	0,097	0,355

Elementos de Medição Auxiliar						
El. p/ vol. De almofada de areia			Elem. p/ transp. vazadouro			
D1	D2	D3	Vol. do prisma A-C-B	Vol. do tubo na almof. areia	Volume conduta + alm. areia	Volume rocha (dura+branda)
(Dostf2*con64)	(Dostf2-D1)	Dostf2*con64	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)
0,019	0,019	0,033	0,002	0,001	0,114	0,112
0,025	0,025	0,042	0,003	0,001	0,119	0,114
0,030	0,030	0,051	0,004	0,002	0,125	0,115
0,036	0,036	0,062	0,005	0,003	0,134	0,117
0,043	0,043	0,074	0,008	0,004	0,147	0,122
0,056	0,056	0,096	0,013	0,008	0,180	0,135
0,069	0,069	0,119	0,020	0,012	0,217	0,149
0,082	0,082	0,141	0,028	0,016	0,258	0,163
0,095	0,095	0,164	0,037	0,022	0,305	0,178
0,107	0,107	0,186	0,048	0,028	0,355	0,193
0,120	0,120	0,208	0,060	0,035	0,410	0,209
0,133	0,133	0,230	0,074	0,043	0,471	0,225

Figura 13 - Cálculo do Transporte a Vazadouro

Todo este procedimento é possível visualizar e analisar com mais pormenor na folha de cálculo, em *Excel*, disponibilizada.

Aterro

No que respeito a este parâmetro, podemos dizer que para aterrar a vala podem ser utilizados dois tipos de solos. Esses solos são: solos de empréstimo ou solos provenientes da própria vala.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

O volume de solo proveniente de empréstimo é definido pelo utilizador no separador *Dados Base e Estimativa Custos* e que por conseguinte define a percentagem de solo proveniente da escavação que é empregado na realização do aterro.

Como já foi referido antes, os solos provenientes da escavação podem ser do tipo rocha dura, rocha branda e terra. Destes três tipos de solos apenas a terra pode ser utilizada em aterro, a restante deverá ser transportada a vazadouro.

Almofada de areia

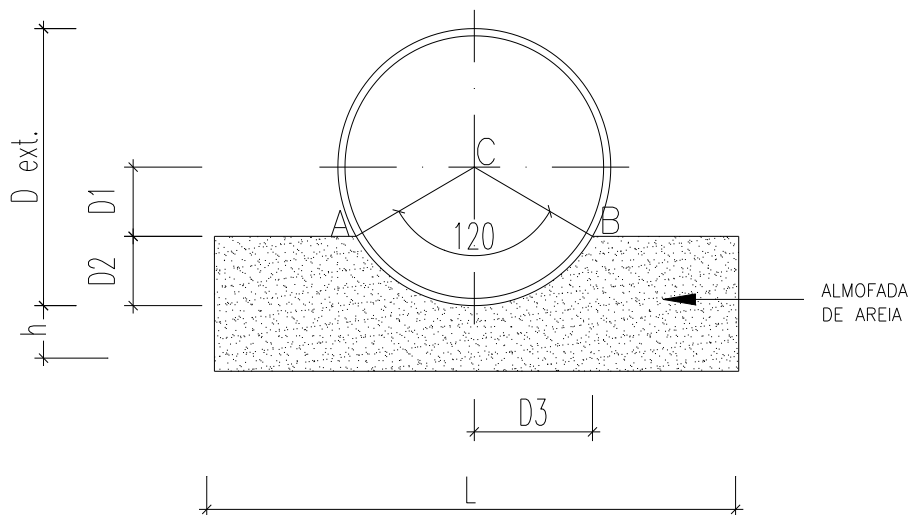


Figura 14 - Almofada de areia

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Elementos de Medição Auxiliar						
El. p/ vol. De almofada de areia			Elem. p/ transp.vazadouro			
D 1	D 2	D 3	Vol. do	Vol. do	Volume	Volume
(Dextf2*car60)	(Dextf2 - D1)	Dextf2*zen60	prisma	tubo na	conduta +	rocha
			A-C-B	almof. areia	alm. areia	(dura+branda)
(m)	(m)	(m)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
0,019	0,019	0,033	0,002	0,001	0,114	0,112
0,025	0,025	0,042	0,003	0,001	0,119	0,114
0,030	0,030	0,051	0,004	0,002	0,125	0,115
0,036	0,036	0,062	0,005	0,003	0,134	0,117
0,043	0,043	0,074	0,008	0,004	0,147	0,122
0,056	0,056	0,096	0,013	0,008	0,180	0,135
0,069	0,069	0,119	0,020	0,012	0,217	0,149
0,082	0,082	0,141	0,028	0,016	0,258	0,163
0,095	0,095	0,164	0,037	0,022	0,305	0,178
0,107	0,107	0,186	0,048	0,028	0,355	0,193
0,120	0,120	0,208	0,060	0,035	0,410	0,209
0,133	0,133	0,230	0,074	0,043	0,471	0,225
0,159	0,159	0,275	0,106	0,062	0,734	0,312
0,185	0,185	0,320	0,143	0,084	0,897	0,351
0,211	0,211	0,365	0,186	0,109	1,081	0,392
0,236	0,236	0,409	0,234	0,137	1,282	0,435
0,262	0,262	0,454	0,288	0,169	1,502	0,480
0,288	0,288	0,499	0,347	0,204	1,742	0,528
0,314	0,314	0,543	0,412	0,242	2,000	0,578
0,366	0,366	0,633	0,560	0,328	2,573	0,684
0,391	0,391	0,678	0,641	0,376	2,887	0,740
0,417	0,417	0,722	0,728	0,427	3,219	0,798
0,469	0,469	0,812	0,920	0,540	3,943	0,921
0,521	0,521	0,902	1,135	0,666	4,743	1,052

Figura 15 - Elementos de medição auxiliares para cálculo de almofada de areia

Para ser possível determinar o volume da almofada de areia foi essencial proceder à realização de alguns cálculos auxiliares.

Numa primeira fase calcula-se o volume do prisma corresponde ao arco em contacto com a almofada; como, segundo metodologia adotada, considera-se que o ângulo do arco do tubo em contacto com a almofada é de 120° o volume do prisma é dado por:

$$Vp = \frac{1}{3} * \left(\frac{\pi * D_{ext}^2}{4} \right) * 1$$

Vp – volume do prisma

Dext – Diâmetro exterior

Para o cálculo deste volume (**coluna W**) na folha de cálculo foi usada a operação multiplicação entre os diversos fatores, de modo a ir procurar automaticamente o valor do diâmetro exterior (coluna B) ficando da seguinte forma: = (1/3)*PI()*B19^2/4.

O próximo passo é subdividir a área da base do prisma num triângulo e num semicírculo.

O cálculo da área do triângulo inicia-se com a determinação da altura (D1) através do cosseno ficando:

$$D1 = \frac{D_{ext}}{2} * \cos(60)$$

D1 – altura do triângulo.

Na realização deste cálculo, já definido previamente, na folha de cálculo utilizam-se as funções de multiplicação, divisão e de cosseno, contudo nesta última o ângulo tem de ser convertido para radianos logo a função fica: = B19/2*COS(60*PI()/180).

A altura restante entre metade do diâmetro exterior (coluna B) e a altura do triângulo (coluna T) foi designada por D2 (**coluna U**) em que na folha de cálculo foi aplicada uma básica subtração ficando: D2= B19/2-T11.

Ainda assim, para se conseguir a área do triângulo falta agora determinar a base deste (D3). Esta distância é encontrada utilizando-se a função seno.

$$D3 = \frac{D_{ext}}{2} * \text{SEN}(60)$$

D3 – base do triângulo.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Este cálculo é feito com recurso às funções de multiplicação, divisão e de seno, sendo que esta última o ângulo tem de ser convertido para radianos logo a função fica: $D3 = B19/2 * SEN(60 * PI()/180)$.

Após encontrados os valores desejados, calcula-se então o volume do tubo na almofada de areia. Este valor é obtido pela diferença entre a área do prisma correspondente ao arco de 120° e a área do triângulo logo:

$$V_{talm.} = V_p - A_t$$

V_{talm} – volume do tubo na almofada de areia

V_p – volume do prisma

A_t – área do triângulo

Na folha de cálculo procedemos à subtração e divisão para se calcular o volume do tubo na almofada de areia (**coluna X**) sendo: $= W11 - ((T11 * 2 * V11) / 2)$.

Já com o volume do tubo na almofada de areia calcula-se por fim o volume da almofada. Segundo a metodologia estudada este volume sofre uma variação de acordo com a dimensão da tubagem usada devido à altura de areia sob o tubo. Comprova-se a seguinte condição:

Se $D_{ext} \leq 500 - h = 0,15m$

Se $D_{ext} > 500 - h = 0,20m$

Então cálculo do volume da almofada da areia fica:

$$\text{Alm. areia} = (h + D2) * L - V_{\text{talm}}$$

h – altura de areia sob o tubo

D2 – altura do tubo na almofada de areia

V_{talm} – volume do tubo na almofada de areia.

Na continuação da realização da folha de cálculo utiliza-se a função *SE()* devido à condição existente na altura da almofada da areia sob o tubo, aplica-se também as funções de multiplicação, adição e subtração ficando do seguinte modo: = **SE(A24>500;(0,2+U16)*C24-X16;(0,15+U16)*C24-X16)**.

Aterro com produtos de escavação

A terra derivada da escavação será utilizada para a execução dos aterros de acordo com a percentagem de utilização referida pelo utilizador.

O valor de volume de terras proveniente de escavação (coluna L) e utilizado em aterro é através da diferença entre o volume total de escavação e o volume a transportar a vazadouro e onde vai intervir a percentagem de utilização definida no separador *Dados Base e Estimativa de Custos*.

A **coluna L** será então definida como sendo = **(F19-J19)*'Dados Base e Estimativa Custos'!\$E\$9**.

Aterro com produtos de empréstimo

O volume de aterro realizado com produtos de empréstimo (coluna M) é determinado do mesmo modo do volume de aterro com produtos de escavação.

Como tal a **coluna M** será = (F19-J19)*'Dados Base e Estimativa Custos'!\$E\$10.

Pavimentação (por metro linear)

Com a metodologia estudada, de Lencastre et al (1994), é considerado que a reposição do pavimento pode ser realizada em cinco materiais.

Contudo, na metodologia desenvolvida nas folhas de cálculo considerou-se que a reposição do pavimento poderia ser realizada recorrendo-se á utilização de três tipos de materiais: betuminoso, cubos (paralelos), macadame ou que poderia mesmo verificar-se a situação de ficar em terra.

O utilizador deverá definir no separador *Dados Base e Estimativa de Custos*, da folha de cálculo já realizada a percentagem de utilização dos diferentes materiais na elaboração dos trabalhos de reposição do pavimento. Os valores definidos serão dirigidos para a folha de cálculo *Medições* nas células O16, P16, Q16 e R16.

Área total a pavimentar

Agora é definida a área necessária para a pavimentação.

A área total a pavimentar é determinada por metro linear como tal é apenas inevitável definir a largura faixa a pavimentar.

Visto que na metodologia de Lencastre et al (1994), como já foi referido antes, é considerado que a largura total da área a pavimentar excede 0,40m a área da largura da vala necessária à colocação da tubagem.

Nas folhas de cálculo este valor é apresentado na **coluna N** sendo = $C24+0,4$.

Área em betume asfáltico

A área de pavimentação a realizar em betume asfáltico e apresentada na **coluna O** é conseguida através da área total a pavimentar afetada pela percentagem definida pelo utilizador.

A **coluna O** será então definida com a fórmula = $N24*\$O\16 .

Área em cubos (paralelos)

A área de pavimentação a realizar em cubos (paralelos) e apresentada na **coluna P** é obtida através da área total a pavimentar afetada pela percentagem definida pelo utilizador.

Assim sendo a fórmula na **coluna P** será = $N24*\$P\16 .

Área em macadame

A área de pavimentação a realizar em macadame e apresentada na **coluna Q** é determinada através da área total a pavimentar afetada pela percentagem definida pelo utilizador.

Deste modo a fórmula da **coluna Q** será = $N24 * Q16$.

Área sem pavimento

A área onde não será colocado pavimento e apresentada na **coluna R** é obtida através da área total a pavimentar afetada pela percentagem definida pelo utilizador, de maneira que, a **coluna R** é dada por = $N24 * R16$.

Após a conclusão da determinação das quantidades dos diversos parâmetros do mapa de medições, a fase seguinte será obter os custos de cada um dos itens propostos pela metodologia para depois se efetuar a multiplicação dos custos dos itens pelas quantidades do mapa e assim chegar a um valor de custo por metro linear de conduta.

2.4. ESTIMATIVAS DE CUSTO

Para a obtenção de um custo unitário médio, para os diferentes itens da metodologia (Escavação em terra, Escavação em rocha branda, Escavação em rocha dura etc...), foram analisados orçamentos de 30 concorrentes de três obras públicas de instalação de tubagem de saneamento, cujas propostas respeitavam ao ano de 2007, fornecidos pelo orientador do trabalho. As entidades adjudicantes dessas obras foram as empresas SIMRIA e SIMLIS, tendo o orientador promovido os contactos necessários com os colaboradores respectivos, para o esclarecimento dos dados.

É importante dizer que foram considerados catorze itens para a estrutura de custos desenvolvida, mas os itens referenciados com os números oito e nove respetivamente, foram divididos em subitens. Esta divisão deve-se ao facto de que os projetos em análise tinham tubagens entre 200mm e 400mm, o que se traduz em custos diversos para tubagens e acessórios de diferentes calibres.

Foram disponibilizados pelo orientador os custos unitários de todas estas obras referentes a 2007, de polietileno de alta densidade (PEAD), com o diâmetro a variar entre 200 mm e 400 mm que permitiram alargar a nossa base de dados nos custos parcelares. Poder-se-á dizer que o custo de vala para instalar uma conduta de 600mm é idêntico ao custo da instalação de uma conduta de 900mm, contudo abaixo desses diâmetros já vai ocorrer uma grande variação, devido ao tipo de técnicas e maquinaria usada para a abertura da vala. Uma vez que os preços unitários destas obras dizem respeito ao ano de 2007, houve necessidade de fazer uma atualização para preços atuais.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

2.4.1. CÁLCULO DOS CUSTOS UNITÁRIOS

Após a respetiva tipificação de todos os artigos das propostas elaborou-se um mapa comparativo dos orçamentos de todos os concorrentes em que resultaram os custos unitários ou percentagem, de acordo com o tipo de item, de cada concorrente para os diferentes tipos de custos parcelares.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7												
8					concorrente 1				concorrente 2			
9					Custo	Custo unitário		% sobre valor obra	Custo	Custo unitário		% sobre valor obra
10					(l)	Valor	Unidade		(l)	Valor	Unidade	
11	1	Escavação em rocha branda			0,00	0,00	l/m ²	0,00%	0,00	0,00	l/m ³	0,00%
12	2	Escavação em terra/rocha branda			143.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%
13	3	Escavação em rocha dura			153.144,28	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%
14	4	Transporte a vazadouro			11.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%
15	5	Aterro com areia (almofada)			30.648,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%
16	6	Aterro c/ material da próp. vala			50.482,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%
17	7	Aterro com produtos de empréstimo			54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%
18	8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200			0,00			0,00%	0,00			
19	8.a.1.	Fornecimento e assentamento			213.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%
20	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250			0,00			0,00%	0,00			
21	8.b.1.	Fornecimento e assentamento			201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%
22	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300			0,00			0,00%	0,00			
23	8.c.1.	Fornecimento e assentamento			100.082,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%
24	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400			0,00			0,00%	0,00			
25	8.d.1.	Fornecimento e assentamento			22.585,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%
26	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200										
27	8.e.1.	Fornecimento e assentamento										
28	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200			122.279,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%
29	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250			33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%
30	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300			11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%
31	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400			3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%
32	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200										
33	10	Caixa de Pavimento			33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%
34	11	Pavimentação c/ betuminoso			21.490,89	3,59	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%
35	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos			0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²	
36	13	Pavimentação c/ macadame			38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m ²	3,36%
37	14	Estaleiro e trabalhos acessórios			52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%
38				total	1.297.560,30				1.583.823,61			

Figura 16 - Mapa comparativo entre concorrentes para os custos unitários referentes a cada item

Uma vez que nas propostas analisadas temos vários tipos de tubagem, isto é, são apresentados quatro tipos de diâmetros, iremos de seguida, a título de exemplo, explicar como se procede à quantificação dos respetivos custos.

Como exemplo explica-se para o concorrente 1 as fórmulas elaboradas para a obtenção destes custos.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Coluna de Custo (Coluna E)

A célula **E11** até à célula **E34** referente ao *Custo* foi obtida somando todos os artigos das propostas referentes ao fator de custo associado como “1” para o caso da *Escavação em Rocha Branda*, “2” para *Escavação em Terra/Rocha Branda* e assim sucessivamente, para os restantes fatores.

Deste modo a célula **E12** é calculada do seguinte modo:

$$=SOMA.SE(orcamentos!\$A\$7:\$A\$1112;'custos unitarios'!A12;orcamentos!\$H\$7:\$H\$1112)$$

em que a função procura na folha *orcamentos* nas células **\\$H\\$7:\\$G\\$1112** os custos parciais referentes a todos os custos parcelares relacionados com *Escavação em Terra/Rocha Branda* de toda a proposta.

		concorrente 1			concorrente 2		
		Custo	Custo unitário	% sobre valor obra	Custo	Custo unitário	% sobre valor obra
		(I)	Valor	Unidade	(II)	Valor	Unidade
1	Escavação em rocha branda	0,00	0,00	l/m³	0,00	0,00	0,00%
2	Escavação em terra/rocha branda	143.132,49	2,50	l/m³	189.240,08	5,35	14,58%
3	Escavação em rocha dura	156.144,62	6,41	l/m³	286.522,87	20,58	22,08%
4	Transporte a vazadouro	11.448,84	0,96	l/m³	10.306,83	1,58	0,79%
5	Aterro com areia (almofada)	30.648,01	4,35	l/m³	33.059,64	8,09	2,55%
6	Aterro c/ material da próp. vala	50.482,80	0,95	l/m³	57.853,60	2,01	4,46%
7	Aterro com produtos de empréstimo	54.241,81	2,52	l/m³	59.476,22	4,38	4,58%
8 a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200	0,00			0,00		
8.a.1.	Fornecimento e assentamento	213.624,43	57,29	l/m	295.300,85	79,19	22,76%
8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250	0,00			0,00		
8.b.1.	Fornecimento e assentamento	201.422,99	100,51	l/m	72.136,90	36,00	5,56%
8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300	0,00			0,00		
8.c.1.	Fornecimento e assentamento	100.082,04	93,28	l/m	63.003,06	58,72	4,86%
8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400	0,00			0,00		
8.d.1.	Fornecimento e assentamento	22.585,72	43,30	l/m	13.449,11	25,78	1,04%
8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200						
8.e.1.	Fornecimento e assentamento						
9 a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200	122.279,37	57,24%	%	167.797,96	56,82%	%
9 b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250	33.233,63	16,50%	%	44.253,46	61,35%	%
9 c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300	11.690,79	11,69%	%	11.833,54	16,78%	%
9 d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400	3.621,58	16,03%	%	4.914,16	36,54%	%
9 e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200						
10	Caixa de Pavimento	33.198,93	55,58%	%	29.973,43	41,23%	%
11	Pavimentação c/ betuminoso	21.490,89	3,59	l/m²	29.060,54	4,86	2,24%
12	Pavimentação c/ cubos / paralelos	0,00	0,00	l/m²	0,00	0,00	
13	Pavimentação c/ macadame	38.238,03	8,84	l/m²	43.642,73	10,09	3,36%
14	Estaleiro e trabalhos acessórios	52.985,67	4,26%	%	171.998,63	12,18%	%
	total	1.297.560,30			1.583.823,61		

Figura 17 - Cálculo da célula E12 (custo total Escavação em Terra/Rocha Branda)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Coluna de Custo Unitário (Coluna F)

No que diz respeito à coluna *Custo unitário* as células **F11, F12, F13, F14, F15, F16, F17, F31, F32, F33**, são obtidas de forma idêntica, ou seja, é o quociente entre o custo total de cada item pela quantidade total desse item existente na proposta.

Deste modo a função utilizada para o cálculo da célula **F12** é a seguinte:

SE(\$E12=0;0;\$E12/SOMA.SE(orcamentos!\$A\$7:\$A\$2693;'custosunitarios'!\$A12;orcamentos!\$E\$7:\$E\$2693)).

		concorrente 1				concorrente 2				concorrente		
		Custo	Custo unitário	% sobre	Custo	Custo unitário	% sobre	Custo	Custo unitário			
		(l)	Valor	Unidade	valor obra	(l)	Valor	Unidade	valor obra	(l)	Valor	
11	1	Escavação em rocha branda	0,00	0,00	l/m³	0,00%	0,00	0,00	l/m³	0,00%	0,00	0,00
12	2	Escavação em terra/rocha branda	143.132,49	2,50	l/m³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m³	14,58%	299.933,03	8,48
13	3	Escavação em rocha dura	153.144,28	6,41	l/m³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m³	22,08%	118.322,03	8,50
14	4	Transporte a vazadouro	11.448,84	0,96	l/m³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m³	0,79%	9.747,85	1,49
15	5	Aterro com areia (almofada)	30.648,01	4,35	l/m³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m³	2,55%	34.734,39	8,50
16	6	Aterro c/ material da próp. vala	50.482,80	0,95	l/m³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m³	4,46%	42.982,50	1,49
17	7	Aterro com produtos de empréstimo	54.241,81	2,52	l/m³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m³	4,58%	69.328,77	5,10
18	8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200	0,00			0,00%	0,00			0,00		
19	8.a.1.	Fornecimento e assentamento	213.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%	246.809,46	66,19
20	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250	0,00			0,00%	0,00			0,00		
21	8.b.1.	Fornecimento e assentamento	201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%	134.643,16	67,19
22	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300	0,00			0,00%	0,00			0,00		
23	8.c.1.	Fornecimento e assentamento	100.082,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%	105.572,09	98,40
24	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400	0,00			0,00%	0,00			0,00		
25	8.d.1.	Fornecimento e assentamento	22.585,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%	26.741,01	51,27
26	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200										
27	8.e.1.	Fornecimento e assentamento										
28	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200	122.279,37	57,24%	‰	9,42%	167.797,96	56,82%	‰	12,93%	164.857,50	66,80%
29	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250	33.233,63	16,50%	‰	2,56%	44.253,46	61,35%	‰	3,41%	43.460,50	32,28%
30	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300	11.698,79	11,69%	‰	0,90%	11.833,54	18,78%	‰	0,91%	7.871,00	7,46%
31	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400	3.621,58	16,03%	‰	0,28%	4.914,16	36,54%	‰	0,38%	6.608,75	24,71%
32	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200										
33	10	Caixa de Pavimento	33.198,93	55,58%	‰	2,56%	29.973,43	41,23%	‰	2,31%	29.567,15	56,60%
34	11	Pavimentação c/ betuminoso	21.490,89	3,59	l/m²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m²	2,24%	22.827,87	3,82
35	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos	0,00	0,00	l/m²		0,00	0,00	l/m²		0,00	0,00
36	13	Pavimentação c/ macadame	38.238,03	8,84	l/m²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m²	3,36%	29.412,34	1,72
37	14	Estaleiro e trabalhos acessórios	52.985,67	4,26%	‰	4,08%	171.998,63	12,18%	‰	13,26%	137.846,98	9,89%
38		total	1.297.560,30				1.583.823,61				1.531.266,38	

Figura 18 - Cálculo da célula F12 (custo unitário Escavação em Terra/Rocha Branda)

Os custos unitários referentes ao item 8, subdividem-se em Tubagem e acessórios em vala DN 200 (item 8.a.), Tubagem e acessórios em vala DN 250 (item 8.b.), Tubagem e acessórios em vala DN 300 (item 8.c.) e Tubagem e acessórios em vala DN 400 (item 8.d.).

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Assim, a célula F19 (fornecimento e assentamento DN 200) é obtida aplicando a seguinte função:

= SE(E\$19=0;0;E\$19/orçamentos!\$E\$2699) em que E\$19 é o custo total de tubagem fornecida e assente constante na proposta e \$E\$2699 é o comprimento total de tubagem fornecida e colocada.

A célula F21 (fornecimento e assentamento DN250) é obtida de forma análoga, = SE(E\$21=0;0;E\$21/orçamentos!\$E\$2700), em que E \$21 é o custo de fornecimento e assentamento de tubagem e \$E\$2700 é o comprimento total de tubagem fornecida pelo dono de obra.

A dedução realizada é feita de forma similar ao acima descrito.

F19		=SE(E\$19=0;0;E\$19/orçamentos!\$E\$2699)											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
					concorrente 1				concorrente 2				
					Custo	Custo unitário		% sobre	Custo	Custo unitário		% sobre	
					(I)	Valor	Unidade	valor obra	(I)	Valor	Unidade	valor obra	
11	1	Escavação em rocha branda			0,00	0,00	l/m ²	0,00%	0,00	0,00	l/m ²	0,00%	
12	2	Escavação em terra/rocha branda			149.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%	
13	3	Escavação em rocha dura			153.144,20	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%	
14	4	Transporte a vazadouro			11.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%	
15	5	Aterro com areia (almofada)			30.648,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%	
16	6	Aterro c/ material da próp. vala			50.482,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%	
17	7	Aterro com produtos de empréstimo			54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%	
18	8.a	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200			0,00			0,00%	0,00				
19	8.a.1.	Fornecimento e assentamento			213.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%	
20	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250			0,00			0,00%	0,00				
21	8.b.1.	Fornecimento e assentamento			201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%	
22	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300			0,00			0,00%	0,00				
23	8.c.1.	Fornecimento e assentamento			100.082,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%	
24	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400			0,00			0,00%	0,00				
25	8.d.1.	Fornecimento e assentamento			22.585,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%	
26	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200											
27	8.e.1.	Fornecimento e assentamento											
28	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200			122.279,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%	
29	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250			33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%	
30	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300			11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%	
31	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400			3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%	
32	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200											
33	10	Caixa de Pavimento			33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%	
34	11	Pavimentação c/ betuminoso			21.490,89	3,59	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%	
35	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos			0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²		
36	13	Pavimentação c/ macadame			38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m ²	3,36%	
37	14	Estaleiro e trabalhos acessórios			52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%	
38				total	1.297.560,30				1.583.823,61				

Figura 19 - Cálculo da célula F19 (custo unitário Assentamento DN200)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

De acordo com a metodologia aplicada a célula **F28**, **F29**, **F30**, **F31**, **F32** referente ao fator de custo Acessórios em caixas e caixas DN 200, Acessórios em caixas e caixas DN 250 Acessórios em caixas e caixas DN 300, Acessórios em caixas e caixas DN 400 vêm expressas em percentagem, pois o custo de acessórios é uma relação entre o custo dos acessórios e o custo de tubagem.

Assim a função para cálculo da célula **F28** é $= E\$28/E\19 , em que **E\$19** são os custos do empreiteiro relativos à tubagem DN 200 e **E\$28** é o custo dos acessórios de tubagem DN200 fornecido.

F28 fx =E\$28/E\$19

		concorrente 1				concorrente 2			
		Custo	Custo unitário		% sobre	Custo	Custo unitário		% sobre
		(l)	Valor	Unidade	valor obra	(l)	Valor	Unidade	valor obra
11	1	0,00	0,00	l/m ³	0,00%	0,00	0,00	l/m ³	0,00%
12	2	113.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%
13	3	153.144,28	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%
14	4	11.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%
15	5	10.648,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%
16	6	50.482,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%
17	7	54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%
18	8.a.	0,00			0,00%	0,00			
19	8.a.1.	213.024,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%
20	8.b.	0,00			0,00%	0,00			
21	8.b.1.	201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%
22	8.c.	0,00				0,00			
23	8.c.1.	100.082,14	33,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%
24	8.d.	0,00			0,00%	0,00			
25	8.d.1.	22.585,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%
26	8.e.								
27	8.e.1.								
28	9.a.	122.279,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%
29	9.b.	33.233,63	16,30%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%
30	9.c.	11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%
31	9.d.	3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%
32	9.e.								
33	10	33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%
34	11	21.490,89	3,59	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%
35	12	0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²	
36	13	38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m ²	3,36%
37	14	52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%
38		total	1.297.560,30			1.583.823,61			

Figura 20 - Cálculo célula F28 (custo unitário acessórios em caixas e caixas DN200)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

O custo unitário do item *Caixa de pavimento*, célula **F33**, é expresso em percentagem. Este custo é obtido da seguinte forma: $= E33/SOMA(E34:E36)$, em que **E33** representa o custo total do item caixa pavimento encontrado na proposta, e **SOMA(E34:E36)**, representa o somatório dos custos totais dos diferentes tipos de pavimento. (*Pavimentação com betuminoso, Pavimentação com cubos/paralelos e Pavimentação com macadame*).

F33		fx		=E33/SOMA(E34:E36)							
	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L
7											
8											
9					concorrente 1			concorrente 2			
10				Custo	Custo unitário		% sobre	Custo	Custo unitário		% sobre
11				(I)	Valor	Unidade	valor obra	(I)	Valor	Unidade	valor obra
12	1	Escavação em rocha branda		0,00	0,00	l/m ³	0,00%	0,00	0,00	l/m ³	0,00%
13	2	Escavação em terra/rocha branda		43.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%
14	3	Escavação em rocha dura		153.144,28	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%
15	4	Transporte a vazadouro		11.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%
16	5	Aterro com areia (almofada)		30.848,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%
17	6	Aterro c/ material da próp. vala		50.422,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%
18	7	Aterro com produtos de empréstimo		54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%
19	8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200		0,00			0,00%	0,00			
20	8.a.1.	Fornecimento e assentamento		23.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%
21	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250		0,00			0,00%	0,00			
22	8.b.1.	Fornecimento e assentamento		201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%
23	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300		0,00			0,00%	0,00			
24	8.c.1.	Fornecimento e assentamento		100.682,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%
25	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400		0,00			0,00%	0,00			
26	8.d.1.	Fornecimento e assentamento		22.581,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%
27	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200									
28	8.e.1.	Fornecimento e assentamento									
29	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200		122.279,87	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%
30	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250		33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%
31	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300		11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%
32	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400		3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%
33	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200									
34	10	Caixa de Pavimento		33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%
35	11	Pavimentação c/ betuminoso		21.490,89	3,39	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%
36	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos		0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²	
37	13	Pavimentação c/ macadame		38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m ²	3,36%
38	14	Estaleiro e trabalhos acessórios		52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%
39		total		1.297.560,30				1.583.823,61			

Figura 21 - Cálculo da célula F33 (custo unitário Caixa de Pavimento)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Para o décimo quarto fator de custo relativo a *Estaleiro e trabalhos acessórios*, célula **F37**, o custo unitário é obtido através da função: $= E37/SOMA(E11:E36)$, em que **E37** diz respeito ao custo total de artigos do orçamento tipificados com o número catorze, e **SOMA(E11:E36)** é o somatório dos custos de todos os itens (item 1 a 13), à exceção, claro, do item *Estaleiro e trabalhos acessórios*.

F37		fx		=E37/SOMA(E11:E36)									
	A	B	C	E	F	G	H	I	J	K	L		
7													
8				concorrente 1				concorrente 2					
9				Custo	Custo unitário		% sobre	Custo	Custo unitário		% sobre		
10				(l)	Valor	Unidade	valor obra	(l)	Valor	Unidade	valor obra		
11	1	Escavação em rocha branda		0,00	0,00	l/m ³	0,00%	0,00	0,00	l/m ³	0,00%		
12	2	Escavação em terra/rocha branda		143.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%		
13	3	Escavação em rocha dura		153.144,28	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%		
14	4	Transporte a vazadouro		1.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%		
15	5	Aterro com areia (almofada)		31.648,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%		
16	6	Aterro c/ material da próp. vala		50.482,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%		
17	7	Aterro com produtos de empréstimo		54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%		
18	8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200		0,00			0,00%	0,00					
19	8.a.1.	Fornecimento e assentamento		213.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%		
20	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250		0,00			0,00%	0,00					
21	8.b.1.	Fornecimento e assentamento		201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%		
22	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300		0,00			0,00%	0,00					
23	8.c.1.	Fornecimento e assentamento		100.082,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%		
24	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400		0,00			0,00%	0,00					
25	8.d.1.	Fornecimento e assentamento		22.515,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%		
26	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200											
27	8.e.1.	Fornecimento e assentamento											
28	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200		122.275,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%		
29	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250		33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%		
30	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300		11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%		
31	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400		3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%		
32	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200											
33	10	Caixa de Pavimento		33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%		
34	11	Pavimentação c/ betuminoso		21.490,89	3,59	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%		
35	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos		0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²			
36	13	Pavimentação c/ macadame		38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	10,09	l/m ²	3,36%		
37	14	Estaleiro e trabalhos acessórios		52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%		
38		total		1.297.560,30				1.583.823,61					

Figura 22 - Cálculo da célula F37 (custo unitário Estaleiro e trabalhos acessórios)

Depois da determinação dos custos unitários ou percentagens dos catorze itens para os trinta concorrentes, interessa admitir um custo unitário médio ou percentagem média, dependendo da forma como cada item é expresso.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Como se pode observar na figura 23 existe uma grande diversidade entre custos unitários ou percentagem no mesmo item para os diferentes concorrentes. Tal facto deve-se, à forma como cada empreiteiro equaciona o lucro/encargos que irá ter com os diversos trabalhos da obra aquando da elaboração da proposta. Fatores como a disponibilidade de equipamentos e mão-de-obra, condição financeira da empresa, aspetos relacionados com fornecedores, etc... têm influência direta na proposta apresentada por cada empresa para uma determinada obra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7												
8					concorrente 1				concorrente 2			
9					Custo	Custo unitário		% sobre	Custo	Custo unitário		% sobre
10					(I)	Valor	Unidade	valor obra	(I)	Valor	Unidade	valor obra
11	1	Escavação em rocha branda			0,00	0,00	l/m ³	0,00%	0,00	0,00	l/m ³	0,00%
12	2	Escavação em terra/rocha branda			143.132,49	2,50	l/m ³	11,03%	189.240,08	5,35	l/m ³	14,58%
13	3	Escavação em rocha dura			153.144,28	6,41	l/m ³	11,80%	286.522,87	20,58	l/m ³	22,08%
14	4	Transporte a vazadouro			11.448,84	0,96	l/m ³	0,88%	10.306,83	1,58	l/m ³	0,79%
15	5	Aterro com areia (almofada)			30.648,01	4,35	l/m ³	2,36%	33.059,64	8,09	l/m ³	2,55%
16	6	Aterro c/ material da próp. vala			50.482,80	0,95	l/m ³	3,89%	57.853,60	2,01	l/m ³	4,46%
17	7	Aterro com produtos de empréstimo			54.241,81	2,52	l/m ³	4,18%	59.476,22	4,38	l/m ³	4,58%
18	8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200			0,00			0,00%	0,00			
19	8.a.1.	Fornecimento e assentamento			213.624,43	57,29	l/m	16,46%	295.300,85	79,19	l/m	22,76%
20	8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250			0,00			0,00%	0,00			
21	8.b.1.	Fornecimento e assentamento			201.422,99	100,51	l/m	15,52%	72.136,90	36,00	l/m	5,56%
22	8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300			0,00				0,00			
23	8.c.1.	Fornecimento e assentamento			100.082,04	93,28	l/m	7,71%	63.003,06	58,72	l/m	4,86%
24	8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400			0,00			0,00%	0,00			
25	8.d.1.	Fornecimento e assentamento			22.585,72	43,30	l/m	1,74%	13.449,11	25,78	l/m	1,04%
26	8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200										
27	8.e.1.	Fornecimento e assentamento										
28	9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200			122.279,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%
29	9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250			33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%
30	9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300			11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%
31	9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400			3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%
32	9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200										
33	10	Caixa de Pavimento			33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%
34	11	Pavimentação c/ betuminoso			21.490,89	3,59	l/m ²	1,66%	29.060,54	4,86	l/m ²	2,24%
35	12	Pavimentação c/ cubos / paralelos			0,00	0,00	l/m ²		0,00	0,00	l/m ²	
36	13	Pavimentação c/ macadame			38.238,03	8,84	l/m ²	2,95%	43.642,73	19,90	l/m ²	3,36%
37	14	Estaleiro e trabalhos acessórios			52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%
38				total	1.297.560,30				1.583.823,61			

Figura 23 - Disparidade de valores entre concorrentes

Foi razoável, devido a esta divergência de valores, necessidade de efetuar uma seleção dos custos unitários e percentagens a utilizar para que o valor médio a encontrar para cada item dos vários concorrentes fosse o mais coerente possível. Com vista a realizar essa seleção de valores, recorreu-se a uma análise exploratória de dados (nomeadamente a técnica “Caixa-de-Bigodes” que é explicada no ponto 2.6.2.) que possibilitou excluir os valores excessivamente altos ou excessivamente baixos e assim calcular a média (valor esperado) para cada um dos catorze itens.

Esta disparidade de valores poderá ser visualizada com maior pormenor no ANEXO 3.

2.4.2. DECOMPOSIÇÃO DOS ORÇAMENTOS

Para facilitar a análise dos orçamentos, foi definido para cada artigo da proposta uma cor. De modo a poder juntar valores parciais dos artigos foi atribuído um número consoante o grupo de artigos ou item de metodologia a que pertence. Tratou-se pois de realizar uma tipificação de todos os artigos dos orçamentos para os agrupar por item conforme se exemplifica a seguir.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Quadro 2 - Itens da Metodologia desenvolvida

1	Escavação em rocha branda
2	Escavação em terra/rocha branda
3	Escavação em rocha dura
4	Transporte a vazadouro
5	Aterro com areia (almofada)
6	Aterro c/ material da próp. vala
7	Aterro com produtos de empréstimo
8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200
8.a.1.	Fornecimento e assentamento
8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250
8.b.1.	Fornecimento e assentamento
8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300
8.c.1.	Fornecimento e assentamento
8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400
8.d.1.	Fornecimento e assentamento
8.e.	Tubagem e acessórios em vala PP 200
8.e.1.	Fornecimento e assentamento
9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200
9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250
9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300
9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400
9.e.	Acessórios em caixas e caixas PP 200
10	Caixa de Pavimento
11	Pavimentação c/ betuminoso
12	Pavimentação c/ cubos / paralelos
13	Pavimentação c/ macadame
14	Estaleiro e trabalhos acessórios

Quanto às propostas analisadas é importante referir que houve artigos que não foram tipificados, como é o caso dos artigos referentes a *atravessamentos de muros de suporte*, *atravessamento de linha férrea*, *atravessamento de obras de arte*, *tubagens e acessórios em pontes*, *tubagens e acessórios em passadiços*, pois por serem trabalhos de custo elevado, que envolvem equipamentos específicos, a aplicação dos custos inerentes a esses mesmos trabalhos no presente trabalho iriam distorcer os custos médios unitários, que se pretende quantificar.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

1	A	B	C	D	CONCORRENTE 1			CONCORRENTE 2			
					QUANT.	PREÇOS (Euros)	TOTAIS	QUANT.	PREÇOS (Euros)	TOTAIS	
2	TIPO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS			UNITÁRIOS			UNITÁRIOS			
3											
4											
5	A	ESTALEIRO									
6		1	Montagem, desmontagem e manutenção do estaleiro, constituído por: instalações para a direcção de obra, fiscalização, administrativos, enfermaria, instalações sanitárias, balneários, ferramentaria, zona de preparação, zona de armazenagem, vedação e arranjo do recinto, placas identificativas da empreitada, orçação de acessos, redes de água, esgotos, electricidade, telefones e todas as instalações e trabalhos necessários para o cumprimento das normas e legislação em vigor			1 un	4900	4.900,00	1 un	64000	
7	H									64.000,00	
8							0,00				
9		TOTAL A - ESTALEIRO:					0,00				
10							0,00				
11							0,00				
12	B	SISTEMA DE OLHALVAS NORTE (EMISSÁRIOS E 7.1, E7.1.2, E7.1.3 e E7.1.4)					0,00				
13							0,00				
14		1	EMISSÁRIO E 7.1					0,00			
15							0,00				
16		1.1	TRABALHOS PREPARATÓRIOS					0,00			
17							0,00				
18	H	1.1.1	Piquetagem incluindo a colocação de estacas ou marcação para localização de câmaras de visita			13277 ml	0,1	1327,70	13277 ml	0,23	3.053,71
19							0,00				
20		1.2	PAVIMENTOS					0,00			

Figura 24 - Tipificação dos diversos custos parcelares nas propostas analisadas

A título de exemplo, é possível visualizar no ANEXO 2 preços de alguns custos parcelares retirados de empreitadas fornecidas pelo orientador.

2.5. DETERMINAÇÃO DO VALOR GLOBAL DA OBRA

Uma vez determinados os valores médios referentes para cada item da metodologia existem condições para estimar os custos parciais referentes aos variados itens para posteriormente determinar o valor global da obra.

Convém referir que os custos encontrados para os subitens *Fornecimento e Assentamento* dos vários diâmetros utilizados foram incluídos e serão tomados em conta na determinação do valor global da obra.

Assim, para a determinação do custo parcial por metro linear de conduta foram multiplicados os custos unitários médios de cada item pela quantidade correspondente enunciada no mapa de medições.

Os custos parciais de cada item são obtidos multiplicando o custo parcial por metro linear de conduta pelo comprimento de tubagem. O somatório dos custos parciais dos 14 itens permite-nos obter o valor global da obra.

Exemplificando para o item *Aterro com areia (almofada)*, tem-se que:

$$\underbrace{4,35(\text{€} / m^3)}_{\text{custo médio unitário}} \times \underbrace{0,141(m^3)}_{\substack{\text{quant mapamedições} \\ (\text{por m.l. conduta})}} = \underbrace{0,61(\text{€} / m.l.conduto)}_{\text{custo por metro linear conduta}}$$

$$0,61(\text{€} / m.l.conduto) \times \underbrace{10.000,00(m)}_{\text{comp. total tubagem}} = \underbrace{6.125,00(\text{€})}_{\text{custo parcial}}$$

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Quadro 3 - Determinação dos custos parciais dos variados itens

	Custo unitário	Unid.	Descrição	Quant.	Custo por m.l	Custo parcial	Valores atendendo ao risco		
							Quant.	Custo por m.l.conduz	Custo parcial
1		ltm ³	Escavação em terra	1,216	0,00	0	0,856	0,00	0
2	4,48	ltm ³	Escavação em terra/rocha branda	0,068	0,30	3,026	0,203	0,31	9,077
3	11,60	ltm ³	Escavação em rocha dura	0,068	0,78	7,841	0,293	3,40	33,980
4	2,18	ltm ³	Transporte a vazadouro	0,180	0,39	3,913	0,436	1,08	10,804
5	9,46	ltm ³	Aterro com areia (almofada)	0,141	1,33	13,316	0,141	1,33	13,316
6	2,48	ltm ³	Aterro c/ material da próp. vala	0,820	2,03	20,320	0,599	1,48	14,841
7	4,36	ltm ³	Aterro com produtos de empréstimo	0,352	1,53	15,321	0,257	1,12	11,190
8.a.	31,64	ltm	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200		31,64	316,431		31,64	316,431
8.b.	67,75	ltm	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250		67,75	677,517		67,75	677,517
8.c.	72,32	ltm	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300		72,32	723,183		72,32	723,183
8.d.	51,19	ltm	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400		51,19	511,933		51,19	511,933
9.a.	43,63%	%	% acess. na tubagem		43,63%	138,057	11,67%		174,974
9.b.	37,64%	%	% acess. na tubagem		37,64%	255,029	11,67%		334,072
9.c.	22,15%	%	% acess. na tubagem		22,15%	160,173	11,67%		
9.d.	38,24%	%	% acess. na tubagem		38,24%	195,780	11,67%		
10	56,60%	%	% Cx.pav.no total pav.		56,60%	35,187,24			96,729,06
11	5,18	ltm ²	Pavimentação c/ betuminoso	0,898	4,65	46,480,72	2,870	14,86	148,607,81
12	6,36	ltm ²	Pavimentação c/ cubos/paralelos	0,112	0,71	7,130,42	0,159	1,01	10,132,15
13	7,63	ltm ²	Pavimentação c/ macadame	0,112	0,86	8,557,12	0,159	1,22	12,159,45
14	14,50%	%	%no total rest.custos						

De seguida, na Figura 25, é apresentado o separador *Dados de Base e Estimativas de Custo* da folha de cálculo que tem sido desenvolvida, onde de uma forma expedita, com a introdução de determinados parâmetros é possível determinar a estimativa do custo global para uma dada obra.

Assim, com a introdução por parte do utilizador, do diâmetro da tubagem, percentagem estimada de rocha branda e rocha dura, aterros com produtos de empréstimo, comprimento da conduta, profundidade média da geratriz, percentagem da pavimentação com betuminoso, cubos e macadame, a folha de cálculo desenvolvida permite determinar o valor global estimado para a obra.

Tomando como o exemplo, a obra representada na Figura 25, com as características descritas no **Quadro 4** obtém-se um **custo global de 1.338.970** para a obra em questão, ou seja, 140 €/metro linear de conduta.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Quadro 4 - Valores a introduzir pelo operador no separador *Dados Base e Estimativa Custo*

Características do projecto	Valores	Un.
Diâmetro (DN)	200	mm
Escavação Terra	90%	
R. branda	5%	
R. dura	5%	
Aterros - c/ Escavação	70%	
Empréstimo	30%	
Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m
Profundidade média geratriz sup.	1,50	m
Influência das caixas (caso não seja cenário normal)		
Pavimentaç Betuminoso	80%	
Cubos	10%	
Macadame	10%	
Sem pavimentação:	0%	
Largura da pavimentação (pl cenário aumento da larg.)		

Características do projecto	Valores	Un.							
Diâmetro (DN)	200	mm							
Escavação Terra	90%		1	Escavação em terra					
R. branda	5%		2	Escavação em terra/rocha branda	4,48	l/m ²	0,068	0,30	3,026
R. dura	5%		3	Escavação em rocha dura	11,60	l/m ²	0,068	0,78	7,841
Aterros - c/ Escavação	70%		4	Transporte a vazadouro	2,18	l/m ²	0,180	0,39	3,913
Empréstimo	30%		5	Aterro com areia (almofada)	9,46	l/m ²	0,141	1,33	13,316
Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m	6	Aterro c/ material da próp. vala	2,48	l/m ²	0,820	2,03	20,320
Profundidade média geratriz sup.	1,50	m	7	Aterro com produtos de empréstimo	4,36	l/m ²	0,352	1,53	15,321
Influência das caixas (caso não seja cenário normal)			8.a.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200	31,64	l/m		31,64	316,431
Pavimentaç Betuminoso	80%		8.b.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250	67,75	l/m		67,75	677,517
Cubos	10%		8.c.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300	72,32	l/m		72,32	723,183
Macadame	10%		8.d.	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400	51,19	l/m		51,19	511,933
Sem pavimentação:	0%		9.a.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 200	43,63%	%	% acess. na tubagem	43,63%	138,057
Largura da pavimentação (pl cenário aumento da larg.)			9.b.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 250	37,64%	%	% acess. na tubagem	37,64%	255,029
			9.c.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 300	22,15%	%	% acess. na tubagem	22,15%	160,173
			9.d.	Acessórios em caixas e caixas PEAD 400	38,24%	%	% acess. na tubagem	38,24%	195,780
			10	Caixa de Pavimento	56,60%	%	% Cx.pav.nototal pav.	56,60%	35,187,24
			11	Pavimentação c/ betuminoso	5,18	l/m ²	0,898	4,65	46,480,72
			12	Pavimentação c/ cubos/paralelos	6,36	l/m ²	0,112	0,71	7,130,42
			13	Pavimentação c/ macadame	7,63	l/m ²	0,112	0,86	8,557,12
			14	Estaleiros e trabalhos acessórios	14,50%	%	%no total rest.custos		

Valores introduzidos pelo operador

Figura 25 - Separador *Dados Base e Estimativa Custos*

Na respetiva folha de cálculo, foram discriminados os custos parciais dos grupos de trabalhos referentes aos *Movimentos de terras* (item 1 a 7) na célula M30, *Tubagem*, *acessórios em vala e órgãos de manobra* (caixas e respetivos acessórios (item 8 e 9) na

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

célula M36, *Pavimentações* (item 10 a 13) na célula M40 e *Estaleiro e trabalhos acessórios* (item 14) na célula M44.

O resultado do custo, do grupo de movimento de terras é calculado somando os custos parciais de cada item correspondente a esse mesmo grupo.

No grupo de tubagens, acessórios em vala e órgãos de manobra o custo respectivo foi calculado somando o custo parcial da tubagem com o custo inerente das percentagens das caixas em relação ao valor das tubagens.

Para o grupo de pavimentações o custo foi calculado pela soma entre o somatório dos custos parciais da pavimentação com o custo inerente das percentagens da caixa do pavimento em relação ao valor das pavimentações.

O custo de estaleiro e trabalhos acessórios foi calculado multiplicando o somatório dos grupos anteriores pela percentagem correspondente ao estaleiro e trabalhos acessórios

O custo final da obra foi conseguido através da soma do custo dos diversos grupos de trabalho. Obtendo este custo, o custo final da obra por metro linear é conseguido através do quociente entre o custo final da obra e o comprimento correspondente à tubagem aplicada na obra.

Observa-se facilmente que o grupo de trabalhos com o maior peso de custos na estimativa efetuada é o grupo *Tubagem, acessórios em vala e órgãos de manobra (caixas e respectivos acessórios)*.

2.6. SELEÇÃO DOS DADOS A UTILIZAR

Como já foi visto previamente, os valores de custos unitários apresentados pelos concorrentes para os diferentes parâmetros são em muitos casos bastante dispersos, sendo assim é fundamental analisá-los e estudá-los para obter valores de custos unitários mais coerentes, com base nos custos propostos pelos concorrentes, e que sejam tomados como valores de referência a utilizar para realizar a estimação dos custos.

Numa primeira fase, foram coligidos do separador “*Custos unitários*” e colocados no separador “*Análise Robusta*” os valores de custos unitários ou percentagens apresentados por cada concorrente para os diferentes parâmetros.

Seguidamente, estes valores são colocados por ordem crescente, para aplicação da técnica designada por análise robusta de dados (descrita à frente), conforme se poderá verificar mais à frente.

2.6.1. ANÁLISE ROBUSTA DE DADOS

Para uma análise mais cuidada desses mesmos valores realizou-se uma análise exploratória dos dados, recorrendo-se à aplicação da técnica *Caixa-de-Bigodes*, de acordo com o livro *Análise Exploratória de Dados. Técnicas Robustas* de David Pestana (1992). Esta técnica será aplicada a cada um dos catorze parâmetros, possibilitando a relação dos valores dos custos unitários ou percentagens apresentados pelos concorrentes que devem ser aceites e aqueles que devem ser eliminados da análise por serem excessivamente elevados ou excessivamente baixos. Mais à frente, em 2.6.2, descreve-se detalhadamente a técnica referida.

Isto é, segundo a bibliografia referenciada previamente, a *identificação de outliers* serve para examinar os dados com o objetivo de distinguir observações estranhas, a que dá o nome de *outliers*. É de todo interessante conseguir identificar de forma clara os *outliers*, que correspondessem de facto a valores com um comportamento diferente da maioria dos outros dados. A explicação para essa diferença pode cair sobre três fatores:

- A forma como na realidade se comporta a quantidade que se estuda;
- A forma como essa mesma quantidade foi medida;
- Pela má gestão dos dados fornecidos.

De acordo com Pestana (1992), *uma representação gráfica de 5 números associado a uma coleção de observações – a denominada caixa-de-bigodes – revela-nos grande parte da estrutura dos dados. De uma caixa de bigodes podemos extrair as seguintes características de uma coleção:*

Localização

Dispersão

(As)simetria

Comprimento de ondas

Outliers.

A caixa-de-bigodes fornece-nos pois uma impressão visual de vários aspetos importantes da distribuição empírica de uma coleção de dados.

Esta representação visual compacta é essencialmente útil para comparar diferentes coleções de dados. Ao dispormos em paralelo caixas-de-bigodes para cada uma das coleções, e talvez mesmo assimetria e o peso das caudas. Podemos assim concluir, desta simples comparação, que os dados das diferentes coleções não se ajustam bem à mesma escala. Em particular, as coleções localizadas longe da origem podem eventualmente ser muito mais dispersas do que as coleções localizadas perto da origem. Portanto se as coleções forem marcadas numa escala comum, ser-nos-á mais difícil detetar peculiaridades dos dados numa vizinhança da origem.

2.6.2. EXPOSIÇÃO DE UM EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS CAIXAS DE BIGODES

A título de exemplo e para demonstrar a aplicação da técnica *Caixa-de-Bigodes*, realizou-se o parâmetro referente a *Fornecimento e Assentamento DN 250*. A aplicação desta técnica aos itens restantes tem um raciocínio análogo ao descrito, sendo portanto repetida de forma a obter a *Caixa-de-Bigodes* dos restantes parâmetros.

Através dos valores de custos unitários ou percentagens já ordenados antecipadamente determinam-se os elementos que seguidamente se apresentam.

O **número de elementos da amostra (n)** é determinado através da aplicação da função *CONTAR*. A amostra de valores para o parâmetro em análise é constituída por vinte e oito elementos.

$$\text{Profundidade da mediana (Pm)} = \frac{n+1}{2} = \frac{7+1}{2} = 4$$

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

A **Mediana** corresponde ao valor do custo unitário que se apresenta na coluna dos custos unitários ordenados na posição indicada pela profundidade da mediana.

F439		=CONTAR(F429:F435)					
	A	B	C	D	E	F	G
424							
425		Fornecimento e assentamento PEAD 250					
426							
427							
428					Custo Unitário	Custos - ordem crescente	
429				1	110,51	36,00	
430				2	36,00	45,20	
431				3	67,19	45,32	
432				4	74,10	64,67	
433				5	64,67	67,19	
434				6	45,20	74,10	
435				7	45,32	110,51	
436							
437					Média	63,28	
438							
439					Nº elementos da amostra (n)	7	
440					Profundidade da mediana (Pm) = (n+1)/2	4	
441					Mediana	64,67	

Figura 26 - Cálculo do nº de elementos, Profundidade da mediana e Mediana

$$\text{Profundidade do quarto inferior} = \frac{Pm + 1}{2} = \frac{4 + 1}{2} = 2,5$$

Quarto inferior (FL) corresponde ao valor do custo unitário que se apresenta na coluna dos custos unitários ordenados na posição indicada pela profundidade do quarto inferior (a contar a partir do primeiro custo).

Quarto superior (FU) corresponde ao valor do custo unitário que se apresenta na coluna dos custos unitários ordenados na posição indicada pela profundidade do quarto superior (a contar a partir do último custo).

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Dispersão quartal (dF) = $FU - FL = 72,37 - 38,30 = 34,07$

Barreiras de “Outliers” (ou candidatos a “Outliers”)

Estas barreiras informam que os valores que limitam a amostra quer superior quer inferiormente. Se numa determinada amostra existirem valores que ultrapassem estas barreiras, estes devem ser analisados numa perspetiva de encontrar eventuais justificações para o seu aparecimento podendo, geralmente, ser excluídos da amostra.

Barreira inferior = $FL - 1,5 * dF = 38,30 - 1,5 * 34,07 = -12,81$

Barreira superior = $FU + 1,5 * dF = 72,37 + 1,5 * 34,07 = 123,48$

Fornecimento e assentamento PEAD 250					
		Custo Unitário	Custos - ordem crescente		
		1	110,51	36,00	Barr. Inf. -12,81
		2	36,00	45,20	FL 36,00
		3	67,19	45,32	38,30
		4	74,10	64,67	45,20
		5	64,67	67,19	45,32
		6	45,20	74,10	Mediana 64,67
		7	45,32	110,51	FU 67,19
					72,37
					110,51
			Média	63,28	Barr. Sup. 123,48
			Nº elementos da amostra (n)	7	
			Profundidade da mediana (Pm) = (n+1)/2	4	
			Mediana	64,67	
			Profundidade do Quarto inferior = (Pm+1)/2	2,5	
			Quarto inferior - FL	38,3	
			Profundidade do Quarto superior = (Pm+1)/2	2,5	
			Quarto superior - FU	72,37	
			Dispersão quartal (dF)	34,07	
			Barreiras de "Outliers" (ou candidatos a "Outliers")		
			Barreira inferior: FL = 1,5 * dF	-12,81	
			Barreira superior: FU = 1,5 * dF	123,48	

Figura 27 - Cálculo da Dispersão Quartal e Barreiras de Outliers

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Através de todos estes dados encontrados torna-se possível a representação dos valores da amostra na, referida anteriormente, “Caixa-de-Bigodes” conforme se pode ver na figura 28.

Para construir a caixa-de-bigodes, desenhou-se primeiro uma caixa com extremidades no quarto inferior e superior e colocou-se uma barra na mediana. O próximo passo foi traçar uma linha (ou bigode, de acordo com a bibliografia referida) até ao ponto mais afastado da caixa e que não é um *outlier*. A figura apresentada representa a coleção dos dados, sem *outliers*. Os *outliers* são representados por um “x” situado para além das barreiras dos *outliers*.

Assim, e com o já foi referido previamente, a caixa-de-bigodes mostra de imediato a localização, a dispersão, a assimetria, o peso das caudas e os *outliers*.

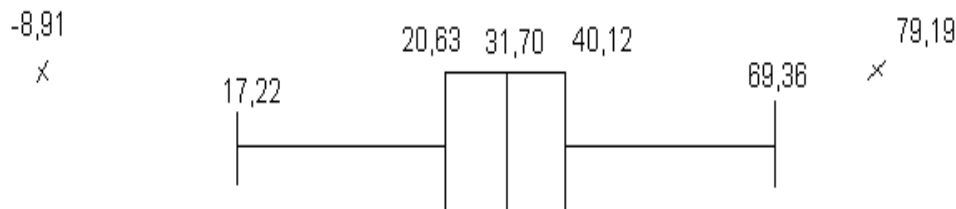


Figura 28 - Caixa de Bigodes – Fornecimento e assentamento PEAD 250

Neste caso (figura 28), não há dois valores anormalmente elevados, tanto a nível superior como inferior, sendo necessário ser excluídos da amostra, por se posicionarem acima do *outlier superior* ou abaixo do *outlier inferior*.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Contudo, temos outros exemplos que nos permitem tirar um maior benefício desta técnica. No caso de *Aterros com produtos de Empréstimo* há um valor anormalmente elevado que deve ser excluído da amostra, por estarem acima do limite superior (barreira de *outlier* superior), considerando-se que não existem motivos para o aparecimento destes preços (tratou-se de uma orçamentação desajustada da realidade).

Aterro c/ produtos empréstimo		Custos - ordem crescente			
	Valores adotados	Custo Unitário			
1	1,91	1	2,52		Barr. Inf. 0,4
2	1,98	2	4,38		1,91
3	2,52	3	5,10		1,98
4	2,55	4	6,84		2,52
5	2,82	5	6,93		2,55
6	3,04	6	7,41		2,82
7	3,05	7	4,42		3,04
8	3,16	8	3,72		3,05
9	3,22	9	4,89		3,16
10	3,72	10	4,91	FL	3,22
11	4,13	11	4,51		3,72
12	4,13	12	3,16		4,13
13	4,36	13	3,04		4,13
14	4,38	14	4,13		4,36
15	4,42	15	5,72		4,38
16	4,44	16	1,98		4,42
17	4,51	17	4,44	Mediana	4,43
18	4,74	18	5,04		4,44
19	4,89	19	3,22		4,51
20	4,90	20	4,74		4,74
21	4,91	21	4,13		4,89
22	4,97	22	3,05		4,90
23	5,04	23	11,18		4,91
24	5,10	24	4,90		4,97
25	5,72	25	4,97	FU	4,97
26	6,50	26	1,91		5,02
27	6,84	27	4,36		5,04
28	6,93	28	6,50		5,10
29	7,41	29	2,55		5,72
		30	2,82		6,50
					6,84
					6,93
					7,41
					Barr. Sup 7,79
		Média	4,58		11,18

Figura 29 - Valores adotados (Aterro com produtos de empréstimo)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Da aplicação desta técnica resulta uma amostra de dados que pode ser igual à inicial ou mais reduzida quando alguns valores são excluídos. Esta nova amostra permite encontrar para cada item da estrutura de custos um novo valor médio de custo unitário ou percentagem, valor esse que é tomado como valor de referência a considerar para a estimação dos custos e como tal seria remetido para o separador *Dados Base Estimativa de Custos* para a coluna referente ao *Custo unitário*. Na figura 29, como foi possível ver, é apresentado um exemplo de uma análise robusta de dados no que respeita ao aterro com produtos de empréstimo. Contudo, no ANEXO 4, poderá ser visto com maior clareza a aplicação desta metodologia para as restantes tarefas.

2.7. ATUALIZAÇÃO DE CUSTOS PARA O ANO EM CURSO

Os custos de Lencastre et al. (1994) que são relativos ao ano da sua publicação foram atualizados para o ano de 2012 e convertidos para a moeda euro, para que os respetivos preços unitários pudessem ser comparáveis com os custos médios dos vários itens obtidos neste trabalho. É também importante referir que os dados dos orçamentos consultados, de diferentes anos, também foram atualizados, para que se pudessem agregar de forma a obter as médias dos custos unitários de obras recentes, atrás apresentadas.

Para efetuar as atualizações de custos indicadas, utilizou-se o conceito de atualização apresentado em Miguel (2006), (MIGUEL, 2006). Segundo o autor, a relação entre duas unidades monetárias desfasadas no tempo é o juro, ou seja, o juro é o preço do dinheiro no tempo, que estabelece a ligação entre o valor da unidade monetária presente e o valor da unidade monetária futura.

Por conseguinte, apenas se pode aplicar a fórmula apresentada naquela publicação se a taxa de capitalização efetiva, ou seja, o juro, for constante através dos anos, o que não acontece nesta particular situação, em que vamos atualizar para o ano de 2012, à luz do mesmo conceito, os preços de orçamentos datados de anos anteriores.

Para traduzir esta evolução dos preços, utilizaram-se dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), por indicação do orientador. Os dados recolhidos no INE foram a taxa anual da inflação e a taxa anual do Índice de Preços no Consumidor excluindo a habitação (I.P.C.E.H.).

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

De seguida foi elaborada uma tabela (ver figura 31) para se determinarem os fatores de multiplicação necessários para a respetiva atualização de preços.

Aplicando no seu ano de origem o valor unitário, adiciona-se com o passar dos anos a taxa anual do ano anterior ao fator obtido, ou seja, a fórmula de cálculo $D21 = D20 + C20$, $D22 = D21 + C21$ e assim progressivamente.

Taxas Inflação INE		
Ano	Tx.anual	Factor
1994	0,052	1,0000
1995	0,041	1,0520
1996	0,031	1,0951
1997	0,022	1,1291
1998	0,027	1,1539
1999	0,023	1,1851
2000	0,029	1,2123
2001	0,044	1,2475
2002	0,035	1,3024
2003	0,033	1,3480
2004	0,023	1,3924
2005	0,022	1,4245
2006	0,031	1,4558
2007	0,024	1,5009
2008	0,026	1,5370
2009	-0,098	1,5769
2010	0,014	1,4224
2011	0,037	1,4423
2012		1,4957

Figura 31 - Taxa anual dos índices do preço do consumidor excluindo a habitação

De forma a possibilitar uma comparação entre os preços de 1994 e os atuais, tomou-se em consideração as seguintes tabelas de Lencastre:

Tabela da pág. 86, que corresponde ao custo da movimentação de terras para uma recarga sobre a tubagem de 1,5m;

Tabela da pág. 93, que corresponde ao custo por metro linear de adutora (definindo a percentagem de escavação em solo e rocha de 75% e 25% respetivamente);

Tabela da pág. 83, que corresponde aos custos de pavimentação. As pavimentações consideradas foram as seguintes: betume asfáltico, cubos de granito e macadame.

De seguida, para uma melhor compreensão da tabela da Figura 33, passarei a explicar a sua estrutura somente para a primeira linha de células:

- a. Escavação em Terra (75% de percentagem) – Lencastre pág.86, tubagem de 200mm
 - i. Escavação = 1110,75 \$/ml (1481*G18) – Coluna G;
 - ii. Transporte a Vazadouro = 93,00 \$/ml (124*G18) – Coluna H;
 - iii. Aterros – Almofada de Areia = 504,75 \$/ml (673*G18) – Coluna I;
 - iv. Aterros – Provenientes da Escavação = 769,50 \$/ml (1026*G18) – Coluna J;

- b. Escavação em Rocha (25% de percentagem) – Lencastre pág.86, tubagem de 200mm
 - i. Escavação = 1514,75 \$/ml (6059*K18) – Coluna K;
 - ii. Transporte a Vazadouro = 31,00 \$/ml (124*K18) – Coluna L;
 - iii. Aterros – Almofada de Areia = 168,25 \$/ml (673*K18) – Coluna M;
 - iv. Aterros – Provenientes da Escavação = 427,50 \$/ml (1710*K18) – Coluna N;

- c. Tubagem – Lencastre pág. 93, tubagem de 200mm

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Como no custo fornecido de tubagem no livro de Lencastre já está previsto custo da escavação, do aterro e dos acessórios, tive de deduzir a respetiva movimentação de terras e 30% do valor da tubagem para os acessórios. Obtendo-se o valor de 6.182,69 \$/ml – Coluna O;

d. Acessórios da tubagem

i. Como já dito na alínea c., foi considerado 30% do valor da tubagem – Coluna P;

e. Pavimentação – Lencastre pág. 83, tubagem de 200mm

i. A largura de pavimentação considerada foi 1,8m. $LP = (\text{Ø ext} + 0,7 + 0,4)$;

ii. Betuminoso = 2.217,60 \$/ml $(2464 * S_{18} * U_{16})$ – 50% de Betuminoso Coluna S;

iii. Macadame = 453,60 \$/ml $(1008 * T_{18} * U_{16})$ – 25% de Macadame Coluna T;

iv. Cubos = 756,25 \$/ml $(1680 * U_{18} * U_{16})$ – 25% de Cubos Coluna U;

f. Depois de obtermos os custos totais (com e sem pavimento) é feito o somatório e feita a conversão para Euros € ($1\text{€} = 200,482\text{\$}$). A atualização dos custos é feita de forma automática e multiplica os custos do ano de 1994 pelo fator do ano em questão.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Custos unitários (\$/ml) p/ recarga sobre a tubagem de 1.5 m																				
Ano	Movimentação de Terras						Tubagem			Acessórios		Sub-total sem pavim.		Sub-total sem pavim.		Largura de pavimentação		Custos total		
	Escavação em Terra			Escavação em Rocha			Tubagem			30% parcial		(\$)		(€)		50% c.base		25% parc.		
	75%	Aterros		25%		Aterros		parcial												
Escavação	T. Vazadouro	Alm. Areia	Pro Escava	Escavação	T. Vazadouro	Alm. Areia	Pro. Escava.													
1994	1.230,75	114,00	579,00	836,25	1.678,25	38,00	193,00	464,75	9.317,69	2.795,31	17.247,00	86,03	2.325,50	476,10	793,35	20.842,95	103,96			
1995	1.294,75	119,93	609,11	879,74	1.765,52	39,98	203,04	488,92	9.802,21	2.940,66	18.143,84	90,50	2.447,48	500,86	834,60	21.926,78	109,37			
1996	1.347,83	124,85	634,08	915,80	1.837,91	41,62	211,36	508,96	10.204,10	3.061,23	18.887,74	94,21	2.547,82	521,39	868,82	22.825,78	113,85			
1997	1.389,62	128,72	653,74	944,19	1.894,88	42,91	217,91	524,74	10.520,43	3.155,13	19.473,26	97,13	2.626,81	537,56	895,76	23.533,38	117,38			
1998	1.420,19	131,55	668,12	964,97	1.936,57	43,85	222,71	536,28	10.751,88	3.225,56	19.901,67	99,27	2.684,60	549,38	915,46	24.051,12	119,97			
1999	1.458,53	135,10	686,16	991,02	1.988,86	45,03	228,72	550,76	11.042,18	3.312,65	20.439,02	101,95	2.757,08	564,22	940,18	24.700,50	123,21			
2000	1.492,08	138,21	701,94	1.013,81	2.034,60	46,07	233,98	563,43	11.296,15	3.388,85	20.909,12	104,29	2.820,49	577,19	961,80	25.268,61	126,04			
2001	1.535,35	142,21	722,30	1.043,21	2.093,60	47,40	240,77	579,77	11.623,74	3.487,12	21.515,48	107,32	2.902,29	593,93	989,70	26.001,40	129,69			
2002	1.602,91	148,47	754,08	1.089,12	2.185,72	49,49	251,36	605,28	12.135,18	3.640,56	22.462,16	112,04	3.029,99	620,06	1.033,24	27.145,46	135,40			
2003	1.659,01	153,67	780,47	1.127,23	2.262,22	51,22	260,16	626,47	12.559,91	3.767,97	23.248,34	115,96	3.135,04	641,77	1.069,41	28.095,55	140,14			
2004	1.713,75	158,74	806,23	1.164,43	2.336,87	52,91	268,74	647,14	12.974,39	3.892,32	24.015,53	119,79	3.239,53	662,94	1.104,70	29.022,70	144,76			
2005	1.753,17	162,39	824,77	1.191,22	2.390,62	54,13	274,92	662,02	13.272,80	3.981,84	24.567,89	122,54	3.314,04	678,19	1.130,11	29.690,22	148,09			
2006	1.791,74	165,96	842,91	1.217,42	2.443,22	55,32	280,97	676,59	13.564,80	4.069,44	25.108,38	125,24	3.386,95	693,11	1.154,97	30.343,41	151,35			
2007	1.847,28	171,11	869,05	1.255,16	2.518,96	57,04	289,68	697,56	13.985,51	4.195,59	25.886,74	129,12	3.491,94	714,60	1.190,77	31.284,05	156,04			
2008	1.891,62	175,21	889,90	1.285,29	2.579,41	58,40	296,63	714,30	14.320,96	4.295,29	26.508,02	132,22	3.575,75	731,75	1.219,35	32.034,87	159,79			
2009	1.940,80	179,77	913,04	1.318,70	2.646,48	59,92	304,35	732,88	14.693,31	4.407,99	27.197,23	135,66	3.668,72	750,77	1.251,05	32.867,78	163,94			
2010	1.750,60	162,15	823,56	1.189,47	2.387,12	54,05	274,52	661,05	13.253,36	3.975,01	24.531,90	122,36	3.308,18	677,20	1.128,45	29.646,74	147,88			
2011	1.775,11	164,42	835,09	1.206,12	2.420,54	54,81	278,36	670,31	13.438,91	4.031,67	24.875,35	124,08	3.355,51	686,68	1.144,25	30.061,79	149,95			
2012	1.840,79	170,51	865,99	1.250,75	2.510,10	56,84	288,66	695,11	13.936,15	4.180,84	25.795,74	128,67	3.473,67	712,09	1.186,59	31.174,08	155,50			

Figura 33 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 250, com base no I.P.C.E.H.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Custos unitários (\$/ml) pl recarga sobre a tubagem de 1,5 m		Movimentação de Terras												Sub-total sem pavim.		Sub-total sem pavim.		Largura de pavimentação		1.8		Custo total inc.pav.	
Ano	Escavação	Escavação em Terra				Escavação em Rocha				Tubagem				Acessórios		Sub-total sem pavim. (\$)	Sub-total sem pavim. (€)	Macadam e 25%		Cubos 25% parc.		Custo total inc.pav. (\$)	Custo total inc.pav. (€)
		75%	T. Vazado	Alm. Área	Aterros	Pro. Escava.	Escavação	T. Vazado	Alm. Área	Aterros	Pro. Escava.	Escavação	parcial	30% parcial	50% c.base			25% c.base	50% c.base	25% parc.			
1994	1.290,75	104,25	419,25	903,75	1.760,00	33,75	139,75	502,25	14.610,96	4.383,29	24.145,00	120,43	2.435,40	498,15	830,25	27.908,80	139,21						
1995	1.357,87	106,52	441,05	950,75	1.851,52	35,51	147,02	528,37	15.370,73	4.611,22	25.400,54	126,70	2.562,04	524,05	873,42	29.360,06	146,45						
1996	1.413,54	110,88	459,13	989,73	1.927,43	36,96	153,04	550,03	16.000,93	4.800,28	26.441,96	131,89	2.667,03	545,54	909,23	30.563,82	152,45						
1997	1.457,36	114,32	473,37	1.020,41	1.987,18	38,11	157,79	567,08	16.496,86	4.949,09	27.261,66	135,98	2.749,76	562,45	937,42	31.511,30	157,18						
1998	1.489,42	116,83	483,78	1.042,86	2.030,90	38,94	161,26	579,56	16.859,89	5.057,97	27.861,42	138,97	2.810,26	574,83	958,04	32.204,56	160,64						
1999	1.529,64	119,99	496,84	1.071,01	2.085,74	40,00	165,61	595,20	17.315,11	5.194,53	28.613,68	142,72	2.886,14	590,35	983,91	33.074,07	164,97						
2000	1.564,82	122,75	508,27	1.095,65	2.133,71	40,92	169,42	608,89	17.713,36	5.314,01	29.271,79	146,01	2.952,52	603,92	1.006,54	33.834,77	168,77						
2001	1.610,20	126,31	523,01	1.127,42	2.195,58	42,10	174,34	628,55	18.227,05	5.468,11	30.120,87	150,24	3.038,14	621,44	1.035,73	34.816,98	173,66						
2002	1.681,05	131,87	546,02	1.177,03	2.292,19	43,96	182,01	654,12	19.029,04	5.708,71	31.445,88	156,85	3.171,82	648,78	1.081,30	36.347,88	181,30						
2003	1.739,88	136,48	565,13	1.218,22	2.372,42	45,49	188,38	677,01	19.695,05	5.908,52	32.546,59	162,34	3.282,83	671,49	1.119,15	37.620,06	187,65						
2004	1.797,30	140,99	583,78	1.258,42	2.450,71	47,00	194,59	699,36	20.344,99	6.103,50	33.620,63	167,70	3.391,17	693,65	1.156,08	38.861,52	193,84						
2005	1.838,64	144,23	597,21	1.287,37	2.507,07	48,08	199,07	715,44	20.812,92	6.243,88	34.393,91	171,56	3.469,16	709,60	1.182,67	39.755,34	198,30						
2006	1.879,09	147,40	610,35	1.315,69	2.562,23	49,13	203,45	731,18	21.270,81	6.381,24	35.150,57	175,33	3.545,48	725,21	1.208,69	40.629,96	202,66						
2007	1.937,34	151,97	629,27	1.356,48	2.641,66	50,66	209,76	753,85	21.930,20	6.579,06	36.240,24	180,77	3.655,39	747,69	1.246,16	41.889,48	208,94						
2008	1.983,84	155,62	644,37	1.389,03	2.705,06	51,87	214,79	771,94	22.456,53	6.736,96	37.110,01	185,10	3.743,12	765,64	1.276,06	42.894,83	213,96						
2009	2.035,42	159,66	661,13	1.425,15	2.775,39	53,22	220,38	792,01	23.040,40	6.912,12	38.074,87	189,92	3.840,44	785,55	1.309,24	44.010,10	219,52						
2010	1.835,95	144,02	596,34	1.285,48	2.503,40	48,01	186,78	714,39	20.782,44	6.234,73	34.343,63	171,30	3.464,08	708,56	1.180,94	39.697,11	198,01						
2011	1.861,65	146,03	604,68	1.303,48	2.538,45	48,68	201,56	724,40	21.073,39	6.322,02	34.824,34	173,70	3.512,58	718,48	1.197,47	40.252,87	200,78						
2012	1.930,53	151,44	627,06	1.351,71	2.632,37	50,48	209,02	751,20	21.653,11	6.555,93	36.112,84	180,13	3.642,54	745,07	1.241,78	41.742,22	208,21						

Figura 34 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 300, com base no I.P.C.E.H.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Custos unitários (\$/ml) p/ recarga sobre a tubagem de 1.5 m																					
Ano	Movimentação de Terras					Escavação em Rocha					Tubagem		Acessórios	Sub-total sem pavim. (\$)	Sub-total sem pavim. (€)	Largura de pavimentação		Custo total inc-pav. (\$)	Custo total inc-pav. (€)		
	Escavação em Terra		Escavação 25%			Aterros			Escavação em Rocha		parcial	30% parcial				50% c-base	25% c-base			Macadam e 25% parc.	1.8 Cubos 25% parc.
	75% Escavação	T. Vazadoiro	Pro. Escava. T. Vazadoiro	Alm. Areia	Pro. Escava. Alm. Areia	Pro. Escava. T. Vazadoiro	Alm. Areia	Pro. Escava. Alm. Areia	Pro. Escava. T. Vazadoiro	Alm. Areia											
1994	1.561,50	158,25	1.040,25	2.129,00	52,75	199,75	577,75	199,75	577,75	607,79	23.801,50	22.825,00	6.787,50	35.731,00	178,23	2.653,20	542,70	904,50	39.831,40	198,68	
1995	1.642,70	166,48	1.094,34	2.239,71	55,49	210,14	607,79	210,14	607,79	632,71	24.777,36	23.801,50	7.140,45	37.589,01	187,49	2.791,17	570,92	951,53	41.902,63	209,01	
1996	1.710,05	173,30	1.139,21	2.331,54	57,77	218,75	632,71	218,75	632,71	652,33	25.545,46	24.777,36	7.433,21	39.130,16	195,18	2.905,60	594,33	990,55	43.620,64	217,58	
1997	1.763,06	178,68	1.174,53	2.403,81	59,66	225,53	652,33	225,53	652,33	666,68	26.107,46	25.545,46	7.663,64	40.343,20	201,23	2.995,68	612,75	1.021,25	44.972,88	224,32	
1998	1.801,85	182,61	1.200,37	2.456,70	60,87	230,50	666,68	230,50	666,68	684,68	26.812,36	26.107,46	7.832,24	41.230,75	205,66	3.061,58	626,23	1.043,72	45.962,28	229,26	
1999	1.850,50	187,54	1.232,78	2.523,03	62,51	236,72	684,68	236,72	684,68	700,43	27.423,05	26.812,36	8.043,71	42.343,98	211,21	3.144,25	643,14	1.071,90	47.203,27	235,45	
2000	1.893,06	191,85	1.261,13	2.581,06	63,95	242,16	700,43	242,16	700,43	724,19	28.224,49	27.423,05	8.228,71	43.317,89	216,07	3.216,56	657,93	1.096,56	48.288,94	240,86	
2001	1.947,96	197,42	1.297,70	2.655,91	65,81	249,19	724,19	249,19	724,19	749,19	29.074,49	28.224,49	8.467,35	44.574,11	222,33	3.309,84	677,01	1.128,36	49.689,32	247,85	
2002	2.033,87	206,10	1.354,80	2.772,77	68,70	260,15	749,19	260,15	749,19	774,19	30.000,00	29.074,49	8.714,31	46.535,37	232,12	3.455,48	706,80	1.178,00	51.875,65	258,75	
2003	2.104,85	213,32	1.402,22	2.869,82	71,11	269,26	774,19	269,26	774,19	800,00	31.000,00	30.000,00	9.000,00	48.164,11	240,24	3.576,42	731,54	1.219,23	53.691,30	267,81	
2004	2.174,31	220,35	1.448,49	2.964,52	73,45	278,14	800,00	278,14	800,00	825,00	32.000,00	31.000,00	9.451,23	49.753,52	248,17	3.694,44	755,68	1.259,47	55.463,11	276,65	
2005	2.224,31	225,42	1.481,81	3.032,70	75,14	284,54	825,00	284,54	825,00	850,00	33.000,00	32.000,00	9.888,61	50.897,85	253,88	3.779,41	773,06	1.288,44	56.738,76	283,01	
2006	2.273,25	230,38	1.514,41	3.099,42	76,79	290,80	850,00	290,80	850,00	875,00	34.000,00	33.000,00	10.328,71	52.017,61	259,46	3.862,56	790,07	1.316,78	57.987,02	289,24	
2007	2.343,72	237,52	1.561,35	3.195,51	79,17	299,81	875,00	299,81	875,00	900,00	35.000,00	34.000,00	10.768,64	53.830,15	267,51	3.982,30	814,56	1.357,60	59.784,61	298,20	
2008	2.399,97	243,22	1.598,63	3.272,20	81,07	307,01	900,00	307,01	900,00	925,00	36.000,00	35.000,00	11.209,57	55.830,15	273,93	4.077,87	834,11	1.390,18	61.219,44	305,36	
2009	2.462,37	249,55	1.640,40	3.357,27	83,18	314,99	925,00	314,99	925,00	950,00	37.000,00	36.000,00	11.650,45	56.345,12	281,05	4.183,90	855,80	1.425,33	62.811,15	313,30	
2010	2.521,06	255,09	1.679,64	3.428,26	85,03	321,78	950,00	321,78	950,00	975,00	38.000,00	37.000,00	12.091,32	57.830,15	287,05	4.273,88	877,19	1.456,55	64.566,66	322,60	
2011	2.552,15	258,24	1.694,30	3.470,66	86,08	326,10	975,00	326,10	975,00	1.000,00	39.000,00	38.000,00	12.582,15	58.830,15	292,05	4.368,71	898,44	1.488,88	66.448,84	331,55	
2012	2.335,48	236,69	1.555,87	3.184,27	78,90	288,76	864,12	288,76	864,12	890,00	38.839,43	38.839,43	10.151,83	53.441,62	266,57	3.968,30	811,70	1.352,83	59.574,44	297,16	

Figura 35 - Tabela de Custos com a evolução dos preços de Lencastre, de 1994 a 2012, para tubagem DN 400, com base no I.P.C.E.H.

Comparação entre custos 1994 e custos 2012

Com base nas atualizações obtidas e com base nelas, já referidas no ponto anterior e nos custos de obras recentes, foi realizada a comparação entre os custos unitários mais preponderantes no custo por metro linear de conduta.

No separador *Dados base e Estimativa Custos* da folha de cálculo elaborada, foi efetuada uma simulação com os diâmetros de conduta de DN200. Como já referido na atualização de custos, os dados retirados da metodologia de Lencastre foram considerados para os seguintes critérios:

Escavação de terras com uma recarga de 1,5m sobre a tubagem;

Foi definido que 75% da escavação era em solo e que 25% da escavação era em rocha;

Foi definido que as pavimentações seriam de 50% em betuminoso, 25% em macadame e 25% em cubo;

É de todo importante referir que se forem alterados os critérios acima referidos, os resultados já não podem ser comparáveis.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Características do projecto	Valores	Un.	Características do projecto	Valores	Un.
Diâmetro (DN)	200	mm	Diâmetro (DN)	250	mm
Escavação Terra	75%		Escavação Terra	75%	
R. branda	0%		R. branda	0%	
R. dura	25%		R. dura	25%	
Aterros - <i>cf</i> Escavação	100%		Aterros - <i>cf</i> Escavação	100%	
Empréstimo	0%		Empréstimo	0%	
Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m	Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m
Profundidade média geratriz sup.	1,50	m	Profundidade média geratriz sup.	1,50	m
Influência das caixas (caso não seja cenário normal)			Influência das caixas (caso não seja cenário normal)		
Pavimenta: Betuminoso	50%		Pavimenta: Betuminoso	50%	
Cubos	25%		Cubos	25%	
Macadame	25%		Macadame	25%	
Sem pavimentação:	0%		Sem pavimentação:	0%	
Largura da pavimentação (<i>pl</i> cenário aumento da larg.)			Largura da pavimentação (<i>pl</i> cenário aumento da larg.)		

Figura 36 - Quadros de definição das condições de projeto

De seguida apresentamos os quadros de comparação, para os diâmetros acima referidos, comparando os valores de Lencastre et al (1994) referentes ao ano da publicação e atualizados ao ano de 2012 com os custos de obras recentes.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

PEAD 200	Ano	Escavação (€/m3)		Mov. Terras		Tubagem (€/m)	Acessórios tubagem		Pavimentação		Custo unitário global (€/m)	
		Terra	Rocha dura	Transp. vazad. (€/m3)	Almofoada areia (€/m3)		Aterro (€/m3)	Almofoada areia	c/ prod. escav.	Belume asfáltico (€/m2)		Cubos granito (€/m2)
Custos de Lencastre (€)	1994	5,54	7,56	0,62	3,36	5,97	30,84	9,25	30%	11,06	3,77	2,26
Custos de Lencastre Actualizados (€)	2012	8,29	11,30	0,93	5,02	8,93	46,13	13,84	30%	16,54	5,64	3,38
Custos de Obras Recentes	2012	4,48	11,60	2,18	9,46	2,48	31,64	13,92	44%	5,18	6,36	7,63
PEAD 260	Ano	Escavação (€/m3)		Mov. Terras		Tubagem (€/m)	Acessórios tubagem		Pavimentação		Custo unitário global (€/m)	
		Terra	Rocha dura	Transp. vazad. (€/m3)	Almofoada areia (€/m3)		Aterro (€/m3)	Almofoada areia	c/ prod. escav.	Belume asfáltico (€/m2)		Cubos granito (€/m2)
Custos de Lencastre (€)	1994	6,14	8,37	0,76	3,85	6,49	46,48	13,94	30%	11,60	3,96	2,37
Custos de Lencastre Actualizados (€)	2012	9,18	12,52	1,13	5,76	9,71	69,51	20,85	30%	17,36	5,92	3,55
PEAD 300	Ano	Escavação (€/m3)		Mov. Terras		Tubagem (€/m)	Acessórios tubagem		Pavimentação		Custo unitário global (€/m)	
		Terra	Rocha dura	Transp. vazad. (€/m3)	Almofoada areia (€/m3)		Aterro (€/m3)	Almofoada areia	c/ prod. escav.	Belume asfáltico (€/m2)		Cubos granito (€/m2)
Custos de Lencastre (€)	1994	6,44	8,78	0,67	2,79	7,01	72,88	21,86	30%	12,15	4,14	2,48
Custos de Lencastre Actualizados (€)	2012	9,63	13,13	1,01	4,17	10,49	109,00	32,70	30%	18,17	6,19	3,72
PEAD 400	Ano	Escavação (€/m3)		Mov. Terras		Tubagem (€/m)	Acessórios tubagem		Pavimentação		Custo unitário global (€/m)	
		Terra	Rocha dura	Transp. vazad. (€/m3)	Almofoada areia (€/m3)		Aterro (€/m3)	Almofoada areia	c/ prod. escav.	Belume asfáltico (€/m2)		Cubos granito (€/m2)
Custos de Lencastre (€)	1994	7,79	10,62	1,05	3,99	8,07	112,85	33,86	30%	13,23	4,51	2,71
Custos de Lencastre Actualizados (€)	2012	11,65	15,88	1,57	5,96	12,07	168,79	50,64	30%	19,79	6,75	4,05

Figura 37 - Quadros de comparação entre custos de 1994 e custos de obras recentes

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Da comparação efetuada, foi possível verificar que os custos unitários de movimentação de terras e pavimentações, hoje em dia, são relativamente mais baixos comparativamente aos preços de Lencastre (atualizados para 2012).

Também se verifica que, os custos unitários referentes a tubagens, caixas e acessórios houve uma diminuição em relação a 1994, o que de acordo com conversas sobre o tema, com o orientador, se deve possivelmente a um aumento da concorrência em Portugal, o que, conseqüentemente, irá provocar uma diminuição no custo das tubagens.

No geral constata-se que o custo total de construção por metro linear de conduta na atualidade, nesta gama de diâmetros, é inferior aos encontrados em Lencastre, sobretudo devido ao peso elevado que o custo das tubagens e caixas têm nestes géneros de obra.

3

ANÁLISE DE RISCO

Partindo dos valores determinados pela técnica de Análise Robusta de Dados (“Caixa-de-Bigodes”), desenvolveu-se uma análise de risco de uma possível obra de saneamento básico.

De acordo com Silva (2010), *a análise de risco tem como objetivo estimar os resultados prováveis de um problema, traduzido através de um modelo matemático. Tal modelo além de identificar as diversas variáveis envolvidas e o seu relacionamento, ainda descreve probabilisticamente a incerteza associada a cada variável de entrada (inputs), de forma a encontrar gamas de valores possíveis dos resultados (outputs), de preferência acompanhadas das respectivas distribuições probabilísticas. Desde logo se conclui que os métodos de análise de risco têm interesse apenas, quando um problema inclui dados sobre os quais existe incerteza. Caso contrário, um modelo de cálculo determinístico será perfeitamente adequado, dado que uma análise probabilística como a descrita atrás é mais trabalhosa e não fornece mais informação nesses casos. Por oposição aos modelos determinísticos, em que cada input tem associado um único valor passível de ocorrer, nos modelos estocásticos os inputs assumem diferentes valores em função da sua distribuição de probabilidades, o que permite traduzir a variabilidade de um ou mais dados do problema e realizar simulações com um número elevado de iterações, para estimar a distribuição probabilística dos outputs. Associado a este tipo*

de análises encontra-se um método de amostragem baseado em números aleatórios (Simulação de Monte Carlo), que conduz o processo de quantificação das variáveis do problema, nas sucessivas iterações realizadas.

Na realização deste trabalho, faz todo o sentido, uma análise de risco com o recurso a modelos estocásticos, visto que existem incertezas que se encontram associadas aos *inputs* utilizados na elaboração de estimativas de custo: a incerteza no que respeita aos custos unitários utilizados e a incerteza que está inerente às condições iniciais de projeto, como são exemplo o risco de aumento do volume de escavação de rocha, o de aumento da largura de pavimentação, o de incremento da profundidade média da geratriz, entre outros itens que podem ter incerteza associada.

A incerteza que está associada aos custos unitários depende muito de um fator que tem grande relevância, que é a situação atual do mercado. Isto é, se o mercado se encontrar numa “boa fase”, isto é, com bastantes obras para a oferta de empresas de construção a realizar atividade neste mercado, os preços praticados têm tendência a ser mais elevados; e caso haja falta de obras para os empreiteiros disponíveis os preços, naturalmente, descem.

No princípio de um projeto, com as condições iniciais inerentes a esta fase, pode prever-se uma determinada situação quanto ao custo final, com base na informação disponível, nomeadamente quanto a preços. Já numa fase de desenvolvimento do projeto ou até mesmo durante a sua execução podem surgir condicionantes ou alterações que poderão influenciar esses custos finais. Estas alterações podem acontecer devido a novas decisões do dono de obra ou de exigências impostas por entidades terceiras, que nada tem que a ver com ele, mas que ele tem de acatar e cumprir.

O *output*, ou seja, o resultado final desta análise de risco será uma estimativa do acréscimo de custos que poderão verificar-se em função dos riscos identificados.

3.1. FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS PARA ANÁLISE DE RISCO

É de referir, entretanto, que a simulação (dita, “de Monte Carlo” como se poderá ver mais à frente) não é a única via para a elaboração de modelos estocásticos. A abordagem probabilística também se utiliza noutros métodos, como por exemplo no caso de modelos de Árvore de Decisão (*Decision Trees*) ou de Diagramas de Influência (*Influence Diagrams*), bem como nos casos de análises de sensibilidade onde se avalia o impacto da variação isolada de cada variável do problema. Contudo, estes métodos referidos saem fora do âmbito do presente trabalho. O presente trabalho foca-se na utilização da referida ferramenta estatística “*Simulação de Monte Carlo*.”

3.2. FERRAMENTA DA *PALISADE* PARA A ÁREA DE ANÁLISE DE RISCO

Refere-se de seguida uma das principais ferramentas que a *Palisade* disponibiliza nesta área. Note-se que esta ferramenta funciona como um *Add-In* do Excel, acrescentando alguns comandos específicos nas folhas de cálculo, o que pressupõe um vasto conhecimento do utilizador da folha de cálculo usada, bem como a capacidade de traduzir os modelos de decisão a estudar com o apoio deste tipo de programas.

De acordo com Silva (2007), o *@Risk* é uma ferramenta orientada para a implementação de modelos de decisão através de simulação estocástica (vulgarmente designada por *Simulação de Monte Carlo*, por ser o método de amostragem utilizado, se

bem que tenham surgido evoluções do mesmo, nomeadamente o Hipercubo Latino, também suportado por esta aplicação).

3.3. FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE DECISÃO COM APOIO INFORMÁTICO

A área da análise de decisão disponibiliza metodologias de apoio à resolução de problemas que envolvam a comparação de diferentes cenários, soluções ou hipóteses, para a seleção do mais vantajoso. Esse conjunto de técnicas, hoje disponíveis, é cada vez mais utilizado para orientar a tomada de decisão nos mais variados domínios, dando aos utilizadores uma informação quantitativa para escolha fundamentada da solução mais adequada. O objetivo é fornecer aos técnicos os diferentes valores – podendo ser uma gama ou um conjunto discreto de valores – que poderão assumir os resultados de um problema, mediante diferentes cenários. Tais técnicas permitem portanto resolver inúmeras questões que são colocadas às empresas ou organizações.

A análise de risco é utilizada para analisar a viabilidade dos investimentos, além disso também pode ser utilizada na elaboração de estimativas de custos, como é o caso do presente trabalho.

Segundo Silva (2007), *relativamente às estimativas de custos de um projeto, o interesse das ferramentas de análise de decisão pode associar dois aspetos distintos:*

- Por um lado, permitem introduzir, no cálculo das estimativas, a incerteza associada aos custos de alguns dos itens que contribuem para o valor a estimar, reconhecidos como mais importantes por terem maior impacto no custo final (variabilidade dos

custos unitários, por exemplo, que existe naturalmente no mercado, independentemente das características de cada projeto específico);

- Por outro lado, também permitem que o analista introduza, no modelo de elaboração das estimativas, a variabilidade que poderá resultar da concretização de alguns riscos diagnosticados como passíveis de ocorrer, que estão associados a modificações das condições iniciais do projeto (variabilidade dos dados específicos do projeto em análise).

No âmbito do que foi referido anteriormente, são apresentadas de seguida algumas definições básicas, sublinhadas por diversos autores na introdução a estas matérias.

Risco e Incerteza

São considerados aproximadamente sinónimos, mas é necessário separar tais noções.

Risco e incerteza descrevem a possibilidade de ocorrerem diferentes resultados possíveis, sendo que nos negócios os riscos e as incertezas refletem desconhecimento e variabilidade na natureza, nos materiais e nos sistemas humanos. O risco é a qualidade de um sistema relativa à possibilidade de diferentes resultados, mas informalmente o termo “risco” é usado quando há um grande – geralmente desfavorável – impacto potencial. (SCHUYLER, 2001)

Tipicamente, a contingência ou acontece ou não – por exemplo, o risco de falha ou de rotura. A incerteza diz respeito à variabilidade em algum valor: sabemos que vai existir um determinado resultado (por exemplo, um custo), a incerteza é quanto será o seu valor.

Uma distinção eventual, oriunda de alguns profissionais da gestão de empreendimentos, é considerar a Incerteza, isto é, a surpresa ou contingência, como o termo mais genérico e, em seguida, classificar os acontecimentos com resultados bons como oportunidades e aqueles com resultados maus como Riscos ou Ameaças (SILVA, Análise de Decisão usando Métodos Estocásticos - Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente, 2008).

3.4. MÉTODO DE MONTE CARLO

Como descrito antes, a análise estocástica através de simulação, também chamada Simulação de Monte Carlo (em resultado da técnica de amostragem a que recorre), é uma das abordagens mais utilizadas em modelação para fins de análise de risco. De acordo com Schuyler (2001), *o Método de Monte Carlo (MMC), formulado bastante antes, foi popularizado por John von Neumann, aquando do desenvolvimento da bomba atômica, aplicando essa técnica na resolução de problemas matemáticos que, de outra forma, não tinham resolução. Conforme Silva (2010), a simulação com base nesse método de amostragem é talvez a técnica mais popular entre as várias das ciências da gestão, fornecendo meios para resolver, de forma simples, equações com distribuições de probabilidades. Baseia-se na aplicação de um processo de amostragem aleatória para obter aproximações dos valores esperados das variáveis. Depende de dois elementos:*

- um modelo que determina os resultados de um projeto (ou problema) e o valor desses resultados;

- uma técnica que repetidamente gera cenários, guiada através de amostragem aleatória das distribuições probabilísticas dos inputs do projeto.

Posteriormente, surgiram desenvolvimentos do MMC, em resultado da pesquisa de melhores técnicas de amostragem aleatória. Entre elas encontra-se a técnica do Hipercubo Latino, considerado mais eficaz para a resolução de certos problemas (converge mais rapidamente que o Monte Carlo original).

No caso da aplicação @Risk da Palisade, sobre a qual se vai desenvolver o presente trabalho, são disponibilizadas as duas técnicas de amostragem referidas – Monte Carlo e Hipercubo Latino – podendo o analista escolher qual delas pretende que o programa usa em cada simulação.

Num problema de análise de decisão ao qual se aplique esta metodologia (*Simulação de Monte Carlo*), existem diversas variáveis a considerar (“dados do problema”, “variáveis de entrada” ou, mais simplesmente *inputs*), acerca dos quais se reconhece que há alguma variabilidade nos respetivos valores.

Logo, não é conveniente tomar valores determinísticos para essas variáveis, na resolução do problema, mas sim adotar para cada uma delas uma distribuição probabilística que traduza, o mais adequadamente possível, a incerteza ou os riscos que lhe estão associados.

Note-se, que as aplicações informáticas de implementação do MMC e, nomeadamente, o @Risk da Palisade, assumem que uma célula da folha de cálculo que se elabora para o cálculo do problema, onde se encontra inserida pelo utilizador uma distribuição probabilística, é um *input* do problema. Assim, uma célula com um valor

determinístico, isto é que não contenha uma distribuição probabilística tradutora da existência de variabilidade acerca desse valor, não é um *input* do problema para efeitos do programa. É de referir, ainda, que dentro de uma mesma folha de cálculo, serão tomados como *inputs* e, portanto, processados em cada iteração, todas as células contendo uma distribuição probabilística associada, independentemente do separador em que se encontram, o mesmo se passando para células de outras folhas de cálculo, por ventura alheias ao problema em análise, que se encontrem abertas no momento de correr a simulação.

A prática da utilização do @Risk indica, contudo, que é vantajoso evitar estas situações, procurando não incluir em diferentes separadores os inputs de um dado problema e fechando, antes duma simulação, as folhas de cálculo que não se relacionam com o problema.

No contexto do MMC apoiado informaticamente, o ou os resultados que se pretendem encontrar após a resolução do problema (“variáveis de saída” ou *outputs*) – têm de ser identificados pelo analista. Há um comando específico para esse efeito, através do qual é adicionado ao conteúdo das respetivas células de resultados a designação “*RiskOutput*”.

Como será de esperar, um *output* de um problema será constituído por uma fórmula matemática que efetua um cálculo com base nos dados do problema. Daí que, se tratarmos através de um processo aleatório (base do MMC) a definição, em cada iteração, do valor de parte das variáveis do problema – ou seja, tratando-as como variáveis aleatórias – também o resultado será descrito como uma variável aleatória. Portanto, o MMC permitir-nos-á encontrar uma distribuição probabilística do *output* pretendido, que é o resultado das operações matemáticas que relacionam os *inputs* com

distribuições probabilísticas associadas, bem como outros *inputs* que não tenham variabilidade.

A título de exemplo, o resultado que se procura estimar pode ser a soma de um certo número de dados: se esses dados têm variabilidade associada, devidamente traduzida por distribuições probabilísticas, o *output* poderá ser descrito pela distribuição probabilística correspondente à soma das distribuições dos dados de entrada do problema.

Segundo Silva (2010), *como a manipulação dessas distribuições para efetuar tal cálculo pode ser muito complexo ou mesmo impossível, o interesse do MMC é fornecer uma forma de estimar a distribuição do output a partir de um conjunto de iterações (quanto mais vasto melhor), sendo que em cada uma delas é gerado um número aleatório entre 0 e 1, com base no qual se retira da função de distribuição acumulada de cada input um valor para ser usado no cálculo de um valor – passível de ocorrer – do output procurado. Logicamente, se todos os inputs do problema forem determinísticos, isto é sem variabilidade associada (não se introduzindo, nesse caso, qualquer distribuição probabilística nas células que contém os dados do problema), então o resultado será também determinístico e logo sem função probabilística associada – tal situação, não carece da aplicação do MMC, que seria pura perda de tempo equacionar.*

Assim, quando se reconhece a variabilidade num ou mais dados de um problema e se aplica o MMC, a organização do processo para a sua resolução passa pelos passos atrás descritos, realizados num ficheiro Excel, mas com recurso ao *add-in* para a simulação estocástica, onde se efetuam os diversos cálculos envolvidos. *Tal corresponde ao que se designa por elaboração do modelo de análise de decisão, também chamada, no contexto*

MMC, análise de risco ou análise de risco quantificada (SILVA, Análise de Decisão usando Métodos Estocásticos - Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente, 2008). A folha de cálculo elaborada para o efeito implementa o modelo de análise desenvolvido, que deve traduzir todas as incertezas e/ou riscos associados às variáveis do problema que podem compreender variabilidade dos respetivos valores, ou seja, o modelo deve retratar o mais fielmente possível a realidade em que o problema se coloca nos dias de hoje.

A resolução do problema é efetuada com base no modelo referido, fazendo “correr” uma simulação, composta por um número elevado de iterações. O número de iterações pode ser selecionado pelo utilizador. Após a simulação, o programa disponibiliza uma janela de resultados - *@Risk results* – onde, para cada *output* se podem obter os valores da respetiva distribuição estimada e diversos tipos de gráficos que os representam (histograma, função de distribuição acumulada, etc).

3.5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MONTE CARLO

O presente trabalho enquadra-se na aplicação das ferramentas de análise estocástica à elaboração de estimativas de custos de obras, com vista a servir de aplicação numa abordagem do *Método de Monte Carlo*. É apresentada uma folha de cálculo que inclui uma tabela com as fórmulas utilizadas, que permite estudar a forma como o modelo foi construído. Esta folha de cálculo corresponde aos trabalhos normalmente realizados em projetos de saneamento, e como já foi referido anteriormente encontram-se divididos em catorze itens, para os quais se obtiveram informações sobre os custos unitários.

Esta abordagem para estimar custos de obras (a partir de um número reduzido, mas representativo, de grupos de trabalhos que as compõe) se pode aplicar a qualquer tipo de obra – seja ela mais ou menos complexa, desde que se disponha de uma metodologia sistematizada para determinar quais os custos que se devem considerar para o tipo de obra em causa. Existem diversas publicações sobre metodologias dessas para diferentes tipos de obras. Como já foi referido anteriormente e para o caso específico orientado para o setor do saneamento: a publicação de *Lencastre et al (1994) – Custos de Construção e Exploração* foi a escolhida.

No que respeita à folha de cálculo para elaboração da estimativa de custos (modelo de cálculo da estimativa), além das fórmulas e formatos correntes do Excel, são necessários os passos que irão ser descritos mais à frente, de modo a criar o modelo estocástico, incluindo a variabilidade dos dados do problema, e para preparar e correr a simulação.

3.6. MODELO DE ANÁLISE DE RISCO ELABORADO COM TRADUÇÃO DA INCERTEZA ASSOCIADA ÀS VARIÁVEIS

Para aceder à ferramenta informática da *Palisade*, mais concretamente o *@Risk*, recorreu-se a uma licença disponível num computador do ISEP. Utilizou-se a ferramenta informática referida que fornece resultados para análise, com base nos dados que foram introduzidos no modelo.

Começa-se por definir a incerteza associada às variáveis, através de distribuições probabilísticas. Note-se que, em termos de análise de decisão, o problema envolve um conjunto de variáveis, umas com incerteza, outras não (variáveis determinísticas), sendo que para a aplicação informática são considerados como *inputs* apenas os dados

do problema que tenham uma distribuição probabilística associada (isto é, dados que se encontram, em células do Excel onde colocamos previamente a referida distribuição com os comandos que o @Risk disponibiliza para esse efeito). Dito de outra forma, quando se realiza uma simulação, o @Risk vai considerar como *inputs* apenas as células com funções do software que correspondem a distribuições (existe, aliás, uma janela que permite visualizar o modelo de análise de risco, em que só esses *inputs* aparecem).

Como se verá no ponto seguinte, podem definir-se distribuições probabilísticas a partir de um conjunto de dados, usando técnicas estatísticas, nomeadamente, a ferramenta *BestFit*, disponibilizada para este efeito, pelo @Risk. Contudo, pode também recorrer-se ao uso de distribuições pragmáticas, sobretudo quando se dispõe de poucos dados. Essas distribuições pragmáticas podem ser: a Uniforme, a Triangular e a Pert. A sua vantagem é que basta ter os valores mínimo e máximo, juntamente com a moda, para as introduzir na folha de cálculo. A moda é considerada fácil de obter através da opinião de um perito.

Neste estudo, usaram-se distribuições pragmáticas para definir o custo dos seguintes itens: *Escavação em Rocha Dura, Fornecimento e Assentamento em PEAD 250, Fornecimento e Assentamento em PEAD 300, Fornecimento e Assentamento em PEAD 400, Acessórios em caixas e caixas PEAD 250, Acessórios em caixas e caixas PEAD 300, Acessórios em caixas e caixas PEAD 400, Caixa de Pavimento, Pavimento com Betuminoso, Pavimento com Macadame*. Para isso, adotaram-se os valores mínimo e máximo observados, tendo-se discutido com o orientador o valor da moda.

3.7. UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA *BESTFIT DISTRIBUTIONS*

Tendo em atenção o referido em Silva (2010), para elaborar estimativas de custos, nomeadamente de custos de execução de obras (por ser uma parcela significativa do investimento), tirando partido de dados recolhidos pelas empresas em concursos das empreitadas, torna-se vantajoso elaborar modelos que traduzam a variabilidade eventualmente associada a alguns dos principais conjuntos de custo das obras. No presente trabalho, com base nas metodologias de estimativa de custos de obras de saneamento básico propostas em Lencastre et al (1994), elaborou-se, como já foi dito anteriormente, modelos para estimativas de custos de obras de tubagens (de saneamento), em função do seu diâmetro, comprimento e material constituinte, permitindo que o modelo entre em consideração com a incerteza das variáveis que habitualmente provocam variações mais significativas do custo global: profundidade média da tubagem, percentagem dos volumes de escavação em rocha (branda e dura), percentagem dos custos das câmaras de manobra em relação aos da tubagem, tipos de pavimentação das estradas utilizadas e áreas de pavimentação.

Assim, neste caso, a utilização da aplicação *BestFit*, pode revelar-se bastante vantajosa, podendo ser conjugada com a técnica de análise exploratória de dados (PESTANA, 1992), descrita no ponto número 2.6.1. Para selecionar os dados que se devem aceitar para efetuar o ajuste, a aplicação também disponibiliza meios para retirar da amostra dados anormalmente elevados ou baixos. Contudo, considerou-se preferível o recurso à referida técnica de análise robusta de dados, por permitir um melhor domínio da seleção de dados por parte do analista.

De acordo com Silva (2010), *as ferramentas informáticas para aplicação do MMC, disponibilizam normalmente um conjunto mais ou menos alargado de distribuições teóricas que se podem adotar na elaboração dos modelos de análise de decisão (partes discretas e partes contínuas) e, por vezes, outras ferramentas, como sejam aplicações para ajuste de distribuições, para o analista poder estabelecer, a partir de valores reais observados, as distribuições que considera melhor se adaptam a cada situação. No caso da Palisade, a ferramenta de ajuste de distribuições disponível é o BestFit, que pode ser usado como programa autónomo – sem o @Risk – ou acedido a partir do @Risk.*

De seguida enumeram-se alguns aspetos a ter em conta na seleção de distribuições probabilísticas.

- O @Risk disponibiliza um conjunto de funções de distribuições teóricas alargado, que está acessível sempre que se abre a caixa de diálogo *Define Distributions*, bastando clicar no botão *Dist.* nela disponibilizado.

- Estando disponíveis um número elevado de distribuições teóricas conhecidas, *convém ter presente que muitas vezes é preferível adotar distribuições consideradas mais simples, em vez de selecionar uma distribuição mais complexa e cuja aplicação é justificada pelos especialistas em estatística para determinados casos específicos da realidade, mas que pode não se ajustar à variável que temos em mãos. Por exemplo, há funções de distribuição que representam adequadamente determinados acontecimentos, com a vida útil de determinados equipamentos ou a taxa de mortalidade, mas podem ser desaconselháveis para uma variável com características ligeiramente diferentes* (SILVA, *Análise de Decisão usando Métodos Estocásticos - Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente*, 2008).

- Há algumas distribuições de aplicação geral, por vezes chamadas de *pragmáticas*, que têm a vantagem de serem intuitivas, com parametrização simples e de fácil aplicação. São elas (das contínuas): a Uniforme, a Triangular e a Pert. A Uniforme é excessivamente simplista e, logo, pouco utilizada, mas ainda assim com alguma lógica nalguns problemas; a Triangular é muito utilizada, embora ainda muito simples e por último, mas não menos importante, a Pert que é semelhante à Triangular em termos de parâmetros, mas com mais vantagens. Estas duas últimas definem-se facilmente a partir da estimativa do seu valor mínimo e máximo e da moda da distribuição, o que é normalmente fácil para pessoas com alguma experiência em determinado tipo de acontecimentos. Quanto às variáveis discretas, as distribuições Binomial e Discreta são consideradas pragmáticas.

- O *@Risk* disponibiliza também a possibilidade de utilizar parâmetros alternativos na definição das distribuições, o que corresponde a caracterizar a função com os percentis 5% e 95% em vez dos percentis 0% e 100%. É possível dizer, então, que esta abordagem permite uma estimativa melhor e com maior grau de confiança por parte do especialista que a faz, porque os percentis 0 e 100% correspondem a um acontecimento de probabilidade nula e, portanto, não observado na prática.

- Caso se disponha de um conjunto adequado de valores recolhidos por observação da realidade, ou seja, valores em elevada quantidade. O *@Risk (BestFit)* permite analisar três tipos de dados: amostra/observações – que admite dados discretos ou contínuos, curva de densidade ou curva acumulada, sendo as duas últimas conhecidas como *curvas de dados* (SILVA, Análise de Decisão usando Métodos Estocásticos - Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente, 2008). Conforme detalhado no guia do

utilizador (*Palisade*, 2005), o *@Risk* usa dois métodos para encontrar a melhor distribuição para o conjunto de dados definidos: para dados de amostra, os parâmetros da distribuição são estimados via *Maximum Likelihood Estimators (MLEs)*; para curvas de dados, usa o Método dos Mínimos Quadrados. Quando termina o processo de ajuste, é necessário rever os resultados, sendo que a aplicação ordena as distribuições ajustadas recorrer a uma ou mais estatísticas de ajuste conhecidas, que o utilizador pode selecionar: o teste do chi-quadrado, o de *Anderson-Darling* e o de *Komolgorov-Smirnov* (respetivamente *Chi-Sq*, *A-D* e *K-S*, no programa). Segundo Silva (2007), *a primeira pode ser usada quer para amostras de dados contínuas quer discretas, enquanto as outras duas apenas se aplicam a distribuições contínuas.*

De acordo com indicações do orientador, o estudo mais aprofundado das estatísticas de ajuste referidas anteriormente encontram-se fora do âmbito do presente trabalho, interessa comparar os resultados obtidos através dos gráficos (informação detalhada no ponto seguinte) que esta ferramenta disponibiliza.

O *@Risk* disponibiliza ainda vários gráficos para auxiliar o utilizador na seleção da distribuição mais adequada. São quatro os tipos de gráficos que se devem analisar: Gráficos de Comparação – que é apresentado por defeito – sobrepondo a distribuição teórica proposta aos dados reais; Gráficos de Diferença, que apresentam o erro absoluto entre a distribuição de ajuste e os dados fornecidos; Gráficos P-P (probabilidade-probabilidade), só para dados de amostragem que confrontam os dados com a distribuição dos resultados (se o ajuste for “bom” então o gráfico será quase linear, apresentando um ângulo de, aproximadamente 45°); Gráficos Q-Q (quartil-quartil), só para dados de amostragem contínua e que “desenham” os percentis da distribuição

fornecida com os percentis do resultado proposto (se o ajuste for “bom” então o gráfico terá a mesma característica que os gráficos P-P, isto é, será quase linear).

Nos casos do trabalho apresentado houve situações em que se conseguiu pôr em prática esta aplicação informática (*Best Fit*) devido ao número razoavelmente elevado de dados de entrada (quantos mais dados, melhor será a otimização do resultado).

O uso desta ferramenta pode ser aplicado com interesse na resolução de problemas de estimativas de custos, como é o caso do presente trabalho.

3.7.1. PREPARAÇÃO DOS PARÂMETROS – *BESTFIT*

Como se poderá ver na figura 38, após selecionar a aplicação *Best Fit*, no separador *Dados* é especificado a fonte e o tipo de *inputs* inseridos, que representam uma distribuição contínua ou discreta.

As opções de *Conjunto de Dados* especificam a fonte de dados a serem ajustados e o seu tipo. As opções incluem:

- **Nome.** Especifica um nome para o conjunto de dados ajustados. Este será o nome exibido em qualquer função desta aplicação.
- **Gama de Valores.** Especifica o conjunto de células que contém os dados a serem ajustados.
- **Tipo.** As opções especificam o tipo de dados que serão ajustados. No presente trabalho adotou-se *Dados Amostrais Contínuos*.
- **Opções de Filtro.** Permitem excluir valores indesejáveis, fora de limites determinados para o conjunto de dados de entrada. Neste caso, foi colocada a

opção “*Nenhum*”. Esta opção significa que não são retirados dados anormalmente baixos ou altos, do conjunto de dados fornecidos.

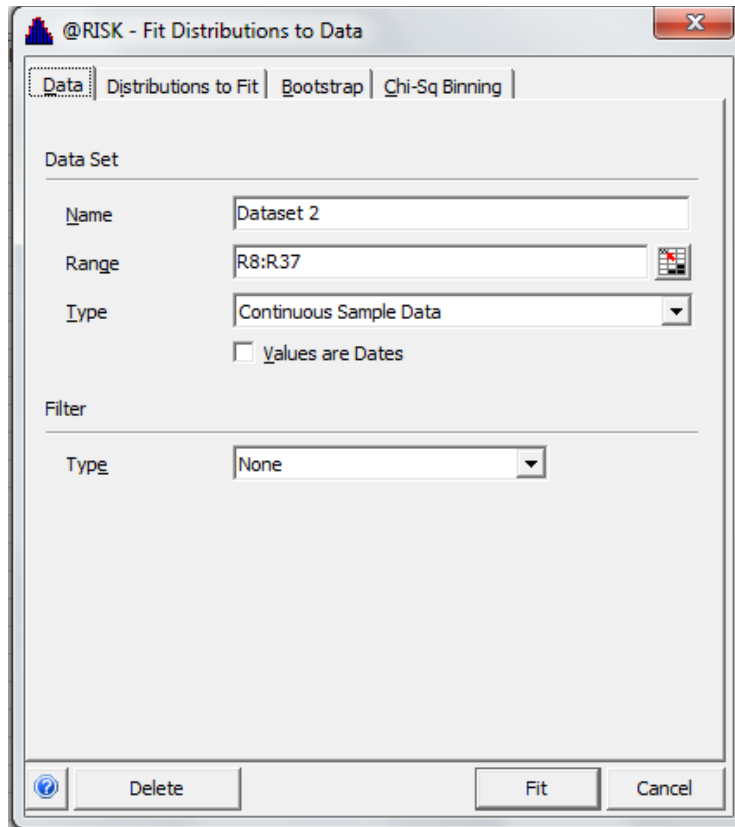


Figura 38 - Separador Dados (Ajuste da Distribuição)

Quanto ao separador seguinte, *Distribuições a Ajustar*, selecionam-se as distribuições de probabilidade a ajustar, isto é, as distribuições de probabilidades a serem incluídas no ajuste. Estas distribuições de probabilidades também podem ser selecionadas inserindo informação sobre os limites superiores e inferiores das distribuições permitidas.

Na opção *Método de Ajuste* foi colocada a opção *Estimativa de Parâmetros*, que permite ajustar a melhor distribuição selecionada ao conjunto de dados.

No que diz respeito às opções de *Limite Inferior* e *Limite Superior*, foram colocados os seguintes parâmetros:

- **Limite inferior** – foi colocado o limite fixo em zero. Este valor faz todo o sentido porque, no presente trabalho, estamos a falar de custos unitários de um determinado artigo e, logicamente, nenhum deles terá um valor inferior a zero.
- **Limite superior** – foi colocado a opção *Incerto*. Especifica que não há certeza sobre o limite superior dos valores que possam ocorrer e portanto todas as distribuições devem estar disponíveis para o ajuste.

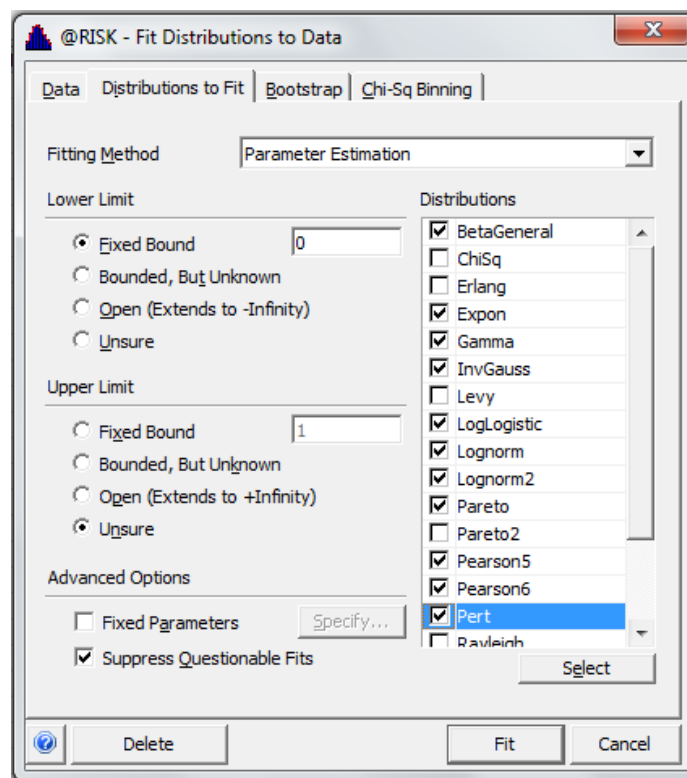


Figura 39 - Separador *Distribuições a Ajustar*

Após serem colocadas estas condicionantes, esta aplicação exhibe uma janela com o resultado do ajuste. Esse resultado é traduzido através de uma lista de distribuições

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

ajustadas e gráficos que ilustram como a distribuição selecionada se ajusta aos dados e estatísticas.

É apresentada uma lista do *Ranking dos Ajustes*, que exibe todas as distribuições para as quais os ajustes foram gerados, podendo analisar qual a melhor distribuição para cada estatística de ajuste.

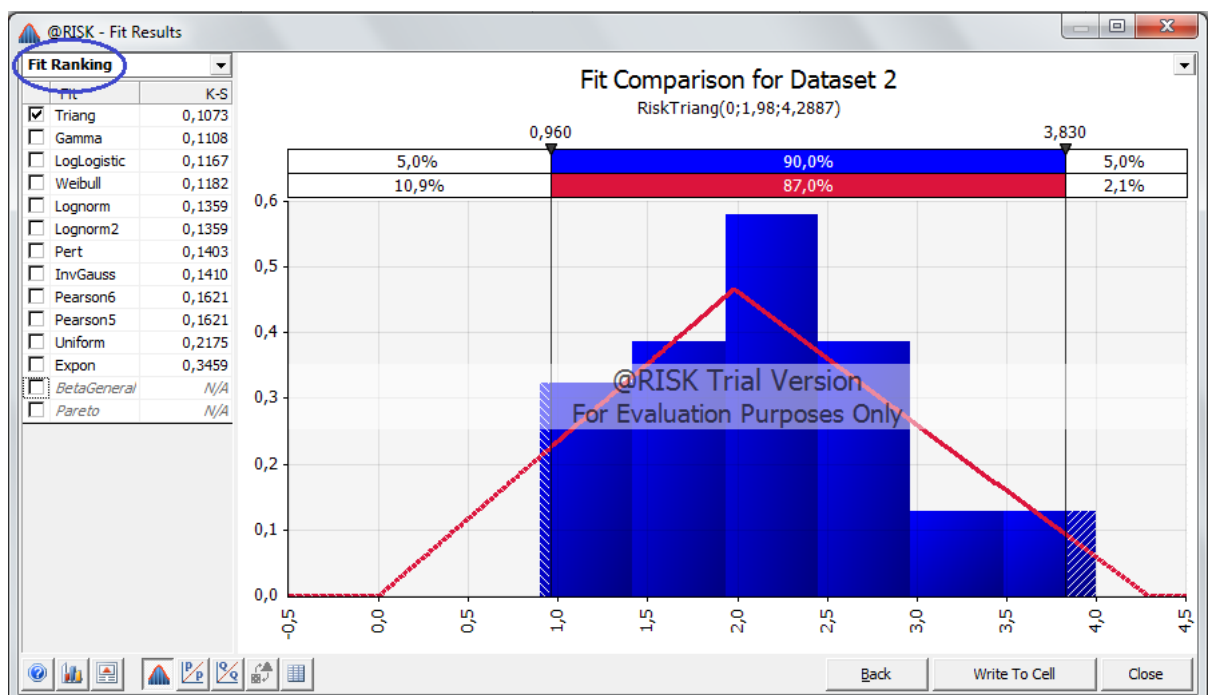


Figura 40 - Lista do *Ranking do Ajuste* (Resultado do Ajuste)

A janela final que a aplicação informática mostra (*Resultados do Ajuste*) possibilita também a escolha do tipo de estatística de ajuste para fazer uma avaliação dos resultados.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

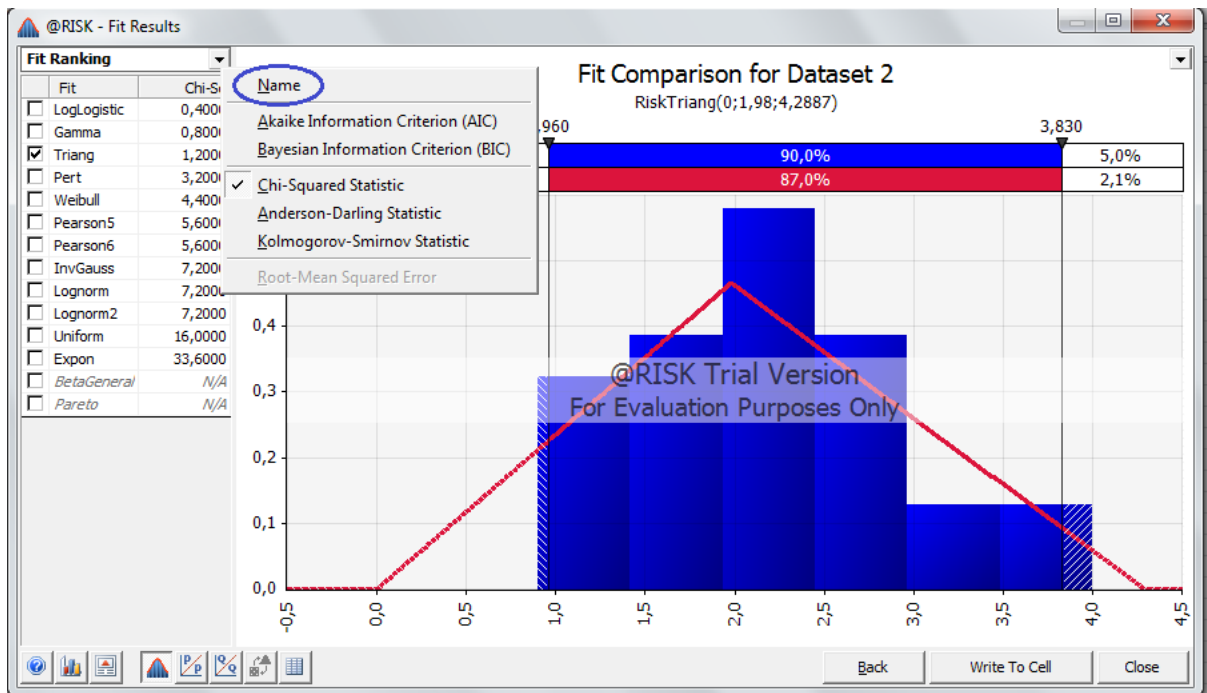


Figura 41 - Estatísticas de ajuste possíveis

3.7.2. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA INFORMÁTICA AJUSTE DE DISTRIBUIÇÃO - *BEST FIT*

São apresentados, de seguida, os resultados do ajuste relativamente ao item *Escavação em Terra/Rocha Branda*.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

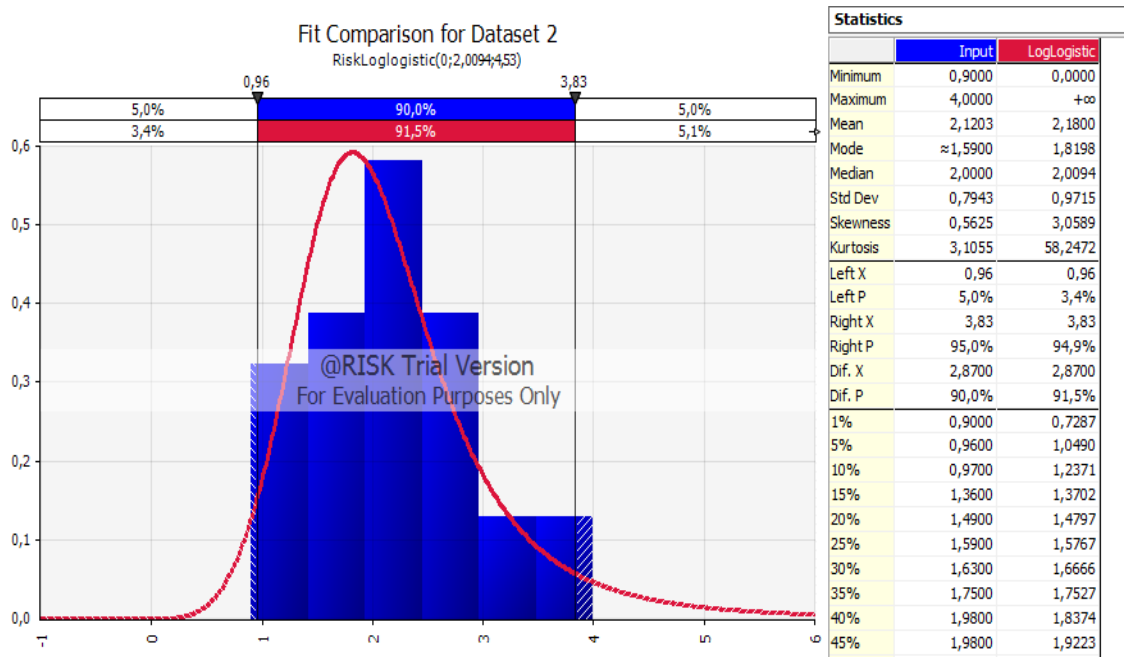


Figura 42 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de ajuste *Chi-quadrado*)

A distribuição probabilística mais adequada, no caso do item *Escavação em Terra*, quando se adota a estatística de ajuste *Chi-quadrado*, foi a *Loglogistic*. Esta distribuição dá valores assimétricos positivos e é usada para representar valores que não se tornem negativos, mas que possuem um máximo ilimitado (ver figura 42). Como se pode ver na figura 42, o gráfico acompanha de forma aproximada a curva teórica da distribuição mais adequada.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

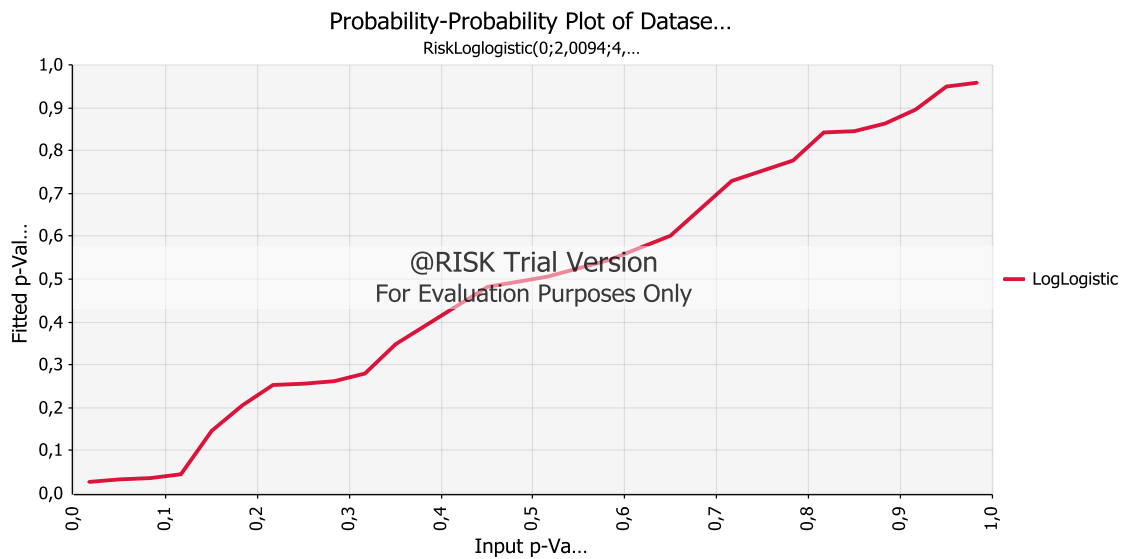


Figura 43 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste *Chi-quadrado*)

Além do histograma da figura anterior, o *@Risk* fornece uma curva acumulada da distribuição probabilística mais adequada para a estatística de ajuste *Chi-quadrado*. O gráfico probabilidade-probabilidade (P-P), que se encontra representado na figura 43, evidencia os valores das probabilidades da distribuição ajustada em contraponto com os valores das probabilidades dos dados iniciais. Quanto melhor for o ajuste, o gráfico será praticamente linear, fazendo um ângulo de, aproximadamente, 45° com o eixo das abcissas. Como se pode ver no gráfico da figura número 43, a curva acumulada descreve um ângulo de aproximadamente 45° , neste caso seria admissível, embora pudesse ser melhor, dado que o gráfico apresenta pouca linearidade.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

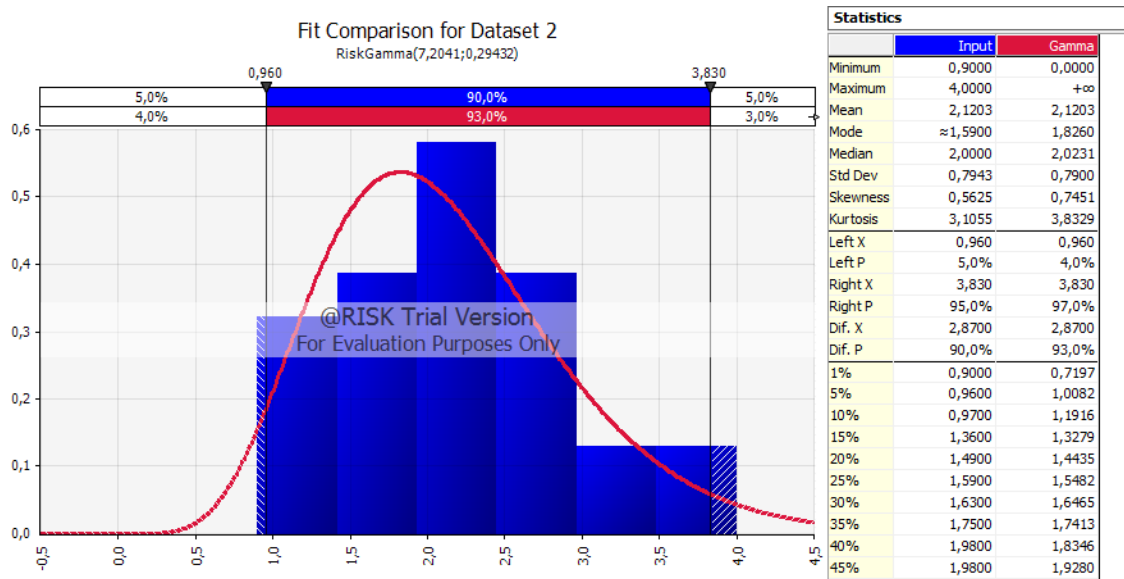


Figura 44 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de Ajuste *Anderson-Darling*)

No caso da estatística de ajuste *Anderson-Darling*, a distribuição probabilística mais adequada foi a *Gamma*.

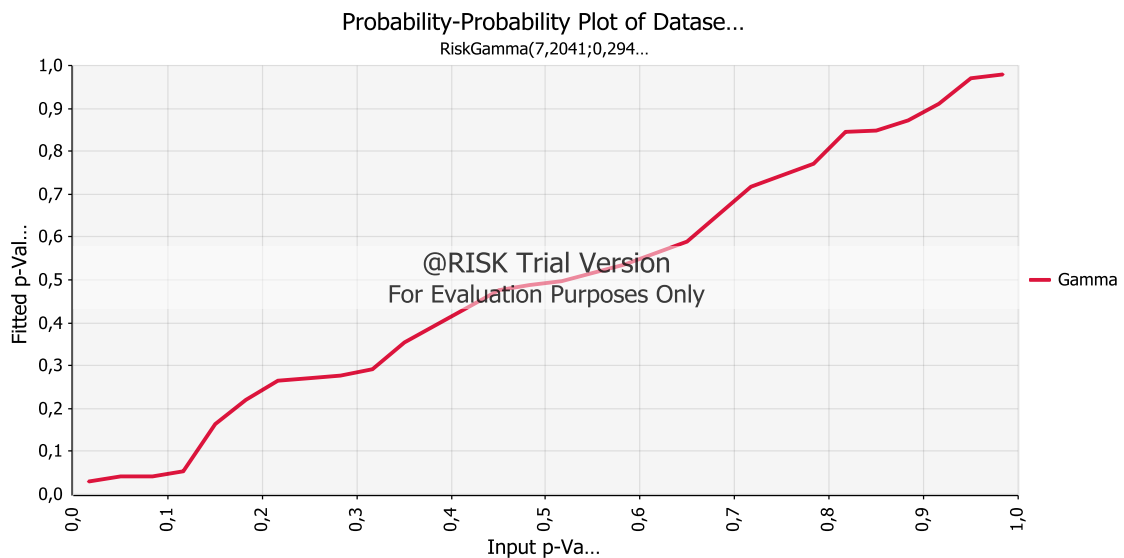


Figura 45 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste *Anderson-Darling*)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

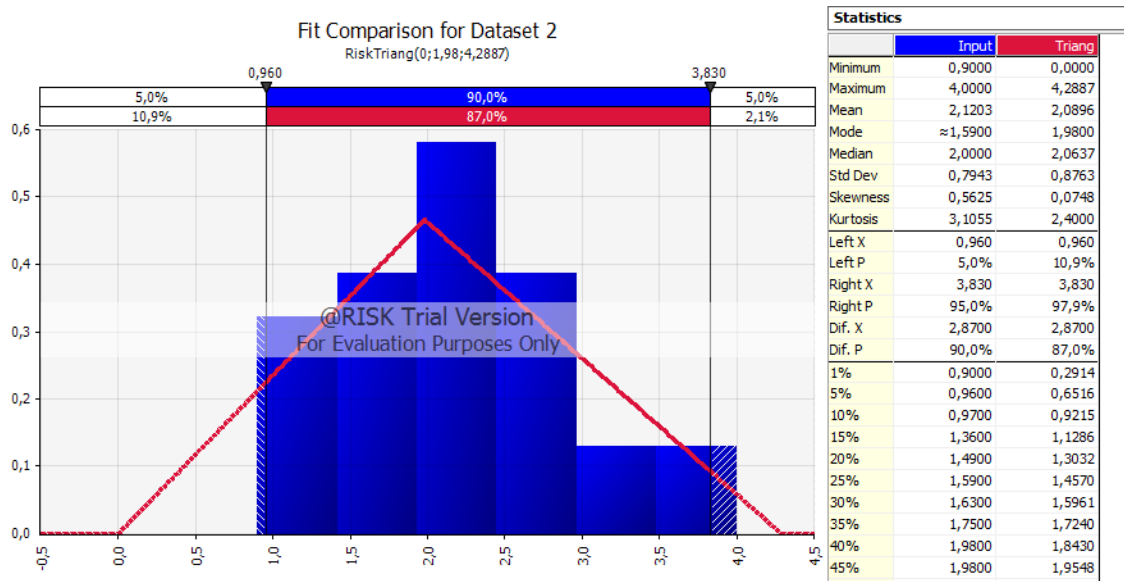


Figura 46 - Histograma da distribuição probabilística mais ajustada (Estatística de Ajuste *Komolgorov-Smirnov*)

A estatística de ajuste utilizada foi *Komolgorov-Smirnov* e, de acordo com o *Ranking do Ajuste*, a distribuição probabilística mais adequada foi a *Triang*.

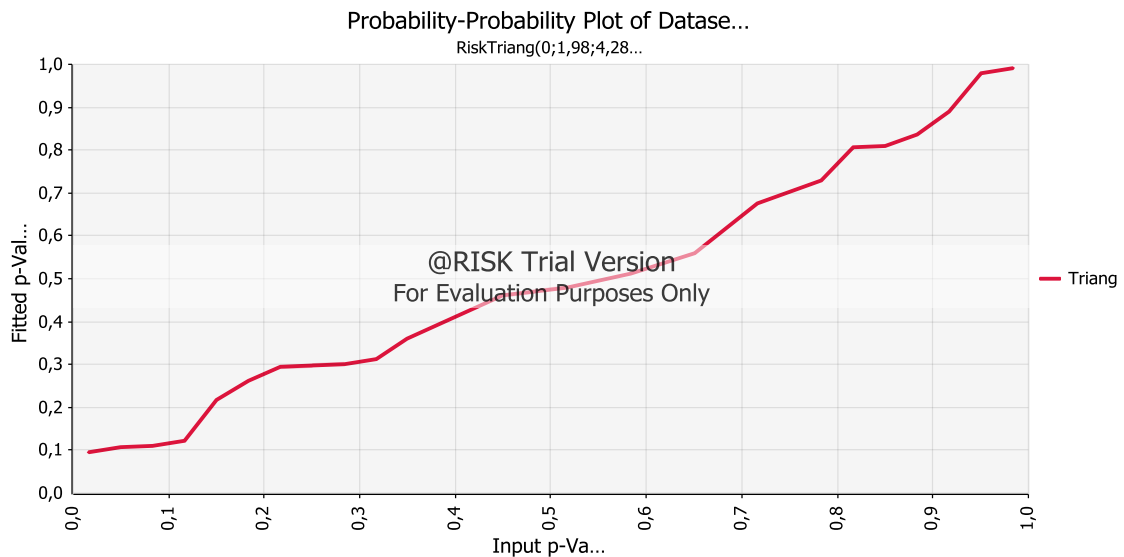


Figura 47 - Gráfico P-P (Estatística de Ajuste *Komolgorov-Smirnov*)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

O gráfico probabilidade-probabilidade (P-P) representado na figura 47 evidencia os valores dos dados da probabilidade ajustada *versus* os valores das probabilidades dos dados iniciais. Como se pode ver existe alguma linearidade na curva acumulada, fazendo um ângulo de aproximadamente 45°, dando, por isso, um resultado do ajuste aceitável.

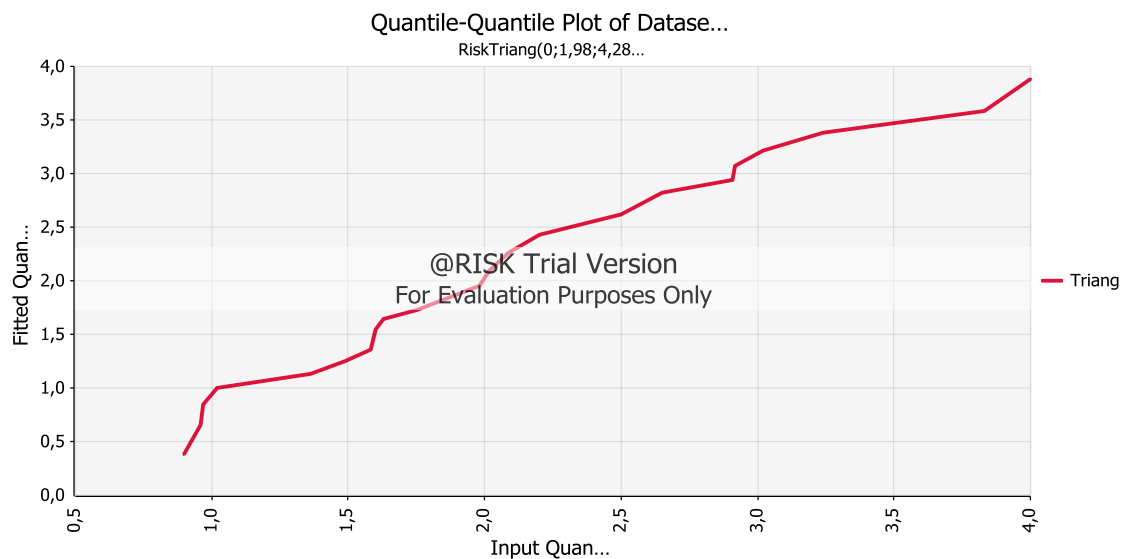


Figura 48 - Gráfico Q-Q (Estatística de ajuste *Komolgorov-Smirnov*)

Este tipo de gráfico, Quantil-Quantil, é mais uma das opções para visualizar os resultados do ajuste. Este gráfico (Q-Q) evidencia os valores dos percentis dos dados inicialmente introduzidos contra os valores dos percentis do resultado. Se o ajuste for “bom”, o gráfico será praticamente linear, descrevendo um ângulo de, aproximadamente, 45°, tal como foi visto no gráfico P-P. O gráfico da figura 48 mostra que existe alguma linearidade apesar de existir uma zona que não é muito constante. No entanto, o resultado obtido pode ser considerado admissível.

Este tipo de gráfico (Q-Q) pode ser visualizado para qualquer estatística de ajuste enunciada anteriormente. No presente trabalho optou-se por mostrar para esta estatística de ajuste - *Komolgorov-Smirnov*.

Depois de obtidos os resultado do ajuste é possível associar a uma célula do *Excel*, ficando essa célula como uma distribuição do *@Risk*.

O botão *Escrever na Célula* na janela *Resultado do Ajuste* copia esse resultado para o *Excel* como uma função de distribuição do *@Risk*.

As opções nesta caixa de diálogo (*Escrever na Célula*) incluem:

- **Selecionar Distribuição.** A função de distribuição a ser copiado para o *Excel* pode ser uma das três estatísticas de ajuste disponibilizadas.
- **Conectar Dados.** A função de distribuição a ser copiada para o *Excel* pode ser automaticamente atualizada. No presente trabalho esta situação não foi selecionada.
- **Função a Adicionar.** Exibe a função do *@Risk* que será adicionada ao *Excel* quando o botão *Copiar* for clicado.

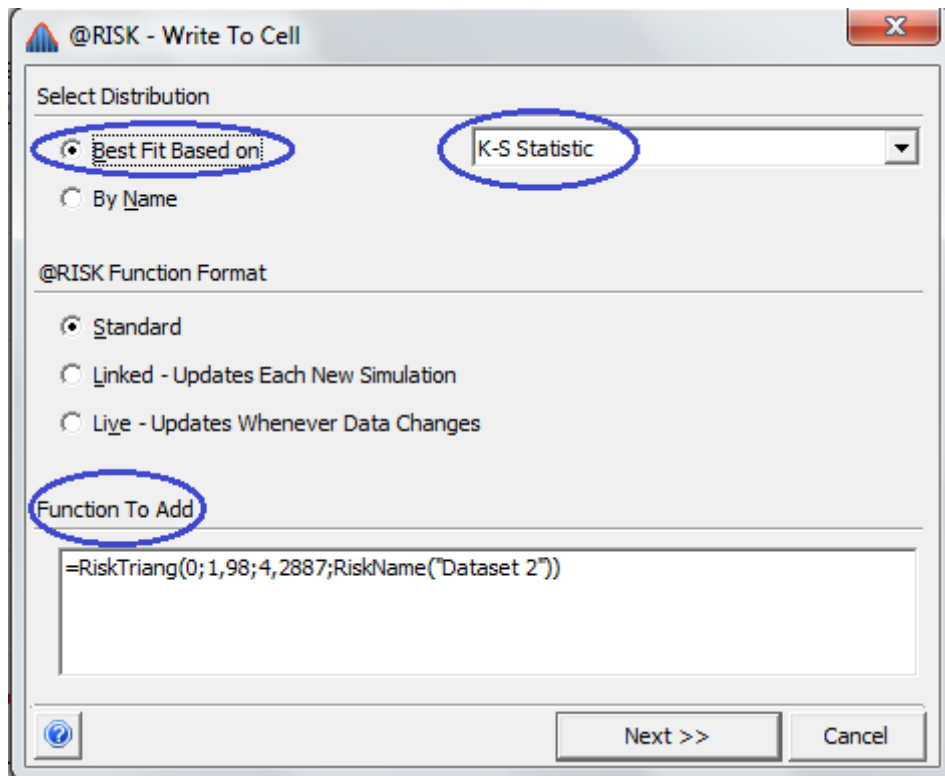


Figura 49 - Botão *Escrever na Célula* (Resultado do Ajuste)

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

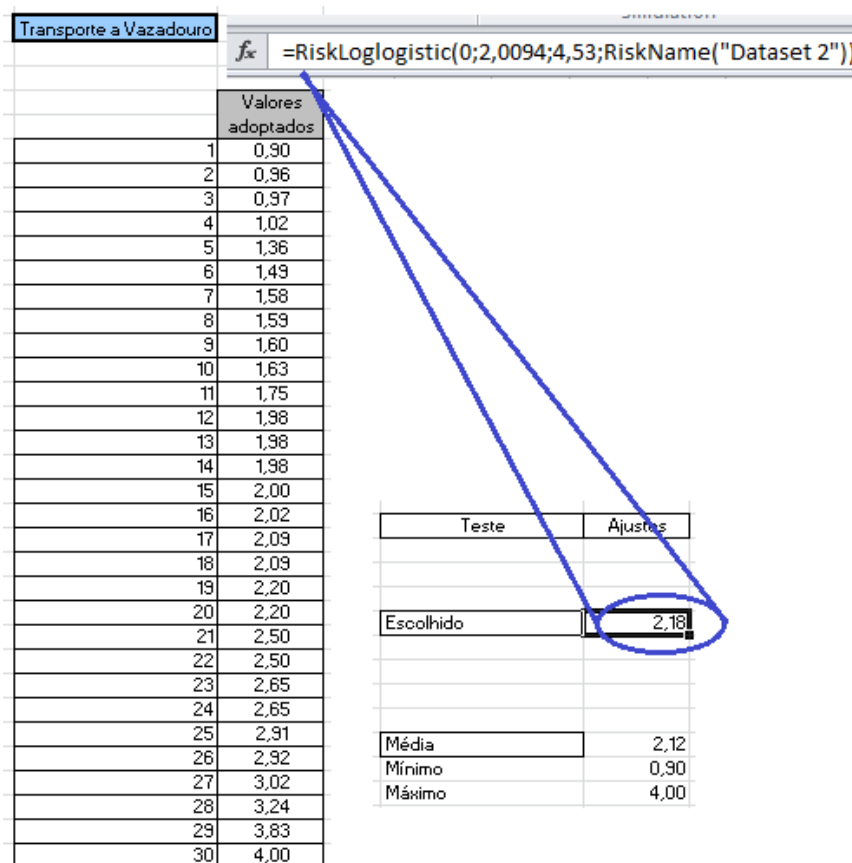


Figura 50 - Valores da amostra após análise de risco e distribuição

É também importante mencionar que as distribuições probabilísticas apresentadas nas figuras são as que melhor traduzem o resultado, e que irão ser colocados no separador *Dados de Base e Estimativa de Custos*.

Esta técnica foi utilizada de forma análoga para outros itens em que era possível a sua utilização, isto é, em que existe uma quantidade de dados de entrada aceitável, isto é, tentar ter sempre um número de dados superior a trinta. Contudo, quantos mais dados forem disponibilizados ou encontrados, melhor. Permitirá, assim, uma otimização dos resultados obtidos.

No entanto, como já foi referido anteriormente, nos itens em que não existem dados suficientes para a aplicação desta técnica utilizaram-se distribuições probabilísticas pragmáticas.

Em suma, esta ferramenta torna-se bastante proveitosa para um grande conjunto de dados, pois através de um processo aleatório fornece-nos os melhores resultados e descrever com precisão todo o processo.

Numa primeira fase a variabilidade atua em vários aspetos como nas percentagens do tipo de escavação, na profundidade média da geratriz, na percentagem de caixas em função da tubagem, na percentagem do tipo de pavimentação e na largura da pavimentação.

Na escavação a introdução da variabilidade traduz um aumento da percentagem da escavação em rocha o que resulta numa diminuição da percentagem em terra, ou seja, existe uma relação inversamente proporcional entre a terra e a rocha.

A variabilidade na profundidade da geratriz pode aumentar ou diminuir a sua profundidade.

No caso da influência das caixas a variação implica um aumento da sua percentagem.

Em relação à pavimentação esta pode variar conforme o utilizador assim o pretender, tendo que se ter em atenção que o que aumenta num tipo de pavimentação terá de diminuir noutro.

Na largura da pavimentação a variabilidade prevê um aumento da sua largura. Esta variabilidade no aumento de largura é bastante compreensível, já que em muitas obras

desta natureza as entidades que detêm a exploração e são responsáveis pelas estradas (EP ou CM) podem colocar entraves à realização da respetiva obra se for feita uma pavimentação total da faixa de rodagem.

Numa segunda fase utilizou-se a ferramenta informática *@Risk* para se associar uma distribuição probabilística às diferentes variáveis. Assim obteve-se uma distribuição que tenta traduzir da melhor maneira o valor da variabilidade.

Antes de se dar início à utilização da ferramenta informática começou-se por definir os limites entre qual a variabilidade pode alternar. De seguida aplicou-se o *@Risk* e obteve-se, assim, a distribuição que melhor descreve a nossa variabilidade.

O quadro número cinco, colocado de seguida, permite visualizar os aspetos que comportam variabilidade (nas percentagens do tipo de escavação, na profundidade média da geratriz, na percentagem de caixas em função da tubagem, na percentagem do tipo de pavimentação e na largura da pavimentação), assim como os limites definidos para essa variabilidade.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Quadro 5 - Valores a introduzir pelo operador no separador *Dados Base e Estimativa Custo*
(com variabilidade)

Características do projecto	Valores	Un.	Variabilidade	Un.	
Diâmetro (DN)	200	mm			
Escavação Terra	90%		-	25%	
R. branda	5%		+	10% (%)	Varição fixa
R. dura	5%		+	15% (%)	Var. RiskTriang(10%;15%;25%)
Aterros - <i>cf</i> Escavação	70%				
Empréstimo	30%				
Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m			
Profundidade média geratriz sup.	1,50	m	+	0 m	
Influência das caixas (caso não seja cenário normal)			+	10% (%)	Var. RiskTriang(5%;10%;20%)
Pavimentação Betuminosa	80%		+	10% (%)	
Cubos	10%		-	5% (%)	
Macadame	10%		-	5% (%)	
Sem pavimentação:	0%		-	0% (%)	
Largura da pavimentação (<i>pr</i> cenário aumento da larg.)			+	1,2 m	Var. RiskTriang(0,8;1,2;4,2)

A variabilidade aplicada alterará automaticamente o mapa de medições.

45	Mapa de cálculo de quantidades em caso de variabilidade das proporções de rocha dura, rocha branda e terra ou da largura de pavimentações																	
46	DN	DE	Larg. vala	Profund. média da gerat. sup.	Profund. da vala	Escavação				Transp. a vazad.	Aterros			Pavimentações				
47						Total OK	Terra 63%	R. branda 15%	R. dura 22%		Almofada areia	C/ produtos da escavaç.	C/ produtos empréstimo	Total OK	Bet. asfalt. 90%	Cubos/Par. 5%	Macadame 5%	S/ pavim. 0%
48			(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)
49	(mm)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)	(m ²)
50	60	0,077	0,65	1,50	1,727	1,123	0,711	0,168	0,243	0,412	0,109	0,498	0,213	3,117	2,805	0,156	0,156	0,000
51	80	0,098	0,65	1,50	1,748	1,136	0,720	0,170	0,246	0,417	0,112	0,504	0,216	3,117	2,805	0,156	0,156	0,000
52	100	0,118	0,65	1,50	1,768	1,149	0,728	0,172	0,249	0,421	0,115	0,509	0,218	3,117	2,805	0,156	0,156	0,000
53	125	0,144	0,65	1,50	1,794	1,166	0,739	0,175	0,253	0,428	0,118	0,517	0,222	3,117	2,805	0,156	0,156	0,000
54	150	0,170	0,67	1,50	1,820	1,219	0,772	0,183	0,264	0,447	0,125	0,541	0,232	3,137	2,823	0,157	0,157	0,000
55	200	0,222	0,72	1,50	1,872	1,352	0,856	0,203	0,293	0,496	0,141	0,599	0,257	3,189	2,870	0,159	0,159	0,000
56	250	0,274	0,77	1,50	1,924	1,489	0,943	0,223	0,323	0,546	0,158	0,660	0,283	3,241	2,917	0,162	0,162	0,000
57	300	0,326	0,83	1,50	1,976	1,632	1,034	0,245	0,354	0,598	0,175	0,724	0,310	3,293	2,963	0,165	0,165	0,000
58	350	0,378	0,88	1,50	2,028	1,781	1,128	0,267	0,386	0,653	0,193	0,789	0,338	3,345	3,010	0,167	0,167	0,000
59	400	0,429	0,93	1,50	2,079	1,931	1,223	0,290	0,418	0,708	0,211	0,856	0,367	3,396	3,056	0,170	0,170	0,000
60	450	0,480	0,98	1,50	2,130	2,087	1,322	0,313	0,452	0,765	0,229	0,925	0,397	3,447	3,102	0,172	0,172	0,000
61	500	0,532	1,03	1,50	2,182	2,252	1,426	0,338	0,488	0,826	0,249	0,998	0,428	3,499	3,149	0,175	0,175	0,000
62	600	0,635	1,34	1,50	2,335	3,117	1,974	0,468	0,675	1,143	0,417	1,382	0,592	3,802	3,422	0,190	0,190	0,000
63	700	0,738	1,44	1,50	2,438	3,506	2,220	0,526	0,760	1,285	0,469	1,554	0,666	3,905	3,514	0,195	0,195	0,000
64	800	0,842	1,54	1,50	2,542	3,920	2,483	0,588	0,849	1,437	0,524	1,738	0,745	4,009	3,608	0,200	0,200	0,000
65	900	0,945	1,65	1,50	2,645	4,351	2,756	0,653	0,943	1,595	0,581	1,929	0,827	4,112	3,701	0,206	0,206	0,000
66	1000	1,048	1,75	1,50	2,748	4,804	3,042	0,721	1,041	1,761	0,639	2,130	0,913	4,215	3,793	0,211	0,211	0,000
67	1100	1,152	1,85	1,50	2,852	5,282	3,345	0,792	1,144	1,937	0,700	2,342	1,004	4,319	3,887	0,216	0,216	0,000
68	1200	1,255	1,96	1,50	2,955	5,777	3,659	0,867	1,252	2,118	0,763	2,561	1,098	4,422	3,980	0,221	0,221	0,000
69	1400	1,462	2,16	1,50	3,162	6,836	4,330	1,025	1,481	2,573	0,894	2,984	1,279	4,629	4,166	0,231	0,231	0,000
70	1500	1,565	2,27	1,50	3,265	7,395	4,684	1,109	1,602	2,887	0,963	3,156	1,353	4,732	4,259	0,237	0,237	0,000
71	1600	1,668	2,37	1,50	3,368	7,975	5,051	0,399	0,399	3,219	1,034	3,329	1,427	4,835	4,351	0,242	0,242	0,000
72	1800	1,875	2,58	1,50	3,575	9,206	5,830	0,460	0,460	3,943	1,182	3,684	1,579	5,042	4,538	0,252	0,252	0,000
73	2000	2,082	2,78	1,50	3,782	10,522	6,664	0,526	0,526	4,743	1,339	4,045	1,733	5,249	4,724	0,262	0,262	0,000

Figura 51 - Mapa de Medições elaborado atendendo à variabilidade

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Na figura 52 é apresentado o quadro que foi mostrado anteriormente, mas onde foram introduzidas três colunas que atendem à variabilidade. Estas três colunas são calculadas de maneira análoga ao anterior, em que a única alteração consiste nas quantidades que são diferentes do quadro apresentado previamente. Estas quantidades são extraídas de um novo mapa de medições que se altera conforme as variabilidades desejadas.

	Custo unitário	Unid.	Descrição	Quant.	Custo por m	Custo parcial	Valores atendendo ao risco		
							Quant.	Custo por m.conduz	Custo parcial
1 Escavação em terra		l/m ³		1216	0,00	0	0,856	0,00	0
2 Escavação em terra/rocha branda	4,48	l/m ³		0,068	0,30	3,026	0,203	0,31	9,077
3 Escavação em rocha dura	11,60	l/m ³		0,068	0,78	7,841	0,293	3,40	33,980
4 Transporte a vazadouro	2,18	l/m ³		0,180	0,39	3,913	0,496	1,08	10,804
5 Aterro com areia (almofada)	9,48	l/m ³		0,141	1,33	13,316	0,141	1,33	13,316
6 Aterro c/ material da próp. vala	2,48	l/m ³		0,820	2,03	20,320	0,599	1,48	14,841
7 Aterro com produtos de empréstimo	4,36	l/m ³		0,352	1,53	15,321	0,257	1,12	11,190
8.a Tubagem e acessórios em vala PEAD 200	31,64	l/m			31,64	316,431		31,64	316,431
8.b Tubagem e acessórios em vala PEAD 250	67,75	l/m			67,75	677,517		67,75	677,517
8.c Tubagem e acessórios em vala PEAD 300	72,32	l/m			72,32	723,183		72,32	723,183
8.d Tubagem e acessórios em vala PEAD 400	51,19	l/m			51,19	511,933		51,19	511,933
9.a Acessórios em caixas e caixas PEAD 200	43,63%	%	% acess. na tubagem		43,63%	138,057	11,67%		174,974
9.b Acessórios em caixas e caixas PEAD 250	37,64%	%	% acess. na tubagem		37,64%	285,029	11,67%		334,072
9.c Acessórios em caixas e caixas PEAD 300	22,15%	%	% acess. na tubagem		22,15%	160,173	11,67%		
9.d Acessórios em caixas e caixas PEAD 400	38,24%	%	% acess. na tubagem		38,24%	195,780	11,67%		
10 Caixa de Pavimento	56,60%	%	% Cx.pav.nototal pav.		56,60%	35,187,24			96,729,06
11 Pavimentação c/ betuminoso	5,18	l/m ²		0,898	4,65	46,480,72	2,870	14,86	146,607,81
12 Pavimentação c/ cubos/paralelos	6,36	l/m ²		0,112	0,71	7,130,42	0,159	1,01	10,132,15
13 Pavimentação c/ macadame	7,63	l/m ²		0,112	0,86	8,557,12	0,159	1,22	12,159,45
14 Estaleiros e trabalhos acessórios	14,50%	%	%no total rest.custos						

Figura 52 - Determinação dos custos parciais dos variados itens com valores atendendo ao risco

Na figura 53, como podemos observar, é apresentado o quadro do separador *Dados Base e Estimativas de Custo* em que foi introduzida mais uma coluna para a variabilidade. Os valores desta coluna são calculados de maneira análoga aos da coluna já existente.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Partes do Trabalho	Descrição dos trabalhos e identificação de cenários de possível variação	Condições	Custos parciais considerando:		
			Alterações tendo em vista os riscos do projecto		
PEP 1	Movimento de terras (escavações, aterros e transp. vazadouro)		Mín. da % r.	10%	
(itens 1 a 7)	Custo dos trab. de mov. terras, nas condições do projecto	115,172	Moda da %	15%	
	Cenário 1 - Aumento de custo do mov. terras, em caso de mais rocha dura e menos terra		Mín. da % r.	25%	122,453
			Dist. da % r.	17%	
			% r. branda	10%	
			% Terra	27%	
PEP 2	Tubagem, acessórios em vala e órgãos de manobra (caixas e respectivos acessórios)		Mín. aumer	5%	
(itens 8 e 9)	Custo de tubagens, acessórios e caixas, nas condições do projecto	932,545	Moda aumer	10%	1,011,589
	Cenário 2 - Aumento de custo dos acessórios em caixas, em caso de maior peso das Caixas, na obra		Mín. aumer	20%	
			Dist. aumer	12%	
PEP 3	Pavimentações		Mín. aumer	0.8	
(itens 10 a 13)	Custo dos trab. de pavimentação, nas condições do projecto	97,355	Moda aumer	1.2	
	Cenário 3 - Aumento de custo das pavimentações, em caso de aumento das larguras de pavimentação		Mín. aumer	4.2	267,628
			Dist. aumer	2.1	
PEP 4 (it)	Estaleiro e trabalhos acessórios	166,017			203,220

Figura 53 - Variáveis de entrada com incerteza associada

Como já foi descrito previamente, as variáveis de entrada com incerteza associada, no presente trabalho, são os preços das tubagens, dos acessórios em vala e dos órgãos de manobra, da movimentação de terras (subdividida em escavação em sole e escavação em rocha) e o preço das pavimentações. Estes são os *inputs* que comportam variabilidade. Os parâmetros que permitem definir as distribuições tradutoras da variabilidade de cada *input*, encontram-se em células adjacentes – P30:P42 (exceto P34, P35, P39, P43) – e, face às distribuições adotadas, são os seus valores mínimo, máximo e moda de cada um.

A figura 54 mostra o botão da barra de ferramentas do *@Risk* para aceder à caixa de diálogo *Define Distributions*, que permite definir distribuições probabilísticas que se pretendam inserir numa célula. Esse botão encontra-se na barra de ferramentas do *@Risk*, na parte superior do visor e junto das barras de ferramentas do Excel.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO



Figura 54 – Botão para chamar a caixa de diálogo *Define Distributions*

A figura 55 mostra a caixa de diálogo *Define Distributions*, preenchida, na respectiva folha de cálculo, com as definições para a distribuição inserida nas células P33 (percentagem de escavação em terra, com o mínimo, moda e máximo constantes das células P30, P31, P32, respetivamente). Vê-se ainda, no editor do Excel, a fórmula do *@Risk* resultante da distribuição adotada. Neste caso, tratando-se de uma distribuição triangular, vemos então no editor do Excel: [=RiskTriang(P30;P31;P32)].

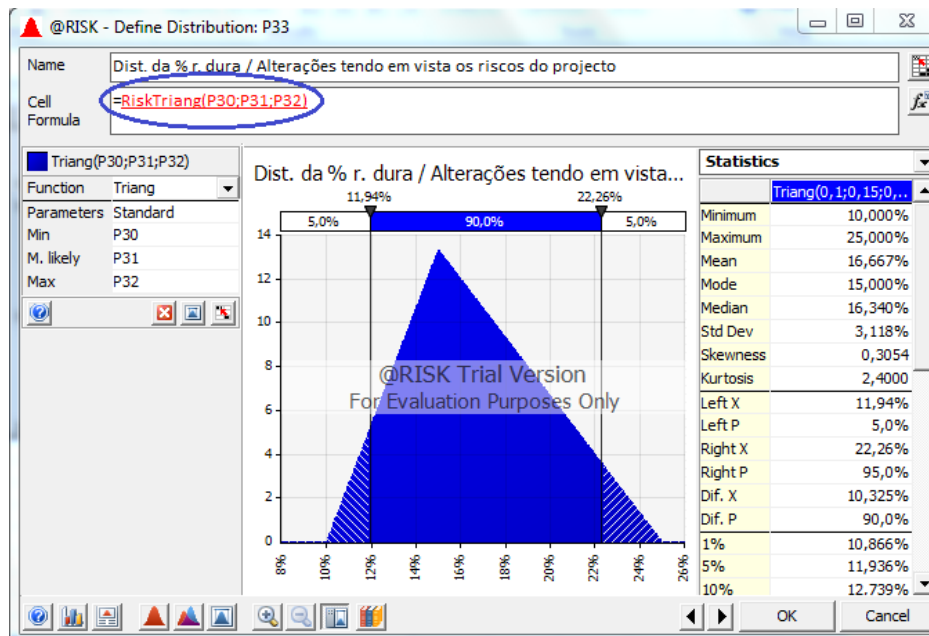


Figura 55 - Caixa de diálogo *Define Distributions* preenchida

As restantes distribuições são introduzidas da mesma forma, para os preços das tubagens e da pavimentação, adotando-se, igualmente, uma distribuição triangular.

O modelo criado no *@Risk*, como se poderá perceber mais à frente, terá a descrição dos *inputs* e *outputs* definidos na folha de cálculo elaborada. Neste caso foram definidos quatro *outputs*. Esses *outputs* são:

- Custo Total nas condições de projeto;
- Custo Total se ocorrerem os vários riscos equacionados / Custo total com análise de risco;
- Custo adicional com análise de risco;
- Custo unitário se ocorrerem os vários riscos equacionados / Custos por metro linear com análise de risco.

A figura 56 ilustra o botão *Add Output*, utilizado para estabelecer que determinada célula contém um resultado ou *output* (variável de saída) a analisar. Num modelo de análise de decisão é possível ter vários *outputs*. Neste exemplo concreto, temos as quatro variáveis de saída já referidas anteriormente.



Figura 56 - Botão *Add Output*

A título de exemplo pode referir-se o Custo Adicional com Análise de Risco.

Já com a fórmula de cálculo (*Excel*) introduzida na célula em causa (O49), colocar o cursor nessa célula e picar o botão *Add Output*. A aplicação *@Risk* adiciona à fórmula que lá se encontrava – [=SOMA(R30:R44)-N48] – a identificação “RiskOutput” – resultando daí o seguinte conteúdo final: [=RiskOutput("Custos adicional c/ análise de risco")+SOMA(R30:R44)-N48]. Este é o modo de definir como variável de saída, ou *output*, uma das condições do projeto.

3.8. PREPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

Pode passar-se agora à preparação da simulação que se pretende correr. Para tal, usa-se o botão apresentado na figura 57 para evocar a caixa de diálogo *Simulation Settings*.

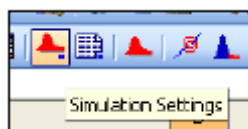


Figura 57 – Botão para aceder à caixa de diálogo *Simulation Settings*

Este botão abre a respetiva caixa de diálogo, que disponibiliza vários separadores com os parâmetros a definir para a simulação pretendida. Nas figuras seguintes, podem ver-se os principais parâmetros que interessa gerir para definir uma simulação, contidos nos separadores: *General (Iterations)*, *Sampling* e *View*.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

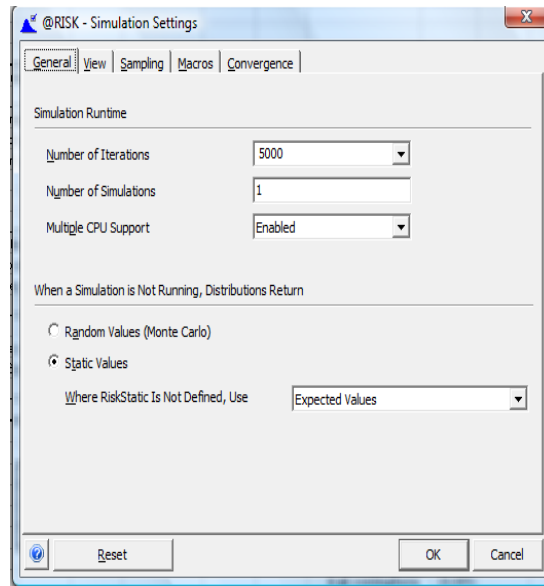


Figura 58 - Definição das características das iterações pretendidas para a simulação

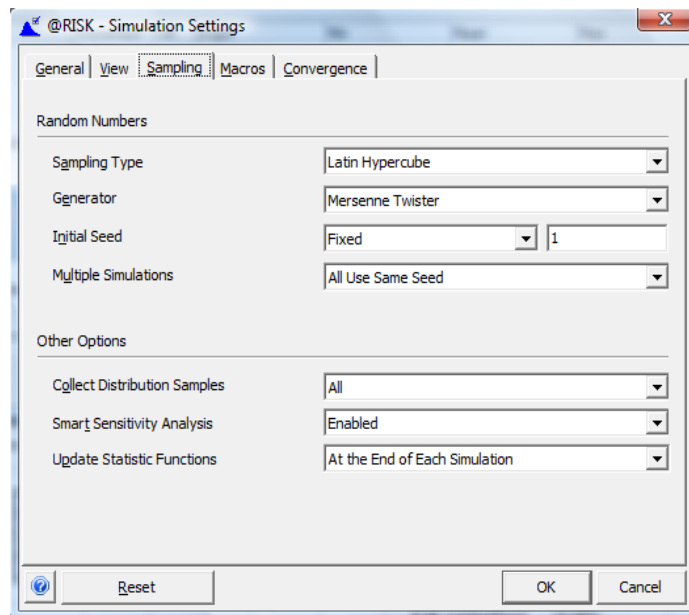


Figura 59 - Determinação dos parâmetros relativos à definição da amostragem

Na figura 58 e figura 59 é apresentada a caixa de diálogo dos parâmetros da simulação. No que diz respeito à definição do número de iterações para a simulação pretendida escolheu-se o total de 5000 iterações. No que toca à definição da amostragem escolheu-se o método do Hipercubo Latino em detrimento da de Monte Carlo e fixou-se uma semente (igual a 1), o que é por vezes vantajoso quando se comparam resultados, posteriormente, de sucessivas simulações. No separador *View* é onde se programa a atualização dos dados em cada 500 iterações e a monitorização da convergência dos resultados dos outputs.

Antes de chegar a uma convergência de resultados o *@Risk* abre uma janela que indica o progresso das várias iterações que estão a ser realizadas.

3.8.1. REALIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS SEUS RESULTADOS

Neste ponto, é agora possível correr uma simulação. A figura 60 ilustra o botão da barra de ferramentas do *@Risk* que permite iniciar a simulação parametrizada antes.

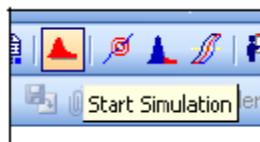


Figura 60 – Botão *Start Simulation*

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Após uma simulação com 5000 iterações, obtiveram-se os elementos apresentados em seguida acerca do dos *outputs* definidos neste modelo.

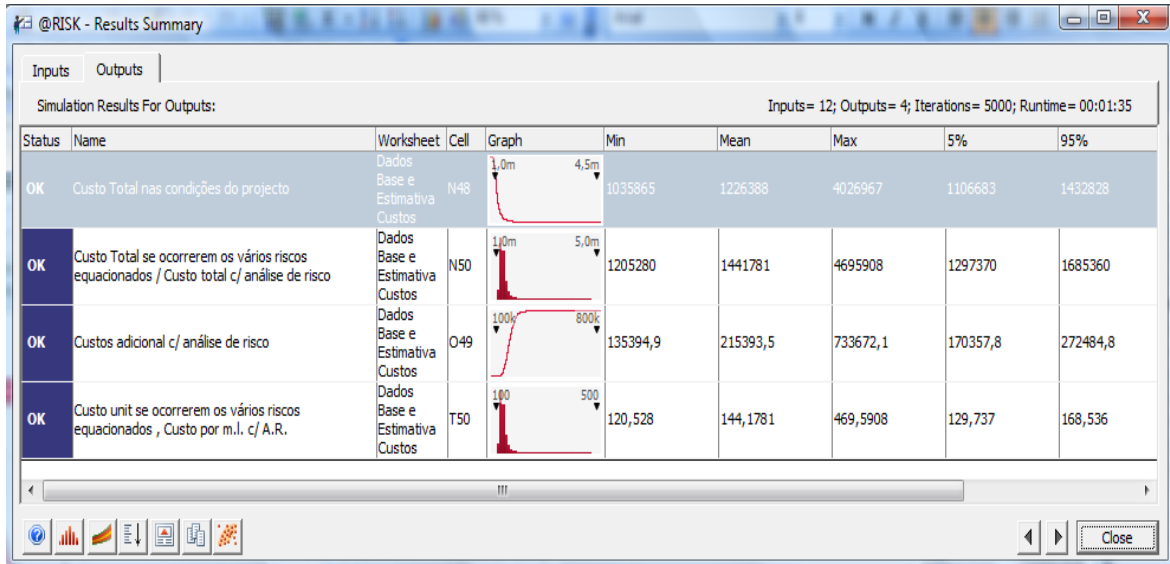


Figura 61 - Resultado da simulação efetuada

A figura 61, que apresenta os resultados da simulação, permite verificar que houve convergência (significa, que após a realização da simulação, foram encontrados valores aceitáveis para as diferentes variáveis de saída definidas previamente) nos valores dos quatro outputs do modelo, no final da simulação efetuada.

Depois de apurada e visualizada a convergência dos resultados, através do quadro disponibilizado pelo *@Risk*, o *software* irá colocar os resultados encontrados nas respetivas células, isto é, onde foram definidas as variáveis de saída (*outputs*). Poderá ver-se na figura seguinte o quadro definido no separador *Dados Base e Estimativas de Custos* atualizado.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Partes do Trabalho	Descrição dos trabalhos e identificação de cenários de possível variação	Custos parciais considerando:			
		Condições	Alterações tendo em vista os riscos do projecto		
PEP 1 (itens 1 a 7)	Movimento de terras (escavações, aterros e transp. vazadoiro) Custo dos trab. de mov. terras, nas condições do projecto Cenário 1 - Aumento de custo do mov. terras, em caso de mais rocha dura e menos terra	115,172	Mín. da % r. 10% Moda da % r. 15% Máx. da % r. 25% Dist. da % r. 17% % r. branda 10% % Terra 27%		122,453
PEP 2 (itens 8 e 9)	Tubagem, acessórios em vala e órgãos de manobra (caixas e respectivos acessórios) Custo de tubagens, acessórios e caixas, nas condições do projecto Cenário 2 - Aumento de custo dos acessórios em caixas, em caso de maior peso das Caixas, na obra	932,545	Mín. aumer 5% Moda aumer 10% Máx. aumer 20% Dist. aumer 12%		1,011,589
PEP 3 (itens 10 a 13)	Pavimentações Custo dos trab. de pavimentação, nas condições do projecto Cenário 3 - Aumento de custo das pavimentações, em caso de aumento das larguras de pavimentação	97,355	Mín. aumer 0,8 Moda aumer 1,2 Máx. aumer 4,2 Dist. aumer 2,1		267,628
PEP 4 (it)	Estaleiro e trabalhos acessórios	166,017			203,220

Quadro Resumo das Estimativas de Custos (I)			
	Custos nas	Custos adicional of análise de risco	Custo / metro linear
Custo Total nas condições do projecto	1,311,090		131
Custo adicional para incluir contingência		293,800	
Custo Total se ocorrerem os vários riscos equacionados		1,604,890	160
% pl contingência	22,41%		

Figura 62 - Custos atendendo aos riscos

No final do quadro, retira-se o valor do custo adicional que atende aos diversos riscos e assim obtém-se a estimativa do valor global da obra, já com os riscos previstos.

São apresentados, como se poderá ver mais à frente, gráficos referentes à simulação de análise de risco efetuada, obtidos durante a realização de simulações efetuadas com referida aplicação.

Verificada a convergência (figura 61), o *@Risk* resume os resultados do modelo e exhibe gráficos em miniatura e estatísticas resumidas para as células de saída que foram referidas previamente e as distribuições dos dados de entrada. Os resultados da simulação são, como já foi dito, expressos em gráficos. A janela com os resultados (figura 62) mostra uma miniatura dos gráficos obtidos, e permite expandir para uma outra janela o gráfico que for selecionado.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Este tipo de gráfico pode ser exibido de muitas formas distintas como um histograma padrão ou em forma de distribuição de frequência. As distribuições dos resultados também podem ser exibidas em forma cumulativa. De seguida, irá ser mostrado alguns tipos de gráficos que esta ferramenta informática disponibiliza.

A partir da janela de resultados, pode obter-se o histograma da distribuição probabilística dos vários *outputs*.

Seleciona-se a opção “Histograma” no menu disponibilizado ao “clique” o botão direito do rato sobre o *output* pretendido.

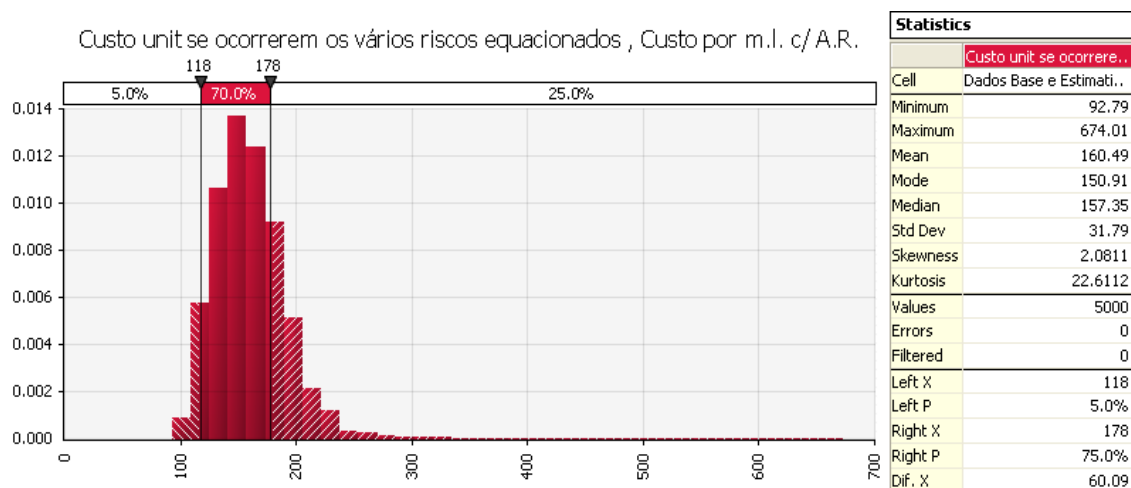


Figura 63 - Histograma da distribuição probabilística da variável – Custo por m.l. com análise risco (PEAD 200)

Na Figura 63, que apresenta o histograma da distribuição probabilística da variável – *Custo por m.l. com análise risco* observa-se que a média da distribuição para o custo por metro linear é próxima do valor determinado na folha de cálculo, após se introduzir a variabilidade associada aos preços e aos riscos do projeto.

Com a ajuda dos delimitadores disponibilizados – 2, é possível retirar logo daí algumas conclusões.

Os delimitadores exibidos nestes histogramas ou gráficos cumulativos podem ser movidos, o que irá fazer com que novas probabilidades sejam calculadas. Quando forem movidos, as novas probabilidades calculadas são mostradas na barra do delimitador acima do gráfico. Este tipo de análise é útil para saber, por exemplo, qual será a probabilidade de um resultado ocorrer.

Neste caso, os delimitadores visíveis nesta figura dão algumas indicações particulares que se devem ter atenção e, assim, avaliar, por serem importantes para a análise de risco. O da direita traduz, neste caso, que para termos uma probabilidade de 75% do custo por metro de conduta não ultrapassar um dado valor, esse valor será da ordem dos 178 €/m. É de notar que essa seria uma probabilidade que daria já bastante confiança para uma tomada de decisão sobre os custos da respetiva obra. É habitualmente considerado excessivo pretender trabalhar acima desses valores de probabilidade, ou seja acima de um nível de confiança dessa ordem. Por outro lado, da mesma figura também se conclui que o custo tem uma probabilidade de 95% de ultrapassar o valor de 118 €/m, o que é uma probabilidade muito alta.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

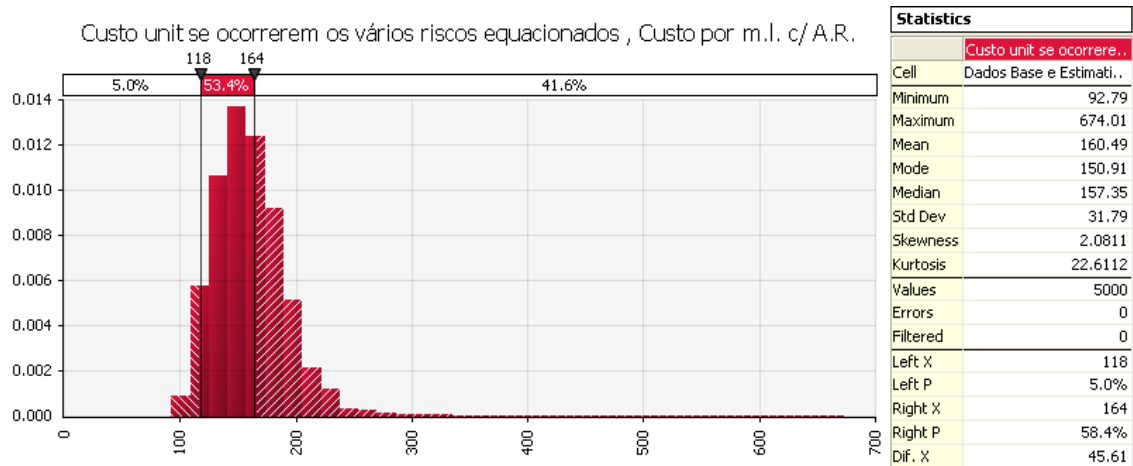


Figura 64 - Histograma da distribuição probabilística da variável Custo por m.l. com análise risco - PEAD 200

Ainda com o mesmo histograma da figura anterior (figura 63), tirando partido dos delimitadores como se exemplifica na figura 64, é possível retirar novas ilações.

Na figura 64 – Histograma da distribuição probabilística da variável Custo por m.l. com análise risco – pode ver-se que a média da distribuição tem uma probabilidade de cerca de 58% de ser atingida (distribuição enviesada). Além dessa característica, o gráfico permite confirmar visualmente que os custos unitários se ocorrerem os vários riscos equacionados em estudo terá um custo entre cerca de 118€ e 164€. Pode dizer-se, ainda, que é um valor ainda numa gama de confiança intermédia, na qual ainda seria possível tomar uma decisão.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

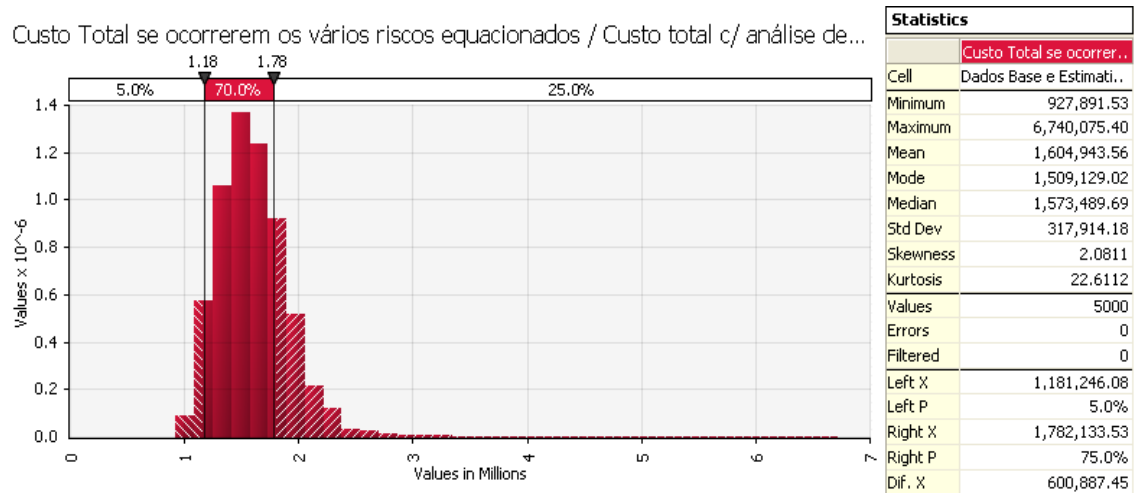


Figura 65 - Histograma da distribuição probabilística Custo total com análise de risco - PEAD

200

No que diz respeito ao custo total da obra, considerando a análise de risco efetuada, pode ver-se na figura 65, o histograma fornecido pelo *@Risk*, relativo à distribuição probabilística dessa variável. Na falta de mais informação, naturalmente tomaríamos para estimativa do custo da obra o valor da média da distribuição, que é de cerca de 1.605 mil euros e semelhante ao valor calculado na folha de cálculo (após se introduzir toda a variabilidade no modelo). No entanto, caso se pretenda alguma confiança adicional, pode considerar-se, para uma probabilidade de 75% do valor da obra não ser ultrapassado, uma estimativa do custo que ronda os 1.782.000€ - valor ligeiramente superior à média.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

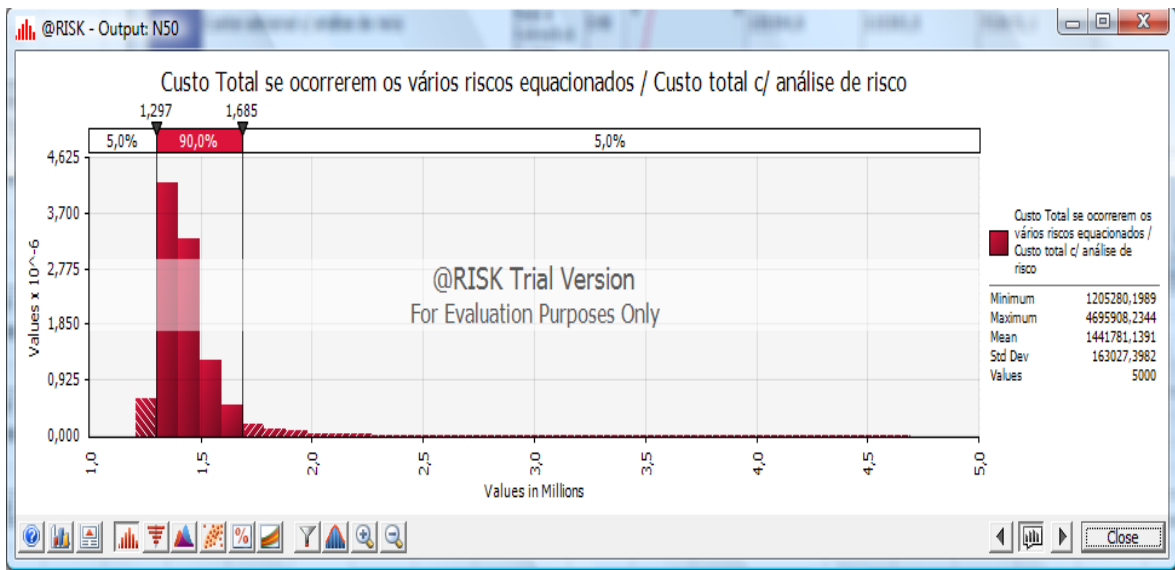


Figura 66 - Histograma da distribuição probabilística Custo total com análise de risco

Comparativamente ao histograma da figura anterior pode considerar-se algo excessivo trabalhar com valores de probabilidade desta ordem. No entanto, esta abordagem permite uma melhor estimativa e com maior grau de confiança por parte do utilizador. Assim, através da análise do histograma da figura 66 é possível visualizar que o custo tem uma probabilidade de 95% de ultrapassar o valor de 1.297 mil euros, o que é uma probabilidade extremamente alta.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

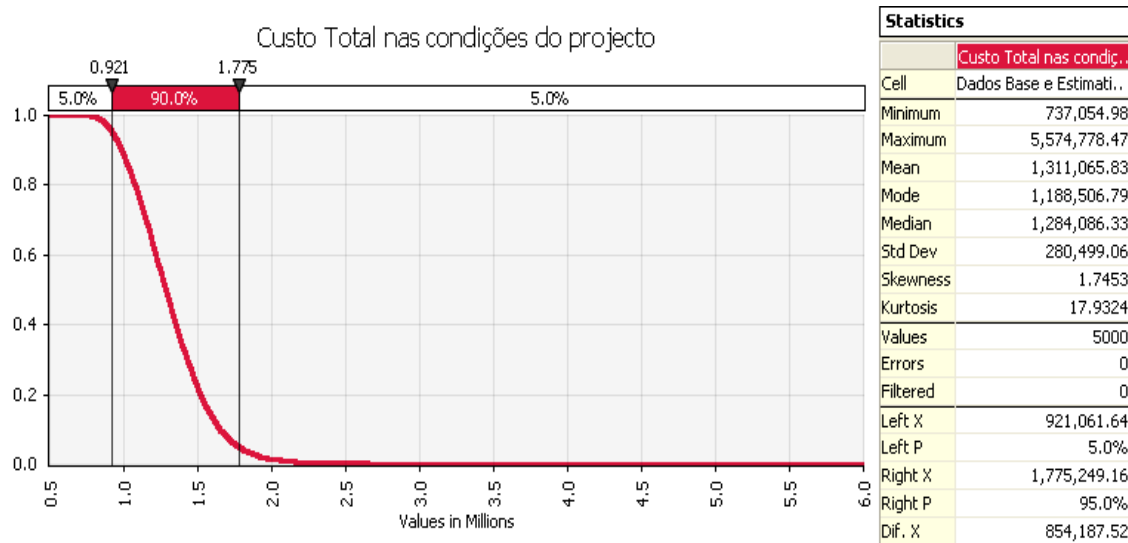


Figura 67 - Curva acumulada descendente da distribuição obtida para o Custo Total da Obra

Quanto ao custo total da obra nas condições do projeto (sem a variabilidade equacionada para os riscos específicos da obra, mas apenas a variabilidade dos preços), extraiu-se do programa o gráfico acumulado descendente apresentado na figura 67, relativo a essa variável de saída (*output*). Constata-se que, sem incorporar a referida incerteza específica da obra, a média da distribuição corresponde a um custo de 1.311 mil euros para a obra e que a probabilidade desta se realizar por um valor entre 922 e 1,76 milhões de euros era de 90%. Com esta curva, também é naturalmente possível identificar outras probabilidades associadas à variável em causa, da mesma forma que se fez através dos histogramas, nos casos apresentados atrás, de outras variáveis. De seguida apresenta-se o histograma que nos permite tirar, igualmente, estas informações.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

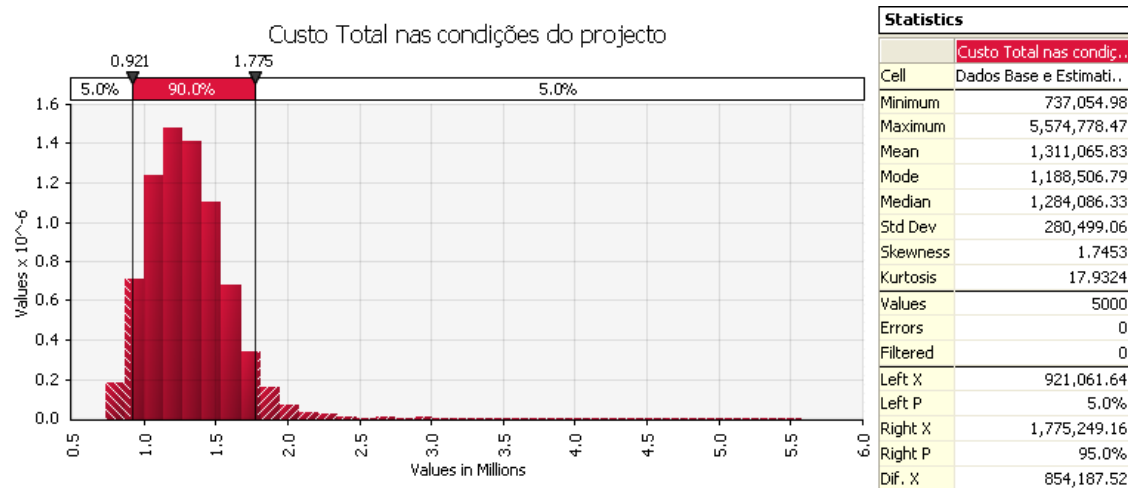


Figura 68 - Histograma da distribuição probabilística da variável – Custo total da obra

Como referido previamente, o histograma da figura 68 permite retirar as mesmas conclusões que a curva acumulada descendente, como se visualizou na figura anterior. Pode visualizar-se que, sem incorporar a referida incerteza específica da obra, a média da distribuição corresponde a um custo de 1.311 mil euros para a obra e que a probabilidade desta se realizar por um valor entre 922 e 1,76 milhões de euros era de 90%. Pode, igualmente, dizer-se que é possível visualizar que o custo total nas condições de projeto tem uma probabilidade de 95% de ultrapassar o valor de 922.061 euros, o que é uma probabilidade extremamente alta.

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

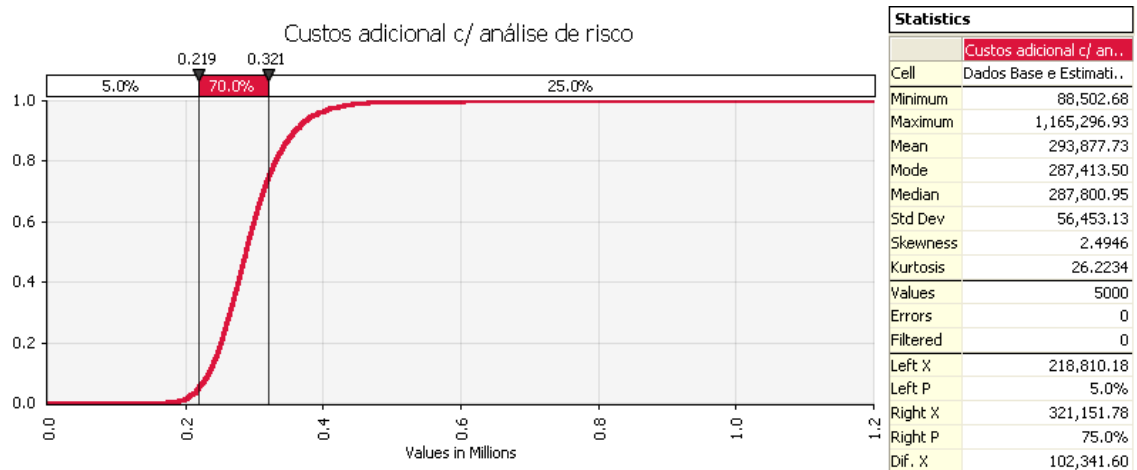


Figura 69 - Curva acumulada ascendente da distribuição obtida para o Custo Adicional da obra com análise de risco

O gráfico da figura 69 corresponde à curva acumulada ascendente da distribuição da análise de risco para a variável relativa ao custo adicional decorrente da inclusão dos riscos específicos da obra. Funciona da mesma forma que os anteriores e permite ver, através da posição escolhida aqui para os delimitadores, que há uma probabilidade de 75% dos custos adicionais devidos aos referidos riscos não ultrapassarem um valor de cerca de 322.000 euros, sendo que a média da sua distribuição é ligeiramente superior à calculada no modelo, antes da simulação (293.877 euros contra 293.800 euros). Segundo informação do orientador, tal por vezes acontece, até com maior distanciamento, nas análises de risco.

Gráfico Tornado

Este gráfico é assim denominado pela semelhança com o fenómeno meteorológico. Este tipo de gráfico permite avaliar qual será o *input* que terá mais impacto nos resultados da simulação. Os que tem maior influência são os que possuem barras maiores, isto é, evidencia as variáveis do problema que maior influência tem na distribuição probabilística do resultado.

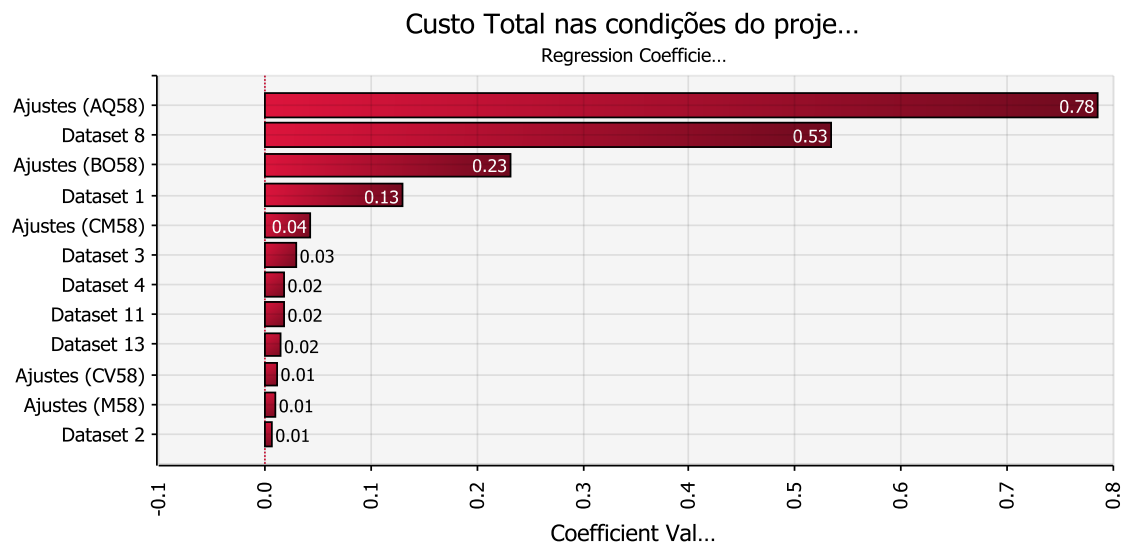


Figura 70 - Gráfico tornado da distribuição obtida para o Custo Adicional da obra com análise de risco

Na figura 70 é apresentado um gráfico com muito interesse e que o *@Risk* disponibiliza. Permite identificar quais os *inputs* com maior influência nos valores da referida variável de saída (ou *output*). Neste caso, conclui-se que a incerteza associada à variável relativa ao *Fornecimento e Assentamento da Tubagem PEAD 250* tem uma grande influência no custo total da respetiva obra, seguindo-se a percentagem que os custos de *Estaleiros*

e acessórios podem representar no custo total da respectiva obra, cuja variabilidade foi traduzida na célula P38 do modelo, é o *input* com mais incidência no valor final que os custos adicionais em estudo podem atingir.

Naturalmente podiam obter-se estes gráficos, bem com outros do género que a ferramenta disponibiliza, para todos os *outputs*, não se apresentando aqui porque se tornaria um exercício repetitivo.

3.9. REDISTRIBUIÇÃO DOS ITENS DE CUSTO

Segundo Vose (VOSE, 2000), uma das perguntas que a gestão, muitas vezes, faz é como o orçamento e um valor para a contingência são distribuídos de volta entre os itens de custo. Este conhecimento vai permitir e ajudar o gestor do projeto, a saber como está a progredir o projeto. A abordagem proposta é de distribuir, para trás, os custos orçamentais e para contingência, de modo a que os números associados a cada item de custo tenham a mesma probabilidade de não serem ultrapassados.

Tendo em atenção o referido em Vose (2000), a utilização deste tipo de abordagem permitirá dar a cada item de custo a mesma probabilidade de entrar no seu item orçamental ou até mesmo no seu item orçamental mais a contingência, e evitar que alguns itens de custo sejam dadas metas quase impossíveis de cumprir.

Pode dizer-se que o orçamento é o custo que uma empresa, de forma realista, vai tentar alcançar e que o valor para a contingência é a quantidade adicional colocada de lado em caso de necessidade.

De acordo com o referido autor, a fim de ser possível distribuir o orçamento e contingência para os vários itens de custo, o custo de cada item deverá ser indicado como um dado de saída (*output*) do modelo.

Os dados gerados a partir de cada item de custo devem ser tratados como outputs e serão colocados de forma crescente num separador de uma folha de cálculo. Em seguida, os custos gerados (através de uma simulação) para todos os itens, ou seja, os referidos outputs, são somados, para cada linha, de forma a podermos obter o custo total do

projeto correspondente a cada uma das iterações da simulação efectuada (por exemplo, 5000 iterações).

Em seguida, o valor correspondente ao montante adotado como valor orçamental (isto é, uma probabilidade de 75% de não ser ultrapassado) e os valores relativos a cada item de custo parcial são procurados na coluna somatório (**Coluna AV**) de custos, e os valores que aparecem na mesma linha para cada item de custo são, então, tomados como os valores aceitáveis para os itens de custo, como limites a não ultrapassar (para efeitos de controlo).

Um número elevado de iterações permite saber com maior exatidão entre que valores os itens de custo podem variar.

Apresenta-se em seguida, esta abordagem aplicada ao caso de estudo analisado neste trabalho.

Como foi descrito anteriormente, e transportando os dados (fornecidos por mais uma das ferramentas do *@Risk – Simulation Data*) para uma nova folha de cálculo, é possível perceber, de forma mais clara, a metodologia descrita por Vose (2000).

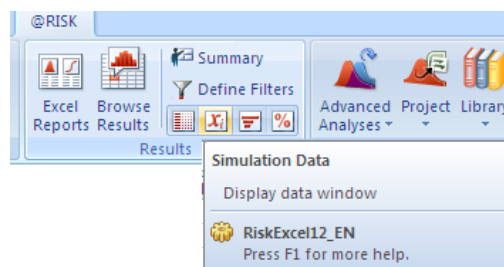


Figura 71 - Botão *Simulation Data*

O primeiro passo consiste em considerar os custos parciais dos vários itens de custo como sendo um dado de saída, isto é, um output. É de realçar que apenas foram tidos em conta os itens de custo que sejam variáveis com incerteza associada, caso contrário não existe qualquer vantagem em tratar valores determinísticos como outputs.

Após ter sido executado este processo nos vários itens de custo, através do botão disponível no *@Risk* – *Add Output*, deu-se início à simulação (as opções referentes à simulação – *Simulation Settings* – são as mesmas que já tinham sido definidas no capítulo anterior).



Figura 72 - Botão *Add Output*

De seguida, e com a Simulação de Monte Carlo já finalizada, o *@Risk* possibilita, através da ferramenta *Simulation Data*, visualizar todos os valores gerados nas 5000 iterações, que foram considerados como output.

É de notar que nestas 5000 iterações, os custos parciais dos vários itens surgem como *output*, conforme tinha sido definido anteriormente.

Após ter acesso a todos os valores das 5000 iterações e colocados os custos dos vários itens por ordem crescente, pode obter-se o custo total do projeto através dos custos gerados (Simulação de Monte Carlo), somando todos os itens de cada linha, ou seja, de cada iteração realizada (Figura 73).

Posto isto, o orçamento é procurado na coluna de somatório de custos (**Coluna AV8:AV5007**), e os valores que aparecem na mesma linha correspondem a cada item de custo.

Admitindo o modelo desenvolvido neste trabalho para a análise de risco, existe uma probabilidade de 50% de que o orçamento será suficiente e de 75% de probabilidade de que os custos totais (se ocorrerem os vários riscos equacionados) não excedam o orçamento mais o valor para a contingência. Assim, através da simulação realizada, encontrou-se o valor correspondente ao Custo Total se ocorrerem os vários riscos equacionados com a probabilidade de 75% da obra não exceder os 1.782.000€ e comparou-se com o somatório dos custos parciais, anteriormente considerados como outputs. Foi possível verificar que os preços encontrados são semelhantes. Os valores que aparecem na mesma linha para cada item de custo são, então, assumidos como os valores limite para os itens de custo.

Isto é importante para a fase de execução do empreendimento, com vista a fazer o controlo adequado dos custos de cada item, à medida que os trabalhos vão sendo desenvolvidos.

CONCLUSÃO

Ao longo das várias fases em que consistiram a elaboração do presente trabalho, foram assimilados vários conceitos e apreendidas várias técnicas para estimar custos de construção. Assim, e dado como finalizado o trabalho no que diz respeito às estimativas de custo, resta retirar algumas conclusões que são apresentadas de seguida.

Relativamente à adaptação da metodologia aconselhada por Lencastre et al (1994) para realização de estimativas de custo, pode constatar-se que esta é facilmente aplicável, visto que existe uma quantificação de grupos de trabalhos correspondentes a catorze itens, cujos preços até se encontram com relativa facilidade no mercado da construção civil, no que toca a movimentos de terras, tubagens, acessórios e respetivos órgãos de manobra, pavimentações e por último, estaleiro. Assim, é possível, em fases preliminares da realização das respetivas obras determinar, de forma rápida, uma projeção dos custos de execução de condutas de saneamento.

Com a análise dos orçamentos e cálculos dos custos unitários foram retiradas várias condicionantes:

No que respeita à realização dos mapas comparativos dos orçamentos dos vários concorrentes, pode concluir-se que existe uma grande disparidade entre preços para a execução da mesma atividade. De acordo com o que tinha sido analisado com o orientador, tal facto acontece devido provavelmente à forma que cada empresa adota na elaboração de uma determinada proposta e como equaciona os lucros e encargos que poderá vir a ter com os diferentes trabalhos a realizar. Em título de exemplo, temos o caso de um empreiteiro em que pode antever que o volume de trabalhos em escavação em rocha, numa determinada obra, seria bastante reduzido, contrariamente ao previsto no mapa de quantidades, dando por isso na proposta um valor mais elevado do que é normal para a escavação em terra, aplicando, até, um custo unitário mais elevado do que para escavação em rocha. Com a referida mudança, podendo dizer-se até mesmo inversão, dos custos unitários de escavação em terra (tornando-se mais caros que a escavação em rocha branda e rocha dura), num caso extremo descrito pelo orientador, este empreiteiro conseguirá ganhos monetários elevados nos itens de escavação que poderão “tapar” os preços eventualmente mais baixos que apresentou na sua proposta para outros itens.

Quanto aos trabalhos relacionados com os movimentos de terra constata-se, como seria de prever, que o custo unitário de *Escavação em rocha dura* é normalmente superior ao determinado para *Escavação em rocha branda* e que o custo unitário de *Aterro com material de empréstimo* é cerca de duas vezes superior ao *Aterro com material da própria vala*.

No que diz respeito ao custo dos acessórios, expressos em percentagem do custo da tubagem, Lencastre et al (1994) preconizam uma percentagem de 30% para condutas com diâmetros entre 200mm e 400mm. No presente trabalho, verificou-se que o valor encontrado pelos referidos autores, em 1994, se encontra ajustado aos dias de hoje, uma vez que o valor médio encontrado para *Acessórios em caixas e caixas* para os diferentes tipos de diâmetro, foi de 30,3%.

Relativamente ao capítulo das pavimentações, o que se observou foi que o custo unitário referente à *pavimentação com macadame* é mais elevado, seguido da *pavimentação em betuminoso* e da *pavimentação com cubos paralelos*. Conclui-se também que a *pavimentação com macadame* é a mais cara, porque além de ser constituída por macadame existe uma percentagem de betuminoso. Contudo, este tipo de pavimentação está a cair em desuso.

Para o item *Estaleiro e trabalhos acessórios* obteve-se um valor de 14,5% que de acordo com a explicação do orientador é uma percentagem corrente para obras deste tipo. É importante referir que este item não existia na metodologia inicial preconizada por Lencastre et al (1994), contudo tornou-se necessário acrescentar porque os orçamentos atuais apresentam os custos de estaleiro individualizados.

Relativamente à análise de risco efetuada com recurso a métodos estocásticos percebeu-se que com uma ferramenta disponibilizada para este propósito, como é o caso do *@Risk* foi possível introduzir no cálculo das estimativas de custo elaboradas a incerteza associada a algumas variáveis identificadas como mais importantes (visto terem um maior impacto no custo final da respetiva obra), permitindo a análise de um maior número de cenários possíveis dos custos de construção, de forma expedita.

Conclui-se, também, que a aplicação das ferramentas apresentadas tende a tornar-se mais fácil à medida que se vão criando hábitos de tratamento de dados recolhidos na prática para melhorar a definição das distribuições probabilísticas que estes métodos requerem. Com efeito, nas primeiras aplicações será natural a dificuldade em adotar esta ou aquela distribuição, o que deverá evoluir com o conhecimento do comportamento dos dados em casos correntemente observados na realidade.

Com a aplicação de uma técnica indicada pelo orientador, análise robusta de dados, foi possível fazer uma seleção dos custos unitários e das percentagens dos variados itens. Conclui-se que, de uma forma bastante prática, tornou-se possível identificar quais os valores que se deveriam considerar para a estimação dos custos, visto que esta técnica permite eliminar valores não coerentes de uma determinada amostra e que maioritariamente das vezes não são identificáveis numa primeira análise.

A aplicação de toda a metodologia referida no presente trabalho será cada vez mais proveitosa, quanto maior número de obras existirem para analisar, isto é, quanto maior o número de dados se obtiver, mais exata será a análise de risco realizada, permitindo uma melhor tomada de decisão por parte do analista.

Neste contexto, a utilização das ferramentas descritas revela-se vantajosa, por várias ordens de razão. Por permitir, por um lado, uma tomada de decisão melhor fundamentada e baseada num vasto leque de hipóteses. Mas também porque, nos casos cuja dimensão assim o justifique – pelos valores envolvidos, duração, variabilidade dos dados base, etc. -, o recurso a estas metodologias obriga à construção de um modelo devidamente ponderado, o que tende a tornar a gestão mais consciente de todos os riscos envolvidos.

Como avaliação final conclui-se que o recurso à metodologia Lencastre, devidamente atualizada para os dias de hoje, conjugada com uma análise de risco e auxiliada por aplicação informática para a realização de estimativas de custo para condutas de saneamento, torna-se mais vantajoso pois permite uma tomada de decisão melhor fundamentada, baseada num vasto leque de hipóteses quanto à viabilidade de determinado projeto de investimento.

Como desenvolvimentos futuros poderá haver uma maior recolha de dados, a partir de mais obras, de forma a aprofundar o modelo de estimativa de custos desenvolvido. Poderia ser abordado como tema para outros estudos que se possam realizar.

BIBLIOGRAFIA

ALVES, E., AZEVEDO, A., PEREIRA, M., & TEIXEIRA, A. (Dezembro de 2007).

Aplicação de Métodos Estocásticos na Gestão de Custos de Construção de Condutas Adutoras (diâmetros 700 e 900 mm). Porto, Portugal: Trabalho da Disciplina de Seminário I da Licenciatura em Engenharia Civil do Isep, sob orientação de J.G.Silva.

ESTATÍSTICA, I. N. (s.d.). *www.ine.pt*. Obtido em Novembro, Dezembro, Janeiro de 2012-2013, de

http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_pesquisa&frm_acciao=PESQUISAR&frm_show_page_num=1&frm_modulo_pesquisa=PESQUISA_SIMPLES&frm_modulo_texto=MODO_TEXTO_ALL&frm_texto=INE+%E2%80%93+Taxas+de+Infla%C3%A7%C3%A3o+e+%C3%8Dndices+de+Pre%C3%A7os+no+Consu

FLANAGAN R., N. G. (1993). *Risk Management and Construction*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.

- LENCASTRE, A., CARVALHO, J., GONÇALVES, J., & PIEDADE, M. (1994). *Custos de Construção e Exploração - Volume 9 da série Gestão de Sistemas de Saneamento Básico*. Lisboa (Portugal): DGA/LNEC.
- MIGUEL, A. (2006). *Avaliação de Projetos, FCA*. Lisboa (Portugal): Editora Informática.
- PALISADE. (2005). *Guide to Using @Risk: risk analysis and simulation add-in for MS Excel*. Newfield, U.S.A.: Palisade Corporation.
- PEDROSA, A. G. (2004). *Introdução Computacional à Probabilidade e Estatística*. Porto, Portugal: Porto Editora, LDA.
- PESTANA, D. (1992). *Análise Exploratória de Dados. Técnicas Robustas - Um guia (tradução da obra editada por John Wiley & Sons, Inc., de Hoaglin D.; Mosteller F.; Turkey, J. com o título original Understanding Robust and Exploratory Data Analysis)*. Lisboa (Portugal): Salamandra.
- Politejo. (s.d.). *Acerca da Empresa: Politejo*. Obtido em Setembro, Outubro, Novembro de 2012, de Web site de Politejo: <http://www.politejo.com/PT/>
- SCHUYLER, J. (2001). *Risk and Decision Analysis in Projects, Second Edition*. Pennsylvania, EUA: Project Management Institute, Inc.
- SILVA, J. G. (2008). Análise de Decisão usando Métodos Estocásticos - Casos de Aplicação à Gestão na Área do Ambiente. *GESCON (1º Fórum Internacional da Gestão da Construção)*, (p. 10). Porto (Portugal).

SILVA, J. G. (15 de Junho de 2010). Workshop em Análise de Decisão - Utilização de Métodos Estocásticos e Ferramentas Informáticas de Suporte (Apresentação e Texto de Apoio). ISEP, Porto, Portugal.

VOSE, D. (2000). *Risk Analysis: a Quantitative Guide, Second Edition*. Chicester, England: John Wiley & Sons, Ltd.

ANEXOS

ANEXO I

DADOS BASE E ESTIMATIVAS DE CUSTO

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

	Custo unitário	Unid.	Descrição	Quant.	Custo por m.l.	Custo parcial	Valores atendendo ao risco		
							Quant.	Custo por m.l.conduç.	Custo parcial
1	0,00	l/m ³	Escavação em terra	1,216	0,00	0	0,856	0,00	0
2	4,48	l/m ³	Escavação em rocha branda	0,068	0,30	3,026	0,203	0,91	9,077
3	9,92	l/m ³	Escavação em rocha dura	0,068	0,67	6,704	0,293	2,91	29,050
4	2,18	l/m ³	Transporte a vazadouro	0,180	0,39	3,913	0,496	1,08	10,804
5	4,35	l/m ³	Aterro com areia (almofada)	0,141	0,61	6,125	0,141	0,61	6,125
6	2,48	l/m ³	Aterro c/ material da próp. vala	0,820	2,03	20,320	0,599	1,48	14,841
7	4,36	l/m ³	Aterro com produtos de empréstimo	0,352	1,53	15,321	0,257	1,12	11,190
8.a.	31,64	l/m	Tubagem e acessórios em vala PEAD 200		31,64	316,431		31,64	316,431
8.b.	64,67	l/m	Tubagem e acessórios em vala PEAD 250		64,67	646,700		64,67	646,700
8.c.	70,09	l/m	Tubagem e acessórios em vala PEAD 300		70,09	700,900		70,09	700,900
8.d.	48,04	l/m	Tubagem e acessórios em vala PEAD 400		48,04	480,400		48,04	480,400
9.a.	43,63%	%	% acess. na tubagem		43,63%	138,057	11,67%		174,974
9.b.	35,00%	%	% acess. na tubagem		35,00%	226,345	11,67%		301,793
9.c.	18,78%	%	% acess. na tubagem		18,78%	131,629	11,67%		
9.d.	36,54%	%	% acess. na tubagem		36,54%	175,538	11,67%		
10	56,60%	%	% Cx.pav.nototal pav.		56,60%	30,312,72			68,040,41
11	3,77	l/m ²	Pavimentação c/ betuminoso	0,898	3,38	33,839,52	2,870	10,82	108,191,46
12	6,36	l/m ²	Pavimentação c/ cubos/paralelos	0,112	0,71	10,000,00	0,159	0,60	6,010,64
13	8,66	l/m ²	Pavimentação c/ macadame	0,112	0,97	9,716,52	0,159	0,60	6,010,64
14	14,50%	%	%no total rest.custos						

Características do projecto	Valores	Un.	Variabilidade	Un.	
Diâmetro (DN)	200	mm			
Escavação Terra	90%		-	25%	
R. branda	5%		+	10% (2%)	Variação fixa
R. dura	5%		+	15% (2%)	Var. RiskTriang(10%;15%;25%)
Aterros - c/ Escavação	70%				
Empréstimo	30%				
Comprimento conduta (tubagem)	10.000,00	m			
Profundidade média geratriz sup.	1,50	m	+	0 m	
Influência das caixas (caso não seja cenário normal)			+	10% (2%)	Var. RiskTriang(5%;10%;20%)
Pavimentaç. Betuminoso	80%		+	10% (2%)	
Cubos	10%		-	5% (2%)	
Macadame	10%		-	5% (2%)	
Sem pavimentação:	0%		-	0% (2%)	
Largura da pavimentação (pl cenário aumento da larg.)			+	6 m	Var. RiskTriang(0,8;1,2;4,2)

ANEXO II

TIPIFICAÇÃO DE ALGUNS CUSTOS

PARCELARES DAS PROPOSTAS

ANALISADAS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
TIPO	DESIGNAÇÃO DOS TRABALHOS	QUANT.	CONCORRENTE 1 PREÇOS (Euros) UNITÁRIOS	TOTAIS	QUANT.	CONCORRENTE 2 PREÇOS (Euros) UNITÁRIOS	TOTAIS	QUANT.	CONCORRENTE 3 PREÇOS (Euros) UNITÁRIOS	TOTAIS	QUANT.	CONCORRENTE 3 PREÇOS (Euros) UNITÁRIOS	TOTAIS		
1	A	1	ESTALEIRO	1 un	4900	4.900,00	1 un	64000				1 un			
2			Montagem, desmontagem e manutenção do estaleiro, constituído por instalações para a direção de obra, instalação de amarramentos, enfiar e instalar as camadas, betão, alicatagem, obra de acabamento, instalação de sistemas de água, esgotos, eletricidade, telefones e todas as instalações e trabalhos necessários para o cumprimento das normas e legislação em vigor												
3			TOTAL A - ESTALEIRO:												
4															
5															
6															
7	14														
8															
9															
10															
11															
12	B		SISTEMA DE COLHALVAS NORTE (EMISSÁRIOS E 7.1, E 7.12, E 7.13 e E 7.14)												
13															
14															
15															
16	11		EMISSÁRIO E 7.1												
17			TRABALHOS PREPARATÓRIOS												
18	14	11.1	Piquetagem incluindo a colocação de estacas ou marcação para localização de câmaras de visita	13277 ml	0,1	1.327,70	13277 ml	0,23	3.052,71	13277 ml	0,23	3.052,71	13277 ml	1,061	14.073,52
19															
20	12		PAVIMENTOS												
21															
22	12.1		Corte, levantamento e reposição de pavimentos, incluindo aberturas de caixa												
23															
24	10	12.1.1	Tourvenant com 30 cm de espessura depois do recalque, aplicadas em camadas de 10 cm regadas e cilindadas, em camalhões e servidos, conforme especificação do caderno de encargos	54 m²	4	216,00	54 m²	54	216,00	54 m²	4,31	235,14	54 m²	3,831	206,52
25															
26	12.2		Corte, levantamento e reposição de pavimentos, incluindo abertura de caixa e reposição de sinalização horizontal												
27															
28	10	12.2.1	Areia aplicada em camadas de 10 cm, conforme especificação do caderno de encargos	795,36 m³	10	7.953,60	795,36 m³	8,18	6.006,04	795,36 m³	8,18	6.006,04	795,36 m³	8,501	6.760,96
29															
30	10	12.2.2	Camada de sub-base, em agregado bitulado de granulometria atenua, com 0,20 m de espessura, conforme especificação do caderno de encargos	805,59 m²	2,8	2.255,65	805,59 m²	3,27	2.634,28	805,59 m²	3,27	2.634,28	805,59 m²	2,981	2.400,86
31															
32	10	12.2.3	Camada de base, em macadame betuminoso, com 0,10 m de espessura, anecedido de rega de impregnação com ECI, 1,2 kg/cm³, conforme especificação do caderno de encargos	805,59 m²	9,8	7.894,78	805,59 m²	10,09	8.128,40	805,59 m²	10,09	8.128,40	805,59 m²	6,801	5.478,01
33															
34	10	12.2.4	Mário Seal, anecedido de rega de colagem ECR, 0,6 kg/cm³, em toda a largura da faixa de rodagem, conforme especificação do caderno de encargos	2100 m²	5,6	11.760,00	2100 m²	3,68	7.728,00	2100 m²	3,68	7.728,00	2100 m²	1,281	2.688,00
35															
36	13		MOVIMENTO DE TERRAS												
37															
38	13.1		Execução de escavação para abertura de valas para assentamento de tubagem incluindo todas as entalhas necessárias a uma perfeita estabilização das valas, rebalçamento do nível frático quando necessário, eventuais reparações e desvios de infra-estruturas existentes e todos os												
39															
40	2	13.1.1	Em terra ou rocha branda, manualmente ou com meios mecânicos adequados (70%)	14231,868 m³	3,49	49.663,22	14231,868 m³	5,11	72.724,85	14231,868 m³	5,11	72.724,85	14231,868 m³	8,501	120.370,89
41															
42	3	13.1.2	Em rocha, a compressor ou outros meios (30%)	6099,372 m³	11	67.093,08	6099,372 m³	20,94	127.720,85	6099,372 m³	20,94	127.720,85	6099,372 m³	8,501	51.844,98
43															
44	8	13.2	Fornecimento e aterra de almofada de areia para assentamento da tubagem	1633,3944 m²	7,5	12.250,46	1633,3944 m²	8,18	13.351,17	1633,3944 m²	8,18	13.351,17	1633,3944 m²	8,501	13.883,35
45															
46	7	13.3	Aterro de 1ª fase com terras citandadas, ou areia ou areia, devidamente regado e compactado em camadas de 0,20 m de espessura	5785,3186 m³	3,89	22.083,39	5785,3186 m³	4,38	25.339,67	5785,3186 m³	4,38	25.339,67	5785,3186 m³	5,101	28.505,09
47															
48	6	13.4	Aterro de 2ª fase com produtos provenientes da escavação, isentos de pedras de dimensão superior a 0,10 m, devidamente regado e compactado em camadas de 0,20 m de espessura	11680,0821 m³	1,75	20.440,14	11680,0821 m³	2,01	23.436,76	11680,0821 m³	2,01	23.436,76	11680,0821 m³	1,491	17.373,52
49															
50	4	13.5	Transporte dos produtos sobrantes a vazadouro, incluindo carga e descarga	2332,98 m³	1,75	5.132,72	2332,98 m³	1,83	4.487,46	2332,98 m³	1,83	4.487,46	2332,98 m³	1,491	4.370,14

ANEXO III

MAPA COMPARATIVO DOS CUSTOS

UNITÁRIOS DAS PROPOSTAS

ANALISADAS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Item	Descrição	concorrente 1			concorrente 2			concorrente 3			concorrente 4		
		Custo (R\$)	Valor	Unidade	% sobre valor obra	Custo (R\$)	Valor	Unidade	% sobre valor obra	Custo (R\$)	Valor	Unidade	% sobre valor obra
7													
8													
9													
10													
11	1 Escavação em rocha branda	0,00	0,00	lm ³	0,00%	0,00	0,00	lm ³	0,00%	0,00	0,00	lm ³	0,00%
12	2 Escavação em terra/rocha branda	143.132,49	2,50	lm ³	11,03%	189.240,08	5,35	lm ³	14,58%	299.833,03	8,48	lm ³	22,08%
13	3 Escavação em rocha dura	153.144,28	6,41	lm ³	11,80%	286.522,87	20,58	lm ³	22,08%	118.322,03	8,50	lm ³	22,08%
14	4 Transporte a vazadouro	11.448,84	0,96	lm ³	0,88%	10.306,83	1,58	lm ³	0,79%	9.747,85	1,49	lm ³	0,79%
15	5 Aterro com areia (almofada)	30.648,01	4,35	lm ³	2,36%	33.059,64	8,09	lm ³	2,55%	34.734,39	8,50	lm ³	2,55%
16	6 Aterro c/ material da próp. vial	50.482,80	0,95	lm ³	3,89%	57.863,60	2,01	lm ³	4,46%	42.982,50	1,49	lm ³	4,46%
17	7 Aterro com produtos de empréstimo	54.241,81	2,52	lm ³	4,18%	59.476,22	4,38	lm ³	4,58%	69.328,77	5,10	lm ³	4,58%
18	8.a. Tubagem e acessórios em vial PEAD 200	0,00			0,00%	0,00			0,00%	0,00			
19	8.a.1. Fornecimento e assentamento	213.624,43	57,29	lm	16,46%	295.300,85	79,19	lm	22,76%	246.809,46	66,19	lm	22,76%
20	8.b. Tubagem e acessórios em vial PEAD 250	0,00			0,00%	0,00			0,00%	0,00			
21	8.b.1. Fornecimento e assentamento	201.422,99	100,51	lm	15,52%	72.136,90	36,00	lm	5,56%	134.643,16	67,19	lm	5,56%
22	8.c. Tubagem e acessórios em vial PEAD 300	0,00				0,00				0,00			
23	8.c.1. Fornecimento e assentamento	100.082,04	93,28	lm	7,71%	63.003,06	58,72	lm	4,86%	105.572,09	98,40	lm	4,86%
24	8.d. Tubagem e acessórios em vial PEAD 400	0,00			0,00%	0,00				0,00			
25	8.d.1. Fornecimento e assentamento	22.585,72	43,30	lm	1,74%	13.449,11	25,78	lm	1,04%	26.741,01	51,27	lm	1,04%
26	8.e. Tubagem e acessórios em vial PP 200												
27	8.e.1. Fornecimento e assentamento												
28	9.a. Acessórios em caixas e caixas PEAD 200	122.279,37	57,24%	%	9,42%	167.797,96	56,82%	%	12,93%	164.857,50	66,80%	%	12,93%
29	9.b. Acessórios em caixas e caixas PEAD 250	33.233,63	16,50%	%	2,56%	44.253,46	61,35%	%	3,41%	43.460,50	32,28%	%	3,41%
30	9.c. Acessórios em caixas e caixas PEAD 300	11.698,79	11,69%	%	0,90%	11.833,54	18,78%	%	0,91%	7.871,00	7,46%	%	0,91%
31	9.d. Acessórios em caixas e caixas PEAD 400	3.621,58	16,03%	%	0,28%	4.914,16	36,54%	%	0,38%	6.608,75	24,71%	%	0,38%
32	9.e. Acessórios em caixas e caixas PP 200												
33	10 Caixa de Pavimento	33.198,93	55,58%	%	2,56%	29.973,43	41,23%	%	2,31%	29.567,15	56,60%	%	2,31%
34	11 Pavimentação c/ betuminoso	21.490,89	3,59	lm ²	1,66%	29.060,54	4,86	lm ²	2,24%	22.827,87	3,82	lm ²	2,24%
35	12 Pavimentação c/ cubos / paralelos	0,00	0,00	lm ²		0,00	0,00	lm ²		0,00	0,00	lm ²	
36	13 Pavimentação c/ macadame	38.238,03	8,84	lm ²	2,95%	43.642,73	10,09	lm ²	3,36%	29.412,34	1,72	lm ²	3,36%
37	14 Estaleiro e trabalhos acessórios	52.985,67	4,26%	%	4,08%	171.998,63	12,18%	%	13,26%	137.846,98	9,89%	%	13,26%
38	total	1.297.560,30				1.583.823,61				1.531.266,38			

ANEXO IV

ANÁLISE ROBUSTA DE DADOS

ANEXO V

AJUSTE DOS DADOS

APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTOCÁSTICOS NA GESTÃO DE CUSTOS DE
CONSTRUÇÃO DE CONDUTAS DE SANEAMENTO

Transporte a Vazadouro		=RiskLoglogistic(0;2,0094;4,53;RiskName("Dataset 2"))	
	Valores adoptados		
1	0,90		
2	0,96		
3	0,97		
4	1,02		
5	1,36		
6	1,49		
7	1,58		
8	1,59		
9	1,60		
10	1,63		
11	1,75		
12	1,98		
13	1,98		
14	1,98		
15	2,00		
16	2,02		
17	2,09		
18	2,09		
19	2,20		
20	2,20		
21	2,50		
22	2,50		
23	2,65		
24	2,65		
25	2,91		
26	2,92		
27	3,02		
28	3,24		
29	3,83		
30	4,00		

Teste	Ajustes
Escolhido	2,18
Média	2,12
Mínimo	0,90
Máximo	4,00