

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**MODELO DE PROBABILIDADE A PRIORI PARA
ESTIMATIVA DE CUSTOS NA
GESTÃO DE PROJETOS EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DE GRAU DE MESTRE
POR

Rachel Perez Palha

Orientador: Prof. Adiel Teixeira de Almeida, PhD

RECIFE, DEZEMBRO DE 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO**

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE**

RACHEL PEREZ PALHA

**MODELO DE PROBABILIDADE A PRIORI PARA
ESTIMATIVA DE CUSTOS NA
GESTÃO DE PROJETOS EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o candidato Rachel Perez Palha **APROVADO**.

Recife, 26 de Dezembro de 2012.

Prof. ADIEL TEIXEIRA DE ALMEIDA, PhD (UFPE)

Prof. DANIELLE COSTA MORAIS, PhD (UFPE)

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, PhD (UFPE)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Adiel Teixeira de Almeida pela orientação no desenvolvimento desta dissertação, sempre de forma incisiva, porém descontraída e sempre tirando minhas dúvidas o mais breve possível.

Aos engenheiros Diogo Santiago, Marcelo Ribas, Carolina Farias, Pedro Leão e Paulo Falcão, por cada um a seu tempo, terem ajudado a viabilizar este sonho antigo. Agradeço também por terem, no dia a dia e nos momentos mais turbulentos, ajudado a tornar os meus dias menos ignorantes dividindo comigo seus conhecimentos.

Aos engenheiros Paulo Araújo, Alexandre Biselli e Thales Mariano por terem me ajudado nos momentos oportunos.

Aos familiares e colegas que têm sido extremamente compreensivos com minhas ausências devido à dedicação aos estudos nos últimos tempos.

A todos os professores e funcionários que fazem do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFPE.

À minha mãe, Angeles, pois sem ela nem haveria o sonho.

RESUMO

Os Projetos de Construção Civil geralmente são gerenciados seguindo as metodologias convencionais de Gestão de Projetos. Atualmente, entretanto, muitas Empresas têm optado pela modalidade de Contrato por Aliança ou Administração devido às vantagens geradas relativas à transparência nas informações e acesso às tecnologias empregadas. Este tipo de contratação, entretanto, dificulta o acompanhamento das obras, pois suas condições comerciais ferem uma série de condicionantes impostos pelos modelos de gestão normalmente utilizados. A fim de solucionar este problema, foi desenvolvida nesta dissertação um modelo para estimativa de custo de um projeto contratado sob regime de Aliança. Foi feito um estudo de caso onde o projeto já se encontrava em execução e vinha enfrentando diversos problemas para cálculo de seu custo final, desta forma decidiu-se entrevistar 04 especialistas a fim de determinar a função densidade de probabilidade das variáveis mais significativas quanto ao valor total da obra utilizando o conhecimento a priori destes. Foi utilizado o Diagrama de Pareto a fim de escolher as 11 variáveis mais significativas para aplicar o processo de elicitación da probabilidade e as entrevistas foram feitas com o intuito de obter a função de probabilidade acumulada. As variáveis escolhidas foram (1) mão de obra de montagem de grade; (2) fabricação de brita para lastro; (3) fabricação de dormentes; (4) bueiros celulares; (5) concreto de drenagem; (6) formas para concreto de drenagem; (7) concreto de obras de arte especiais; (8) forma e escoramento para concreto de obras de arte especiais; (9) escavação, carga e transporte de material de 1ª e 2ª categorias; (10) escavação, carga e transporte de material de 3ª categoria; e (11) compactação de aterros. A distribuição escolhida para modelagem foi a de Weibull, a fim de linearizar as funções. Em seguida foi aplicada regressão linear simples, com o intuito de serem calculados os parâmetros para cada variável aleatória e, conseqüentemente, calcular seu valor esperado e sua variância. O modelo encontrado aplicável ao contrato, uma vez que rapidamente pode-se obter uma informação confiável e completa, incluindo qual a margem inferior e superior de valor ao qual o contrato estaria sujeito. Aplicando-se este modelo, acredita-se que a relação com a Contratante poderia ser ainda mais transparente, melhorando a relação de confiabilidade dentro do Contrato.

PALAVRAS-CHAVE: Gerenciamento de Projetos, Probabilidade a Priori, Custo na Construção Civil.

ABSTRACT

Building Projects usually are managed following the conventional methodologies of Project Management. Currently, however, several Companies opted to contract enterprises with Alliance or Administration contracts due to the advantages relative to information transparency and access to the employed technologies. This type of contract, however, makes it difficult to control the workmanships, because its commercial settings interfere with a lot of conditions imposed by the models normally applied. In order to solve this problem, a proper model for estimative of cost of a project contracted under regimen of Alliance was developed in this dissertation. Was made a study case where the project was already being executed and were facing several problems to calculate its final cost, in such a way was decided to use a priori probability in order to apply the density function of probability generated by 04 specialists to calculate the final value of the workmanship. The Diagram of Pareto was used in order to choose the 11 most significative variables, out of 130, to apply the elicitation process for the study and the interviews had been made with intention to obtain the accumulated function of probability. The chosen variables were (1) labor for permanent way placing; (2) manufacture of flintstone for ballast; (3) beam manufacture; (4) cellular culverts; (5) concrete of draining structures; (6) frames for concrete of draining structures; (7) flyover concrete; (8) frames for flyover concrete; ; (9) hollowing, load and transport of material of 1^a and 2^a categories; (10) hollowing, load and transport of material of 3^a category; e (11) embankment compaction. The distribution chosen for modeling was the Weibull Distribution, in order to line down the functions. After that, simple linear regression was applied, intending to calculate the parameters for each variable and, consequently, calculate its expected value and variance. The developed model appears to be applicable for the contract, since it is a fast form to achieve trustworthy and complete information, including which are the superior an inferior boundaries of the budget that should be applied. By using this model, is believed that the relationship with the Client would be more transparent, improving the relation of trustworthiness inside the Contract.

KEY-WORDS: Project Management, A Priori Probability, Building Construction's Cost.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Relevância e contribuição do estudo	3
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivos Gerais	3
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Metodologia.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	4
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DE SEU CONTEXTO	6
2.1	Descrição do Contexto do Problema	6
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	Base Conceitual.....	12
3.1.1	Elicitação de Probabilidade a Priori	12
3.1.2	Distribuição de Weibull	14
3.2	Valor Agregado.....	16
3.3	Probabilidade a Priori	19
3.4	Considerações Gerais	20
4	MODELO PROPOSTO PARA ESTIMATIVA DE CUSTO	21
4.1	Descrição do Modelo	21
4.1.1	Elicitação da probabilidade a priori	25
4.1.2	Solução por valor esperado	28
4.1.3	Solução com margem de segurança	29
4.2	Aplicação do Modelo	31
4.2.1	Escolha das variáveis a serem estudadas	31
4.2.2	Apresentação do Perfil dos Entrevistados.....	32
4.2.3	Dados das entrevistas	33

4.2.4	Valor Esperado	74
4.2.5	Margem de Segurança	78
4.3	Discussão resultados	83
4.3.1	Elicitação de Probabilidades	83
4.3.2	Valor Esperado e Margem de Segurança	86
4.3.3	Vantagens e Dificuldades do Modelo	88
5	CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS.....	90
5.1	Trabalhos Futuros	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92
	APÊNDICE 01 – DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Traçado da Ferrovia	7
Figura 4.1 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	34
Figura 4.2 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade.....	35
Figura 4.3 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	36
Figura 4.4 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade.....	36
Figura 4.5 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	37
Figura 4.6 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade.....	37
Figura 4.7 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	38
Figura 4.8 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade.....	39
Figura 4.9 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Fabricação de Brita para Lastro	40
Figura 4.10 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro	41
Figura 4.11 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Fabricação de Brita para Lastro.....	42
Figura 4.12 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro	42
Figura 4.13 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro	43
Figura 4.14 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Fabricação de Dormente de Concreto.....	45

Figura 4.15 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada -Extrapolada – Fabricação de Dormente de Concreto	45
Figura 4.16 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto.....	46
Figura 4.17 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Fabricação de Dormente de Concreto	47
Figura 4.18 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto.....	47
Figura 4.19 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto.....	48
Figura 4.20 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular	50
Figura 4.21 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular	50
Figura 4.22 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular	51
Figura 4.23 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem.....	53
Figura 4.24 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem.....	53
Figura 4.25 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem.....	54
Figura 4.27 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	56
Figura 4.27 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	57
Figura 4.28 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	58
Figura 4.29 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs..	59
Figura 4.30 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs..	60
Figura 4.31 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs..	61
Figura 4.32 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs.....	62
Figura 4.33 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramento para Concreto de OAEs	63

Figura 4.35 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs.....	64
Figura 4.35 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	65
Figura 4.36 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	66
Figura 4.37 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	67
Figura 4.38 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	68
Figura 4.39 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	69
Figura 4.40 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	70
Figura 4.41 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros	72
Figura 4.42 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros	73
Figura 4.43 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros	74
Figura 4.44 – Especialista 04 – Curva de Densidade da Probabilidade – Concreto de Drenagem.....	84
Figura 4.45 – Especialista 02 – Curva de Densidade da Probabilidade – Mão de Obra de Montagem de Grade	85
Figura 4.46 – Especialista 03 – Curva de Densidade da Probabilidade – Mão de Obra de Montagem de Grade	85
Figura 4.47 – Probabilidade Acumulada – Mão de Obra de Montagem de Grade	86
Figura 4.48 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias	86
Figura 4.49 – Especialista 03 – Margem de Segurança – Fabricação de Brita para Lastro	87
Figura 4.50 – Especialista 01 – Margem de Segurança – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	88

Figura A1.1 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade	94
Figura A1.2 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade	94
Figura A1.3 – Especialista 03– Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade	95
Figura A1.4 – Especialista 04– Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade	95
Figura A1.5 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro..	95
Figura A1.6 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro..	96
Figura A1.7 – Especialista 03 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro..	96
Figura A1.8 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro..	96
Figura A1.9 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto	97
Figura A1.10 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto	97
Figura A1.11 – Especialista 03 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto	97
Figura A1.12 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto	98
Figura A1.13 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular.....	98
Figura A1.14 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular.....	98
Figura A1.15 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular.....	99
Figura A1.16 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem	99
Figura A1.17 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem	99
Figura A1.18 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem	100
Figura A1.19 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem.....	100
Figura A1.20 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem.....	100
Figura A1.21 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem.....	101
Figura A1.22 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE.....	101

Figura A1.23 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE.....	101
Figura A1.24 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE.....	102
Figura A1.25 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE	102
Figura A1.26 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE	102
Figura A1.27 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE	103
Figura A1.28 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	103
Figura A1.29 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	103
Figura A1.30 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	104
Figura A1.31 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	104
Figura A1.32 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	104
Figura A1.33 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	105
Figura A1.34 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterros.....	105
Figura A1.35 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterros.....	105
Figura A1.36 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterro	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Distribuição de Probabilidade Acumulada Fictícia	14
Tabela 4.1 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	34
Tabela 4.2 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	35
Tabela 4.3 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	37
Tabela 4.4 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade	38
Tabela 4.5 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Fabricação de Brita para Lastro ..	40
Tabela 4.6 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro..	41
Tabela 4.7 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro..	42
Tabela 4.8 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro..	43
Tabela 4.9 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Fabricação de Dormente de Concreto	44
Tabela 4.10 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto	46
Tabela 4.11 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto	47
Tabela 4.12 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto	48
Tabela 4.13 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular.....	49
Tabela 4.14 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular.....	50
Tabela 4.15 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular.....	51
Tabela 4.16 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem	52
Tabela 4.17 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem	53
Tabela 4.18 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem	54
Tabela 4.19 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	55
Tabela 4.20 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	56

Tabela 4.21 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem.....	57
Tabela 4.22 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs	59
Tabela 4.23 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs	59
Tabela 4.24 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs	60
Tabela 4.25 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs.....	62
Tabela 4.26 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs.....	63
Tabela 4.27 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramento para Concreto de OAEs.....	64
Tabela 4.28 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	65
Tabela 4.29 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	66
Tabela 4.30 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada –Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias.....	67
Tabela 4.31 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	68
Tabela 4.32 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	69
Tabela 4.33 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada –Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria	70
Tabela 4.34 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros	71
Tabela 4.35 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros	72
Tabela 4.36 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada –Compactação de Aterros	73
Tabela 4.37 – Dados do Entrevistado 01	75
Tabela 4.38 – Dados do Entrevistado 02.....	75
Tabela 4.39 – Dados do Entrevistado 03.....	76
Tabela 4.40 – Dados do Entrevistado 04.....	76
Tabela 4.41 – Comparativo entre os Custos Totais das Variáveis	77
Tabela 4.42 – Especialista 01 – Margem de Variação de Custos.....	79
Tabela 4.43 – Especialista 02 – Margem de Variação de Custos.....	80

Tabela 4.44 – Especialista 03 – Margem de Variação de Custos.....	81
Tabela 4.45– Especialista 04 – Margem de Variação de Custos.....	82

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento do Valor Agregado é um método comumente utilizado para medir o desempenho de um projeto integrando escopo, planejamento e recursos conforme descrito no Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (PMBOK) (PMI, 2004). Inicialmente este método, ou parte dele, foi desenvolvido no século XIX em processos industriais, em 1967 o mesmo foi introduzido pelo Departamento de Defesa Civil Americano para acompanhamento de desempenho financeiro em projetos governamentais, numa tentativa de implantar melhores práticas para acompanhamento de programas. Em 2000 esse método passou a fazer parte do PMBOK, onde foram apresentadas suas fórmulas e terminologias, sendo posteriormente publicado pelo próprio Project Management Institute (PMI) um guia específico sobre a utilização do método conforme descrito por Kwak & Anbari (2011). A partir das publicações feitas no PMBOK e no sistema de normatização americano (ANSI – American National Standards Institute), além dos diversos estudos e publicações que giraram em torno deste método, o mesmo se tornou muito popular no setor privado apresentando grande aplicabilidade para o gerenciamento de desempenho de projetos e programas.

Kwak & Anbari (2011) descrevem que este método de gerenciamento tem diversas vantagens, pois o Gerente do Projeto pode analisar qual o seu desempenho de forma bastante clara, tanto do ponto de vista financeiro, quanto do ponto de vista físico, permitindo que sejam visualizados rapidamente variações de escopo, aumento do risco, problemas executivos e o fluxo de caixa do projeto, além de deixá-lo seguro para fazer intervenções durante o projeto e evitar maiores atrasos ou prejuízos.

Lipke et al (2009) chegou a conclusão que com o aumento do entendimento do Método do Valor Agregado (MVA) foram realizados diversos estudos no que tange ao Índice de Desempenho de Custo (CPI – Cost Performance Index), Estimativa de Custo no Término (IEAC – Independent Estimate at Completion) e Índice de Desempenho de Prazo (SPI – Schedule Performance Index), sendo o último o menos estudado e cujo desenvolvimento de teorias data de períodos mais recentes. Através desses estudos chegou-se a quatro conclusões principais: (1) O resultado de $IEAC = BAC/CPI$, onde BAC é o orçamento original do projeto, é uma estimativa razoável para o custo final do projeto; (2) O valor acumulado de CPI estabiliza quando o projeto atingir 20% de sua execução, isso significa que o CPI não deve variar mais que 0,1; (3) A variação do custo final pode ser obtido usando a variação entre a IEAC e o orçamento original, de modo que $IEAC = BAC / (CPI_{20\%} \pm 0,1)$; e (4) O valor de

CPI tende a piorar de seu ponto de estabilidade a medida que o projeto vai se aproximando de seu final. Todas essas conclusões foram extraídas de estudos realizados em Projetos da Defesa Civil Americana. Desta forma, eles são válidos para Projetos de longa duração e grande porte, entretanto os Gerentes de Projetos de Pequeno Porte vêm encontrando dificuldades em aplicar esses axiomas, uma vez que é difícil estabilizar o CPI nesses casos.

O MVA é um método que pode ser aplicado a qualquer tipo de projeto, nos mais diversos nichos de desenvolvimento, como construção civil, tecnologia da informação, defesa civil, pesquisa e desenvolvimento, etc., entretanto existem condições necessárias para sua aplicação. O acompanhamento do custo deve ter informações econômicas, é necessário que seja feito um estudo detalhado da Estrutura Analítica de Projeto (EAP) e quais serão os eventos que poderão significar avanço físico do mesmo, qual o método que será utilizado para consideração deste, a fim de melhorar a sensibilidade do método e é extremamente importante que o projeto possua um orçamento bem definido. Existem diversas modalidades de contratos e tipos de relação Contratante/Contratada, na grande maioria destas a aplicação do MVA não é um problema, pois normalmente o sistema contábil utilizado é o da Contratada e as informações financeiras do primeiro e do segundo tendem a ser bastante individualizadas. Entretanto existem casos em que esse tipo de relação individualizada não acontece, como é o caso dos contratos por administração e contratos de Aliança.

Atualmente os Contratos de Aliança passaram a ser uma forma mais comum de contratação em todo o mundo, pois permite às empresas adquirirem tecnologias por elas desconhecidas, diminuir o custo executivo do projeto e, desta forma, atingir objetivos estratégicos desejados. A relação contratual entre as Partes, neste caso, precisa ser transparente, de extrema confiança e com grande fluxo de informação, pois existe uma tendência a se utilizar um sistema de governança através do controle ou da cooperação. O controle em geral surge numa tentativa de diminuir a vulnerabilidade do Contrato a comportamentos oportunistas que venham a ser apresentados por uma das partes. Já o segundo tipo de comportamento é uma tentativa de cooperar com o parceiro para atingir os objetivos individuais de cada parte e da Aliança como um todo. Entretanto este exige um grande esforço, devido às diferenças de culturas organizacionais, sendo necessária a adaptação de processos nas duas empresas e no contexto da Aliança, neste ponto a comunicação e interação entre as empresas é crucial, como descreve White & Lui (2005).

Como foi descrito por Gensemer & Kanagaretnam (2004), no contexto de Aliança existem dois tipos claros de contribuição, as que podem ser medidas monetariamente e as que

não podem, tais como conhecimentos específicos, patentes, tecnologia e licenças. Uma vez que esses custos são difíceis de serem verificados, existe uma tendência a não informar os custos relacionados às contribuições no contexto da Aliança. Foi descrito ainda que mesmo quando existe um comportamento cooperativo no sentido de aumentar ao máximo o lucro no contexto da Aliança, as empresas relacionadas podem apresentar um comportamento oportunista no sentido de apresentar os custos a serem divididos de forma a maximizar seu lucro individual. A transparência na apresentação dos custos é uma chave para melhorar o desempenho da Aliança e essa é a chave do sucesso para a mesma. Entretanto, essa apresentação é dependente principalmente de como será o sistema de remuneração das empresas.

1.1 Relevância e contribuição do estudo

É de grande importância para a Obra em estudo o desenvolvimento de uma metodologia definida que alie conceitos teóricos e práticos, seja através de uma nova ferramenta ou de um modelo matemático, tanto para que melhor determinação dos índices de desempenho do contrato, quanto para determinação do Valor Final do Empreendimento.

Hoje existe uma série de variações entre o orçamento e o que de fato vêm sendo executado no contrato estudado, tanto em relação ao escopo, quanto em termos de improdutividade geradas por diversos motivos, como também a dificuldade de determinação dos índices de desempenho. Esses problemas, acima de tudo, vêm gerando uma série de desentendimentos entre as partes no contexto da Aliança e precisam ser feitos da forma mais clara possível para uma melhoria na relação cooperativa.

Assim, foi importante criar uma metodologia própria para estimar o custo final do empreendimento, uma vez que o mesmo não se enquadra nos pré-requisitos mínimos para utilização dos métodos normalmente aplicados na Gestão de Projetos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo geral é propor um modelo para apurar o custo final executivo da obra e determinação de um modelo estatístico que melhore a estimativa final do empreendimento, cooperando para uma relação mais transparente junto à Contratante.

1.2.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico é:

- Determinação do Valor Final do Empreendimento, utilizando probabilidade a priori, para que durante todo o período de Contrato este seja determinado rapidamente e com segurança;
- Determinar qual a variabilidade que o Valor Final do Empreendimento pode apresentar baseado na curva de densidade da probabilidade dos entrevistados;
- Avaliar informalmente como os especialistas reagem à aplicação de procedimentos de elicitación de probabilidade a priori.

1.3 Metodologia

Esta dissertação trata-se de um Estudo de Caso em um Projeto de Construção Civil de uma Ferrovia, cujo período contratual era originalmente de 36 meses. Havia uma série de dificuldades para estimativa do valor final do Projeto, por se tratar de um contrato de Aliança. Devido a isso foi desenvolvida a metodologia aqui apresentada para realizar tal estimativa. Foi aplicado o Diagrama de Pareto para definição das variáveis a serem estudadas, as quais totalizaram 11 num total de 130 variáveis, e foram entrevistados 04 especialistas que se encontravam envolvidos com a obra direta ou indiretamente. As entrevistas foram realizadas após 28 meses de contrato, de modo que todos os especialistas já possuíam conhecimento sobre os problemas encontrados no contrato, tanto de tratativas comerciais como do ponto de vista de execução da obra. Através das entrevistas para elicitación da probabilidade a priori, foram calculadas as curvas de densidade da probabilidade para as 11 variáveis, de modo a calcular seu valor esperado e sua variabilidade.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos a seguir:

O Capítulo I, a Introdução, apresenta as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo.

O Capítulo II apresenta a descrição do problema e seu contexto dentro do Contrato em que foi aplicado o modelo apresentado neste trabalho.

O Capítulo III apresenta a base conceitual e a revisão bibliográfica utilizadas para embasar o estudo aqui apresentado.

O Capítulo IV apresenta o modelo, seus resultados numéricos e interpretação dos dados ali apresentados.

O capítulo V apresenta as conclusões e trabalhos sugestões para futuros trabalhos.

2 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E DE SEU CONTEXTO

2.1 Descrição do Contexto do Problema

A obra estudada nesta dissertação é uma ferrovia, que consiste em uma concessão entre o governo federal e uma empresa de logística que deverá explorar o empreendimento por 30 anos. A construção desta foi feita através de um contrato de Aliança firmado entre uma construtora e a empresa que irá explorar o empreendimento. Esta obra divide-se em duas fases: uma de construção de uma nova linha, desde a infraestrutura até a superestrutura ferroviária, e outro de recuperação de uma linha existente, o qual hoje está em más condições para uso.

O projeto foi estudado por cerca de 3 anos e o contrato foi assinado ainda com o projeto base, devido a ausência de projeto executivo naquela época. Uma vez que o projeto executivo ainda não havia sido desenvolvido, o nível de incerteza nesses dados era, e continua sendo, enorme. Uma obra de ferrovia inclui muitos estágios até a montagem da superestrutura ferroviária, o qual é tratado como serviços de infraestrutura. Uma vez que não existia projeto básico, foram determinadas algumas quantidades originais para assinatura do contrato, de modo que originalmente contava-se com 54,1 milhões de m³ de Terraplenagem, 1.830 km lineares de drenagem superficial, 40.519 metros lineares de bueiros tubulares e celulares, 71 pontes, 81 viadutos e 1 túnel. Após a primeira entrega dos projetos executivos, que aconteceu um ano após a assinatura do contrato, os números acima apresentados mudaram para 61,85 milhões de m³ de Terraplenagem, 2.093 km lineares de drenagem superficial, 41.709 metros lineares de bueiro tubulares e celulares, 74 pontes, 63 viadutos e 1 túnel. Após 28 meses de obra chegou-se a conclusão que o projeto executivo era obsoleto e existiam uma série de inconsistências no mesmo, dificultando a previsão de qual seria o valor final do custo de execução.

Além dos problemas gerados pelas grandes variações nos projetos, também existiam problemas quanto ao gerenciamento do contrato, pois, devido a modalidade de contrato utilizada, existia uma série de peculiaridades que inviabilizavam o acompanhamento de custo como normalmente é feito em obras de construção civil. A primeira peculiaridade é que a empresa responsável pela contratação dos insumos e subcontratados da obra era feita pela Contratante, cujo know-how é logística e não construção civil. Dessa forma há uma grande improdutividade gerada pelos processos utilizados em tal empresa relativos às contratações de serviços e aquisição de insumos para realização do empreendimento. As improdutividades

acarretadas por falta de materiais ou por patrulhas desbalanceadas não foram previstas nas composições para execução dos serviços, prejudicando o desempenho da Construtora, impedindo que a mesma se mantivesse fiel aos custos orçados para execução dos serviços.

Além das peculiaridades referentes à área de suprimentos, devido a modalidade de contrato, o sistema de caixa é obrigatoriamente fluxo zero, ou seja, não são permitidos provisionamentos de quaisquer tipos. Todos os custos devem ser reembolsados dentro do período de desembolso e não são feitos provisionamentos para mão de obra. Dessa forma os custos referentes a provisões de encargos são acompanhados separadamente e não se pode depreciar tecnicamente os custos referentes às instalações industriais e canteiros, além de não ser feito acompanhamento de estoque, de modo que uma vez desembolsado o valor da compra do material o mesmo é considerado como custo, mesmo que não tenha sido aplicado.

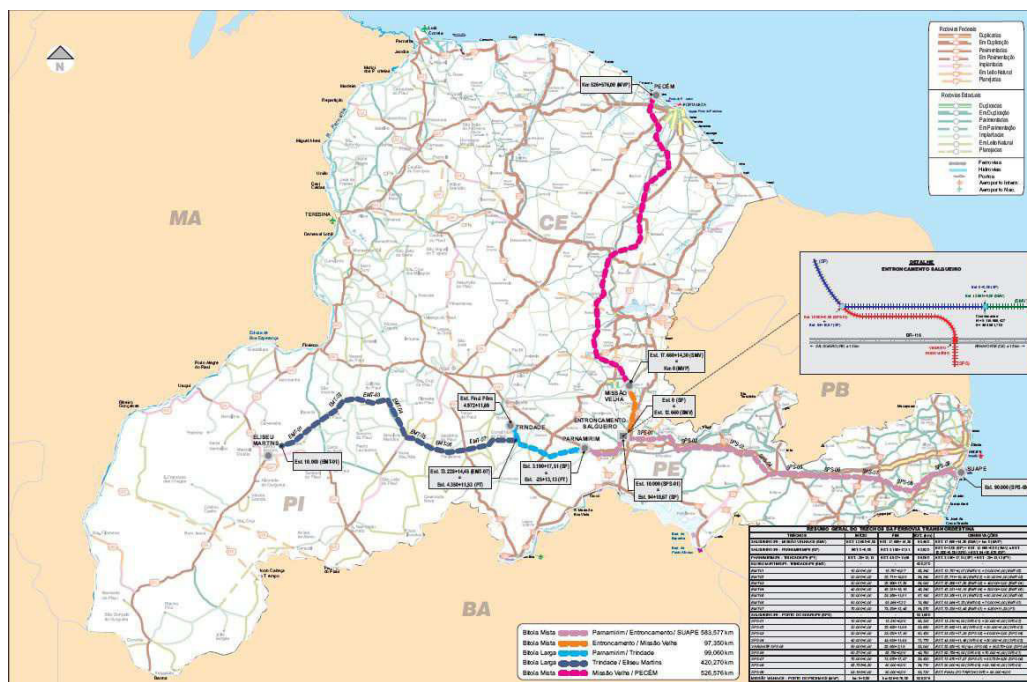


Figura 2.1 – Traçado da Ferrovia

O objetivo desta dissertação é estimar o valor final do contrato baseado nas informações coletadas nos últimos 28 meses. É comum em Projetos de grande porte e longo prazo utilizar-se o método do valor agregado para esta estimativa, entretanto existem algumas regras básicas que condicionam o seu uso, uma delas é que o índice de desempenho de custo obrigatoriamente deve ter estabilizado até a execução de 20% do contrato. Em projetos cujo acompanhamento de custo é econômico, leva-se em consideração o valor referente ao trabalho executado para valorização do custo. É relativamente simples aplicar o método do valor

agregado e calcular os índices de desempenho para comparação de avanço físico e avanço financeiro.

Em contratos de Aliança com fluxo de caixa zero, isso significa que toda a contabilização de custo é financeira e não econômica. Assim a informação de custo passa a ter como referência o desembolso e não os serviços executados. Em casos de pagamentos de materiais com 90 dias, o material é aplicado na data zero, mas só tem o valor desembolsado na data 90, entretanto, no momento de aplicação, do ponto de vista econômico, ele já é custo, mas não para este contrato. Como o fluxo de caixa do contrato passa a ser a informação de custo, então existe uma grande distorção entre o realizado e o planejado, além de ser difícil medir os índices de desempenho, pois os desembolsos referentes à implantação de áreas industriais aparecem sempre na implantação, não podendo ser depreciados tecnicamente. Uma vez que não existem índices de desempenho estáveis, então não se pode utilizá-los diretamente para estimativa do custo final do empreendimento.

Outro fator agravante a esse processo é que existe uma incerteza muito grande quanto ao projeto, pois após 28 meses de obra ainda existem grandes variações no mesmo. São adicionadas Obras de Arte Especiais que não foram previstas, como passagens de níveis, passagens de flora e fauna, encontros com as obras da transposição, e não foram feitos os estudos geológicos aprofundados para cálculo da movimentação de terra, de forma que com muita frequência materiais que foram previstos como 1ª ou 2ª categorias na verdade são de 3ª categoria. Existe estimativa de reaproveitamento de material para aterro onde muitas vezes o material não é aprovado no controle de qualidade para esses fins, sendo necessária a utilização de jazidas, que não foram previstas em projeto ou em orçamento. Existe uma série de atrasos na obra devido a problemas com desapropriações, obras protegidas pelo patrimônio histórico, interferência com áreas indígenas, entre tantos outros problemas que vêm atrasando o projeto e dificultam as estimativas reais sobre como será executado o restante do empreendimento e quanto tempo de fato será necessário para finalizá-lo.

Uma vez que o sistema de suprimentos é da contratante e os mesmos são responsáveis pela contratação de terceiros, além da aquisição de materiais e consumíveis, esses itens estão sempre seguindo os protocolos desta empresa. Entretanto, no setor de construção civil, ao contrário do setor de logística, muitas vezes a melhor negociação em termos de preço unitário do insumo não é a melhor negociação para o empreendimento, pois existe uma série de equipamentos e pessoas que ficarão improdutivas dependendo do tempo que aquela negociação irá durar. Desta forma, também existe uma grande improdutividade gerada neste

sentido, que não foi considerada anteriormente e que não é possível prever como será no futuro para fins de composição orçamentária.

Desta forma, uma vez que não era possível utilizar o método do valor agregado para estimar qual seria o valor final do empreendimento, escolheu-se utilizar a estimativa a priori de especialistas envolvidos neste contrato, os quais aplicaram o conhecimento adquirido ao longo dos 28 meses de obra, que já haviam sido executados, para o processo de elicitação da probabilidade. Com essas informações são modeladas estatisticamente curvas de densidade da probabilidade para os custos unitários dos valores que possuem maior sensibilidade aos problemas supracitados e, assim, determinar-se qual o valor esperado de custo unitário destes. Baseada nesta informação, também se determinará a variância desses custos com o intuito de verificar a faixa de variação que poderá haver no custo final do empreendimento.

Para a estimativa do valor final do projeto foi adotado o procedimento utilizado pela empresa objeto do estudo. Atualmente esta estimativa é feita calculando-se quanto deverá ser gasto até a conclusão com data base em março de 2012. A este valor soma-se o custo incorrido (inclusive com provisões de serviços que já foram aplicados mais ainda não foram pagos e de encargos de mão de obra) e subtrai-se o valor referente à instalação do parque industrial que ainda não sofreu depreciação técnica por produção, conforme exposto abaixo:

$$C_T = C_R + \sum_{i=1}^n Q_i * c_i - C_P \quad (4.1)$$

Onde: C_R é o Custo Realizado;

Q_i é a Quantidade a realizar do serviço i ;

c_i é o Custo Unitário do serviço i ;

C_P é o Custo referente às Provisões; e

C_T é o Custo Total.

Regularmente são utilizadas uma das equações 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ou 4.6 apresentadas no PMOK (PMI, 2005), entretanto não foi possível utilizar nenhuma delas no contexto desta pesquisa, pois era necessária a estabilização dos índices de desempenho.

$$ENT = CR + \frac{(ONT - CP)}{IDC} \quad (4.2)$$

$$ENT = CR + \frac{(ONT - CP)}{IDPr} \quad (4.3)$$

$$ENT = CR + \frac{(ONT - CP)}{IDC * IDPr} \quad (4.4)$$

$$ENT = CR + \frac{(ONT - CP)}{w_c * IDC + w_p * IDPr} \quad (4.5)$$

$$ENT = CR + \frac{(ONT - CP)}{IDC_x} \quad (4.6)$$

Onde: CR é o Custo Real;

ENT é a Estimativa No Término;

ONT é o Orçamento no Término;

CP é o Custo Planejado;

IDC é o Índice de Desempenho de Custo;

IDPr é o Índice de Desempenho do Planejamento;

w_c é o “peso” que o custo exerce sobre o ENT;

w_p é o “peso” que o planejamento exerce sobre o ENT; e

IDC_x é o Índice de Desempenho de Custo acumulado no tempo x.

Entretanto, uma vez que existe uma série de valores que já estão contabilizados no Custo Realizado, mas que no orçamento estão dissolvidos ao longo do tempo, então os Índices de Desempenho deste projeto não seriam confiáveis o suficiente para estimar o valor final do projeto sem que houvesse um tratamento de dados mais complexo nos índices. Outro ponto é que existe uma série de variações de cenários que precisariam ser levados em consideração para esta determinação, uma vez que não há segurança no projeto e não se tem certeza a respeito de como funcionará no futuro a estrutura de desapropriação e de suprimentos. Desta forma é sugerida uma abordagem estatística, a fim de considerar-se no estudo os diversos cenários da obra e verificar-se qual o grau de sensibilidade que as variáveis exercem sobre o valor final da mesma.

A fim de fazer este tratamento, foi utilizada a Probabilidade a Priori para estabelecimento do valor de custo unitário dos serviços com maior variabilidade, baseado no conhecimento prévio de especialistas da área, e assim determinar o valor estimado e sua variância para tais serviços. Uma vez que não se teria como estimar as quantidades reais de serviços foram estudadas apenas as variações nos custos unitários. As quantidades de serviços consideradas foram àquelas apresentadas na última revisão do projeto executivo da obra, a qual aconteceu em setembro de 2011. Também não foi estudada a dependência entre as variáveis, pois isso tornaria o problema complexo e tal dependência não seria facilmente medida no conhecimento a priori dos especialistas. As variáveis escolhidas para estudo foram

determinadas utilizando-se o diagrama de Pareto para determinação de quais serviços apresentariam maior peso em relação ao valor final da obra. A fim de aplicar a regressão linear simples para determinação dos parâmetros estatísticos relativos a estas variáveis, foi utilizada a distribuição de Webber para linearização das curvas de probabilidade acumulada das variáveis estudadas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

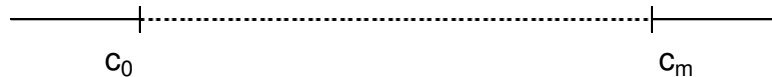
3.1 Base Conceitual

A base conceitual utilizada para trabalho é apresentada a seguir e consiste em descrever como funciona a elicitación de Probabilidade a Priori e as transformações utilizadas a fim de viabilizar a aplicação da Distribuição de Weibull.

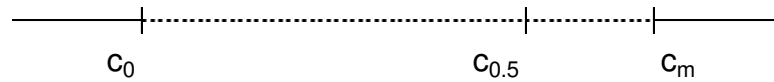
3.1.1 Elicitación de Probabilidade a Priori

A fim de encontrar a função densidade de probabilidade subjetiva dos custos unitários dos serviços escolhidos foi utilizado o método de distribuição subjetiva para uma proporção incerta descrita por Raiffa (1977). A determinação da função probabilidade é feita através de entrevistas com pessoas que tenham conhecimento a priori a respeito do tema e nesta entrevista o especialista determina quais intervalos têm probabilidades equiprováveis, conforme procedimento descrito a seguir:

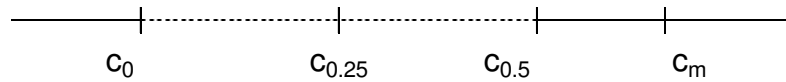
1. Inicialmente o problema é exposto ao especialista de forma ampla, informando que a função principal da entrevista é estimar o valor mais provável da variável c e não seu valor real;
2. Em seguida são apresentados valores de máximo (c_m) e mínimo (c_0) pré-estabelecidos para a variável c , esses valores também devem ser determinados através de conhecimento a priori e não devem fugir a realidade, pois quanto mais distante do real, mais difícil será de determinar o valor mais provável da mesma. Desta forma pode-se apresentar o diagrama abaixo a fim de facilitar o entendimento do entrevistador:



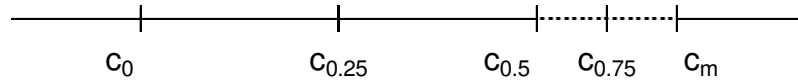
3. Em seguida deve-se conduzir o especialista a subdividir o intervalo em pontos equiprováveis. O intuito é determinar qual o valor limite para que a probabilidade de ocorrência seja igualmente provável, se maior que o mesmo ou menor que o mesmo. Note no diagrama abaixo que se optou por considerar o $c_{0.5}$ deslocado do centro, para não induzir o entrevistado a escolher um valor que fosse a média aritmética entre os valores de máximo e mínimo:



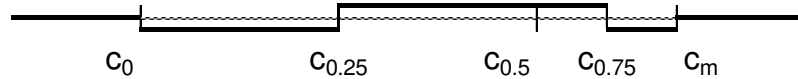
4. Agora que o especialista já conseguiu escolher o ponto de probabilidade equiprovável, então o mesmo irá determinar um ponto equiprovável dentro do intervalo c_0 - $c_{0.5}$. Desta forma se pode visualizar o diagrama abaixo:



5. Em seguida deve-se realizar o mesmo procedimento, entretanto no intervalo $c_{0.5}$ - c_m , conforme apresentado no diagrama abaixo:



6. Uma vez que se tenha dividido o intervalo em quatro intervalos equiprováveis, então deve ser realizado o teste de consistência com o entrevistado perguntando: Onde está a probabilidade “p” de “c” acontecer: dentro ou fora do intervalo $c_{0.25}$ - $c_{0.75}$?



7. Deve-se então avaliar se a resposta do entrevistado é coerente com o restante da entrevista. Neste caso, pode-se verificar pelo diagrama acima que a única resposta plausível é que a probabilidade de estar dentro do intervalo é exatamente a mesma de estar fora, pois se existir probabilidade de tender a um intervalo ou outro, então se deve novamente determinar $c_{0.5}$ e em seguida $c_{0.25}$ e $c_{0.75}$.
8. Após conclusão desta etapa deve-se repetir o procedimento para obtenção do maior número de pontos da função densidade de probabilidade, determinando-se então os valores de $c_{0.125}$, $c_{0.375}$, $c_{0.625}$ e $c_{0.875}$. Uma vez determinados estes valores, deve-se obter a tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Distribuição de Probabilidade Acumulada Fictícia

c	F(c)
c _{0.01}	0.010
c _{0.125}	0.125
c _{0.25}	0.250
c _{0.375}	0.375
c _{0.5}	0.500
c _{0.625}	0.625
c _{0.75}	0.750
c _{0.875}	0.875
c _{0.99}	0.990

Uma vez obtidos os dados da entrevista, dá-se início a análise estatística dos dados, com o intuito de ajustar os pontos a uma distribuição de probabilidade. A estatística clássica exigiria que a distribuição fosse feita baseada em dados que não seriam facilmente obtidos, uma vez que os impactos mensais sobre as variáveis não são uniformes e a variabilidade entre os mesmos é alta, dessa forma, utilizamos o processo de estimativa bayesiana. O objetivo é modelar a curva de densidade da probabilidade a fim de determinar o valor esperado para o custo unitário das variáveis escolhidas a partir da probabilidade a priori utilizando o teorema de Bayes.

3.1.2 Distribuição de Weibull

Em 1951 Weibull apresentou uma distribuição probabilística, que posteriormente veio a ser conhecida como Distribuição de Weibull, cujo principal diferencial é sua capacidade de adaptação e flexibilidade para modelar diversos tipos de distribuição de probabilidade. Neste artigo, que foi publicado no ASME Journal of Applied Mechanics, foi demonstrada sua aplicabilidade a cinco problemas diferentes, entretanto 5 dos problemas eram relacionados a comportamentos mecânicos de materiais diversos. A fórmula apresentada para cálculo da probabilidade acumulada foi a equação 3.1.

$$F(c) = 1 - e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta} \quad (3.1)$$

Onde:

F(c) é a Função de Probabilidade Acumulada do custo unitário do serviço k;

c é o custo unitário do serviço k;

$f(c)$ é a função densidade de probabilidade do custo unitário do serviço

η é o parâmetro de escala da função $f(c)$

β é o parâmetro de forma da função $f(c)$

A fim de aplicar a Regressão Linear Simples nos dados obtidos através da função de probabilidade acumulada, sem precisar utilizar o papel de Weibull é preciso fazer algumas transformações na equação 3.1. A princípio precisa-se isolar a exponencial em um dos pontos da equação, conforme se pode verificar na equação 3.2.

$$1 - F(c) = e^{-\left[\frac{c}{\eta}\right]^\beta} \quad (3.2)$$

Em seguida, aplica-se o logaritmo neperiano nas duas parcelas da igualdade, como pode ser visto na equação 3.3.

$$\ln(1 - F(c)) = -\left[\frac{c}{\eta}\right]^\beta \quad (3.3)$$

Uma vez aplicado o logaritmo neperiano, o sinal negativo da antiga exponencial deve passar para dentro do logaritmo, como visto na equação 3.4.

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(c)}\right) = \left[\frac{c}{\eta}\right]^\beta \quad (3.4)$$

A seguir, aplica-se novamente o logaritmo neperiano em ambas as parcelas e chega-se a equação 3.5, que, como pode ser verificado, é uma equação linear.

$$\ln \ln\left(\frac{1}{1 - F(c)}\right) = \beta \ln(c) - \beta \ln(\eta) \quad (3.5)$$

Desta forma chega-se a equação 3.6.

$$y = ax + b \quad (3.6)$$

Onde:

$$y = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - F(c)} \right);$$

$$a = \beta;$$

$$x = \ln(c);$$

$$b = -\beta \ln(\eta)$$

A partir dessa transformação pode-se aplicar a regressão linear nos dados obtidos para a probabilidade acumulada, utilizando-se a distribuição de Weibull.

3.2 Valor Agregado

Lipke (2003) apresenta o conceito de cronograma agregado, baseado no fato de que os índices de desempenho (variação e índice) de custo são bastante confiáveis, entretanto os índices de desempenho do cronograma não indicam atrasos ao final do projeto. A variação de cronograma ao final do projeto sempre é 0.0 (zero), já o índice de desempenho do cronograma sempre termina em 1.0 (um), ou seja, caso o projeto termine antes do prazo o índice de desempenho de cronograma será exatamente igual a se terminar no tempo e se terminar atrasado. Dessa forma ele não é um bom indicador. Focado no conceito de como funcionam os índices de custo, este artigo sugere o que outros autores já haviam sugerido: transformar o índice de desempenho e a variação de cronograma em um fator em função do tempo e não em função do custo referente àquele tempo. Desta forma, ao final do projeto, caso o mesmo termine antes do período planejado, o índice de desempenho de cronograma será maior que 1 (um) e se terminar após o cronograma será menor que 1 (um).

Lipke (2006) descreve como a estatística pode ser utilizada, se associada ao MVA, para determinação do valor final de um projeto. Ele descreve a existência de uma série de limitadores, pois os valores referentes aos índices de desempenho de custo precisam formar uma curva log-normal. É necessário um grande número de dados para utilização da curva normal nesta aplicação, caso a quantidade de dados seja inferior a 30 pontos, então será necessária usar uma distribuição T-Student, deve-se levar em consideração que, estatisticamente, a amostra é sempre infinita, a fim de corrigir essa informação, então é aplicado um coeficiente de correção para adaptação à curva. Apesar de todas as deficiências e limitadores é relativamente fácil chegar-se a uma estimativa próxima do real, uma vez que se leve em consideração todas as variáveis e complexidades referentes às mesmas, pois neste artigo foram apresentadas duas formas de cálculo: uma metodologia simplificada e uma

complexa. A diferença entre a metodologia simplificada e a complexa foi bastante significativa e a metodologia complexa teve uma variação entre os limites de confiança bem pequena, os valores ficaram muito próximos à média.

Lipke et al (2008) re-apresenta os conceitos falados anteriormente sobre estimativa do valor final do projeto utilizando métodos estatísticos vistos em Lipke (2006) e o conceito de cronograma agregado apresentado em Lipke (2003) e os aplica a dados de 12 projetos já finalizados, totalizando 497 meses de informações. Neste artigo os autores chegam a conclusão que é possível estimar o período que será necessário para finalizar o projeto, assim como o custo total do mesmo com 98% de probabilidade de acertar as informações a partir da conclusão de 10% do projeto, pois neste ponto os valores máximo e mínimo para o período de conclusão e custo final já estabilizaram e se direcionam para o valor final utilizado na conclusão dos projetos. Quando se utiliza uma probabilidade de 90%, então é necessário chegar aos 60% de conclusão para estabilização dos índices de desempenho. Neste artigo foi utilizado logaritmo neperiano a fim de atingir a curva normal com os dados dos índices de desempenho de custo e cronograma.

Pajares & Lopes-Paredes (2010) fizeram um estudo agregando informações de risco ao Método do Valor Agregado e criaram dois novos índices: o índice de controle de custo e o índice de controle do cronograma. Esses índices são encontrados quando se utiliza a probabilidade de Monte Carlo às atividades que fazem parte do projeto. O intuito é verificar se a variação de custo e cronograma está dentro do aceitável para o projeto ou se está acima e precisa de interferência em sua continuidade. Este modelo inclui um comparativo entre os índices de folga em custo e em planejamento com os índices de variação de custo, encontrados através do Método do Valor Agregado, e com os índices de variação de cronograma, utilizando o conceito apresentado anteriormente por Lipke (2003) de Cronograma Agregado. Os índices de controle de custo e cronograma são calculados baseados no grau de criticidade da atividade para o projeto e devem diminuir com a proximidade da finalização do mesmo, uma vez que diminuem os riscos de atraso.

Vandervoorde & Vanhoucke (2006) fazem em seu artigo uma revisão a respeito dos métodos de estimativa de tempo para finalizar um projeto baseados no Método do Valor Agregado. Eles chegaram a conclusão que em projetos cujo planejamento das atividades é linear não existe nenhuma diferença entre as informações calculadas pela taxa do valor agregado, teoria desenvolvida por Anbari (2003) em que se calcula uma taxa de crescimento para a duração do projeto devido a atrasos no planejamento, a duração agregada, teoria

desenvolvida por Jacob (2006) em que se calcula a duração do projeto adicionando ao período atual a duração que falta acontecer para finalização do projeto utilizando as informações originais de planejamento, e o cronograma agregado desenvolvido por Lipke (2003). Entretanto, em projetos reais o cronograma segue a curva S, de forma que a linearidade não é válida. Ao aplicar os métodos acima descritos em um projeto simples, baseado no planejamento de uma única atividade e aplicando a curva de aprendizado, Vanrvoorde e Vanhoucke chegaram à conclusão que apenas o método do cronograma agregado é único confiável durante todo o período do projeto, uma vez que os demais falharam nas estimativas finais.

Vanhoucke (2011) compara o gerenciamento de projeto através de uma perspectiva top-down usando o Método do Valor Agregado e de uma perspectiva bottom-up baseada na Análise de Risco do Cronograma. Durante o estudo foi utilizado o método de Monte Carlo para fazer a simulação dos dados com o intuito de analisar a eficiência de cada método. O resultado final foi incorporar os resultados do estudo ao software ProTrack, criando uma interface de assistente em que o software ajuda o usuário a definir qual o melhor método para acompanhamento de seu projeto.

Warburton (2011) criou um modelo para determinar o valor final e o tempo total para execução de um projeto integrando os valores dos índices de custo e cronograma no tempo t . O modelo apresentado leva em consideração os atrasos nas atividades a serem executadas, além do acréscimo de tempo e do custo referente ao retrabalho necessário para finalização do projeto. Neste artigo foi comprovada a aplicabilidade em projetos de software, pois foi utilizada uma curva de trabalho específica para este tipo de atividade, entretanto ainda pode ser estudada a aplicabilidade do modelo a outros tipos de projeto.

Naeni, Shadrokh & Salchipour (2011) sugeriram e aplicaram um modelo baseado em álgebra fuzzy a fim de determinar o avanço físico de um projeto, assim como seu valor final para execução. O método foi sugerido para aplicação em projetos em que existe dificuldade para determinar qual o percentual de trabalho de fato executado, mas que linguisticamente seja fácil de chegar a conclusões, como por exemplo, se o avanço foi de metade do trabalho a executar ou se está muito próximo do fim ou se está apenas no começo. Uma vez que o valor agregado passa a ser um elemento de conjunto fuzzy, pois o avanço é físico o é, então todos os demais índices também se tornam elementos de conjuntos fuzzy. Os autores utilizaram as fórmulas sugeridas no PMBOK (PMI, 2005) para cálculo do índice de custo e valor final do projeto e utilizaram os conceitos apresentados por Lipke (2003) a respeito de cronograma

agregado. A conclusão foi de que em projetos em que há uma grande incerteza quanto ao avanço físico, utilizar a álgebra fuzzy auxilia no gerenciamento do projeto, uma vez que se podem analisar todos os cenários referentes ao avanço sugerido linguisticamente. Naeni e Salehipour (2011) utilizaram o método descrito acima, mas uma vez que não havia confiabilidade na determinação da faixa em que se encontrava o avanço físico usaram o método do corte α . Este método utiliza a experiência do gerente para determinar em quanto, numa escala de 0 (zero) a 1 (um), aquele avanço é confiável, sendo 0 o menos confiável e 1 o mais confiável. A partir deste corte são derivados os valores referentes às duas faixas mais próximas para nova classificação dos conjuntos fuzzy. O intuito é diminuir o risco da informação e pode ser feita uma análise de sensibilidade a partir deste corte.

3.3 Probabilidade a Priori

Quando se trata de probabilidade a priori com frequência os pesquisadores se direcionam a duas questões marcantes: qual metodologia utilizar para ajudar o especialista no seu processo de elicitação, consequentemente ajudando o responsável pela tomada de decisão a ter segurança a respeito da informação, e como agregar as informações de diversos especialistas.

Entani & Sugihara (2012) e Bouyssou & Marchant (2011), cada uma a sua forma, sugeriram métodos baseados em situações onde os especialistas tomam decisões baseadas em duas opções por vez, com o intuito de ajudar os especialistas definirem suas preferências, no caso da função utilidade. Bouyssou & Marchant (2011) sugeriram uma metodologia em que se considerava uma situação aceitável ou inaceitável, diante das consequências apresentadas, ele chama atenção, entretanto, para a necessidade desta informação ser numérica e para o fato de o mesmo não ter utilizado os primitivos históricos a fim de realizar a tomada de decisão. Os primitivos neste caso não são binomiais, como normalmente é encontrado, mas são função de atratividade e não atratividade. Este estudo é extremamente útil para casos em que não existem primitivos bem definidos, mas o mesmo apresentou inconsistências que ainda precisam ser estudadas. No caso de Entani & Sugihara (2012), eles decidiram apresentar par a par as opções para a tomada de decisão, de modo que o especialista analisa sempre duas opções e uma vez definidas suas preferências, então ele pode ordená-las a fim de definir a função utilidade.

A fim de agregar preferências Liu et al. (2012) desenvolveu uma metodologia para agregar a função densidade de probabilidade dos especialistas. A ideia principal adotada é que

o peso do especialista está associado à área entre a curva de densidade da probabilidade do especialista e curva de densidade da probabilidade agregada de todos os especialistas. O autor alega que essa informação é mais consistente do que os métodos baseados nas médias das curvas de densidade da probabilidade, pois a área possui mais informações que a média. Outra abordagem para o modelo apresentado é transformar o problema original em um problema de otimização, em que os pesos tornam-se variáveis e a função objetivo, neste caso é a soma da diferença entre as áreas somadas e as áreas individuais de cada especialista.

Crès et al (2011) sugere uma forma de agregação de crenças de especialistas avessos aos riscos. Neste artigo, leva-se em consideração que aquela informação a qual o especialista acredita ser verdadeira é uma distribuição de probabilidade e o responsável pela tomada de decisão pode chegar a um modelo agregado da função utilidade tomando decisões de forma binária. Desta forma, as situações consideradas viáveis são agregadas pelo responsável pela tomada de decisão, dessa forma o decisor irá agregando as informações, entretanto levando-se em consideração a visão mais otimista, sempre, ao contrário da visão bayesiana, que leva em consideração a agregação das visões pessimistas. Neste artigo, uma vez que se considera a agregação pela média, não se leva em consideração que as variáveis são independentes.

3.4 Considerações Gerais

Uma vez que se verifica a impossibilidade de aplicação do modelo do valor agregado voltado para contratos de Aliança, encontrou-se viabilidade do estudo na probabilidade a priori para solução do problema encontrado. Após elicitación da probabilidade utilizando o método de Raiffa (1977) é preciso fazer a escolha de qual seria a melhor distribuição estatística para o estudo. Existem diversas distribuições com formato (de curva) que poderiam ser aplicadas a este problema, como por exemplo, Lognormal, a qual é muito usada para estudo de tempos de manutenção; a Beta, que é muito usada para estudo nos períodos de execução de serviços na gestão de projetos; Gama, muito é muito aplicada associada à probabilidade a priori, devido à facilidade analítica de combinar com outras funções). Embora a Weibull tenha sido criada para estudo no contexto de tempos de falhas de equipamentos, ela é muito apropriada para representar probabilidade a priori. Isto foi observado em diversos estudos empíricos e aplicações desenvolvidas como podem ser verificados em Almeida (2012), Brito & Almeida (2009) e Brito & Almeida (2012).

4 MODELO PROPOSTO PARA ESTIMATIVA DE CUSTO

Este capítulo foi dividido em três subitens: no primeiro será apresentado o modelo proposto, no segundo serão apresentados os resultados encontrados e no terceiro, e último, serão discutidos estes resultados, inclusive com comparativos comportamentais entre os entrevistados.

4.1 Descrição do Modelo

O objeto de estudo desta dissertação é a determinação do custo final para construção de uma ferrovia. O orçamento que origina tal acompanhamento de custo é baseado em uma planilha de quantidades de serviços e custos unitários, onde seu somatório tem como resultado final o orçamento da obra a ser executada. O processo de re-orçamento é realizado nas obras de Construção Civil uma vez a cada 3 meses, o qual é um período longo o suficiente para haver um comparativo entre os valores de orçamento e de custo realizado, mas curto o suficiente para que se possam corrigir os problemas encontrados. A fim de otimizar a estimativa deste valor de custo unitário, foram estabelecidas as curvas de densidade da probabilidade a priori dos custos unitários, que serão denominados neste trabalho de variáveis, com o intuito de melhorar a assertividade em relação ao valor final do empreendimento. Desta forma, o modelo proposto para este estudo é o apresentado na equação 4.1.

$$E_c(C_T) = \int_{c_i} Q_{T_i} * c_i * f(c_i) dc_i \quad (4.1)$$

Onde:

$E_c(C_T)$ é a estimativa de Custo Total;

Q_{T_i} é o Quantidade total de serviço “i”;

$f(c_i)$ é a função densidade de probabilidade do custo unitário do serviço “i”.

Deve-se considerar que o projeto é composto de diversos tipos de serviços, tais como terraplenagem, obra de arte corrente, obra de arte especial e superestrutura. Esses são subdivididos em serviços, tais como: escavação, transporte, compactação, bueiro tubular, drenagem superficial, drenagem profunda, bueiro celular, fabricação de dormentes, fabricação de trilho longo soldado, montagem de grade de superestrutura ferroviária, solda elétrica de

trilhos, entre outros. Desta forma a função Custo Total passa a ser descrita conforme a equação 4.2, considerando o custo unitário do item k ($i=k$), como variável aleatória com função densidade de probabilidade $f(c)$.

$$E_c(C_T) = \int_0^{\infty} \left(C_R + \sum_{i=1}^n Q_i * c_i - C_P \right) f(c) dc \quad (4.2)$$

Onde:

$E_c(C_T)$ é a estimativa do custo total

C_R é o custo realizado

Q_i é a quantidade do serviço i a ser realizado

c_i é o custo unitário do serviço i a ser realizado

C_P é o custo de provisões

$f(c)$ é a função densidade da probabilidade do custo unitário, a qual deverá ser representada, posteriormente, por $f(c_K)$ é a função densidade da probabilidade do custo unitário do serviço k

Uma vez que as parcelas referentes ao Custo Realizado e ao Custo de Provisões não serão alteradas pela função densidade da probabilidade do custo unitário do serviço k, pois ambas são resultantes de fatos que já aconteceram e independem deste valor, então se podem retirar ambas as parcelas de dentro da integral e resultando na equação 4.3.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=1}^n Q_i * c_i \right) f(c_i) dc \quad (4.3)$$

Considerando o custo unitário dos itens k e j ($i=k$ e $i=j$), como variável aleatória com função densidade de probabilidade $f(c)$, encontra-se a equação 4.4.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \left(\sum_{i=1}^n Q_i * c_i \right) f(c_k) f(c_j) dc_k dc_j \quad (4.4)$$

Assume-se independência probabilística entre c_k e c_j . Em seguida considera-se que será adicionada mais uma variável i a equação, de modo que a ter-se-á k, j e i na mesma, que se apresentaria conforme equação 4.5.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + \int_{0_j}^{\infty_j} \int_{0_i}^{\infty_i} \int_{0_k}^{\infty_k} (Q_j * c_j) * (Q_i * c_i) * (Q_k * c_k) f(c_j) f(c_i) f(c_k) dc_j dc_i dc_k \quad (4.5)$$

O problema em questão apresenta 133 variáveis aleatórias, a serem estudadas, entretanto não são todas as variáveis que sofrem impacto de produtividade, não sendo necessária a análise da função probabilidade de todos os serviços envolvidos no processo. Desta forma, a fim de escolherem-se quais precisariam de estudo e verificado, aplicado o Diagrama de Pareto, quais seriam as variáveis mais representativas dentro do universo estudado. Através desta análise foram escolhidas 11 variáveis a serem estudadas, as quais representam 55% do custo orçado a incorrer. No caso das variáveis que não foram consideradas no estudo, serão mantidas as informações históricas de orçamento a fim de determinar o valor final do Empreendimento. Desta forma o modelo real para o problema seria o apresentado na equação 4.6.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + \int_{0_j}^{\infty_j} \int_{0_i}^{\infty_i} \dots \int_{0_k}^{\infty_k} (Q_j * c_j) * (Q_i * c_i) * \dots * (Q_k * c_k) f(c_j) f(c_i) \dots f(c_k) \quad (4.6)$$

Neste caso a variável j seria a primeira variável a ser estudada e k seria a décima primeira. As variáveis aqui descritas, no caso deste empreendimento, são chamadas de “serviços diretos” e os serviços a serem estudados são: mão de obra de montagem de grade, fabricação de brita para lastro, fabricação de dormentes, bueiros celulares, concreto de drenagem, formas para concreto de drenagem, concreto de obras de arte especiais, forma e escoramento para concreto de obras de arte especiais, escavação, carga e transporte de material de 1ª e 2ª categorias, escavação, carga e transporte de material de 3ª categoria e compactação de aterros.

Com o intuito de simplificar o problema, foi assumido que todas as variáveis são independentes, embora em alguns casos exista dependência quanto a produtividade dos serviços entre as mesmas. Entre as variáveis analisadas apenas seria possível perceber esta dependência entre escavação, carga e transporte de materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias e aterros. Uma vez que para a construção do aterro é necessário utilizar os materiais provenientes da escavação ou aqueles provenientes de jazidas próximas ao local do empreendimento, de forma que a distância média de transporte e a necessidade de serem feitas escavações em jazidas externas, ou de serem feitos estoque de escavação, conhecidos como bota-espera, para

posteriores aterros oneram o valor do empreendimento. Uma vez assumida a independência probabilística entre as 11 variáveis a equação final do problema em estudo é apresentada na equação 4.7.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + \int_{0_j}^{n_j} (Q_j * c_j) f(c_j) dc_j + \int_{0_i}^{n_i} (Q_i * c_i) f(c_i) dc_i + \dots + \int_{0_k}^{\infty_k} (Q_k * c_k) f(c_k) dc_k \quad (4.7)$$

Uma vez que a parcela Q , em qualquer serviço que venha a acontecer, não é função da variável aleatória c , então podemos tirá-lo da parcela que se encontra na integral. Desta forma a equação passa a ser representada conforme apresentado na equação 4.8.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + Q_j * \int_{0_j}^{n_j} c_j f(c_j) dc_j + Q_i * \int_{0_i}^{n_i} c_i f(c_i) dc_i + \dots + Q_k * \int_{0_k}^{\infty_k} c_k f(c_k) dc_k \quad (4.8)$$

Pode-se perceber que dentro da integral encontrou-se apenas a equação que equivale ao valor esperado da função densidade da probabilidade do custo unitário, a qual pode ser analisada na equação 4.9.

$$E(c_i) = \int_{0_j}^{\infty_i} c_i f(c_i) dc_i \quad (4.9)$$

Substituindo a equação 4.9 na equação 4.8, encontra-se a equação 4.10.

$$E_c(C_T) = C_R - C_P + Q_j * E(c_j) + Q_i * E(c_i) + \dots + Q_k * E(c_k) \quad (4.10)$$

Através desta equação consegue-se calcular o valor esperado para o Custo Total do Empreendimento em questão, mas não existe garantia de aproximação de resultados, uma vez que os valores calculados baseiam-se na média dos custos unitários estudados. A fim de determinar a faixa de segurança para o valor final da obra, poder-se-ia utilizar o desvio padrão destes custos e assim determinar um valor mínimo e um máximo a ser gasto na construção do empreendimento. Existem duas formas de trabalhar com esta informação. Na primeira, no lugar de utilizar-se a estimativa pontual utilizar-se-ia o intervalo de confiança, esta é uma

abordagem confiável e bastante utilizada, entretanto não se enquadra no problema em questão, pois seria necessário que os dados se baseassem em uma distribuição normal para sua análise e a distribuição adotada nesta pesquisa foi a de Weibull. A segunda opção seria utilizar os valores determinados através da fórmula probabilidade cumulativa da distribuição de Weibull utilizando a metodologia de percentil, a qual pode ser facilmente aplicada no caso deste problema e que foi adotada a fim de obter-se uma margem de segurança para o mesmo.

4.1.1 Elicitação da probabilidade a priori

O primeiro passo dentro do processo de contratação de uma construtora para execução de uma obra de construção civil é orçamento, a fim de determinar o valor a ser desembolsado pela empresa contratante. O cálculo do orçamento é feito baseado em uma planilha com levantamento de quantitativos de projeto, discriminando todos os serviços que precisarão ser executados. A fim de estimar o valor de orçamento de cada serviço é feita uma composição unitária de custo, onde se estima a quantidade de mão de obra, horas de equipamentos e materiais que serão necessários a sua execução. Dentro desses valores levam-se em consideração algumas perdas a fim de existir uma margem de segurança para aquele valor de orçamento. Ao final deste processo determinam-se parâmetros e premissas para que seja possível atingir tal valor de orçamento no custo da obra, o mesmo é pactuado formalmente dentro da empresa e durante o período de obra este valor é acompanhado mês a mês, comparando o valor executado com o valor orçado do empreendimento.

Dentro de um orçamento existem serviços com produtividade variável e outros cujo impacto em termos de produtividade é muito baixo. Os de baixo impacto normalmente se devem ao fato de já serem “comprados prontos”, como é o caso do aço cortado e dobrado. Neste caso a construtora envia o projeto à empresa fornecedora de aço e a mesma vende o aço beneficiado, o que implica em não haver perdas para a construtora, nem de material, nem em produtividade, uma vez que o material é entregue na obra e a mão de obra local monta a peça, que corresponde a 5% do custo do serviço. Outros serviços, no entanto, sofrem fortes impactos de produtividade devido à cadeia de suprimentos ou a problemas encontrados na área de execução do serviço, como é o exemplo de escavação, carga, descarga e transporte de material de 1ª e 2ª categoria. Uma vez que este serviço é composto basicamente por locação de equipamento, quando não são locados os equipamentos necessários, nas quantidades necessárias a patrulha ficar equilibrada, há um grande aumento no custo unitário, gerado pelos equipamentos que ficarão ociosos. O mesmo se dá no caso de interferências na área de

execução do serviço, as quais podem ser com outras obras, chuvas ou problemas com desapropriação que levem estes equipamentos a ficarem parados.

Os impactos das interferências nos serviços não são considerados no custo unitário do serviço, uma vez que não é possível prever sua influência. Esses valores fazem parte da Matriz de Risco do Empreendimento e são considerados separadamente no valor final deste. Durante o desenvolvimento da obra, esses parâmetros vão sendo inseridos no custo unitário do serviço e passam a ser considerados como parâmetros para o restante da obra, ou backlog, como costuma ser chamado. Esses valores normalmente são extrapolados para o saldo a realizar da obra utilizando o método do valor agregado, que uma vez que o seus índices estejam estabilizados, podem ser considerados como informação bastante confiável. Conforme descrito no item 2.2, desta dissertação, a obra estudada nesta dissertação não preenche os requisitos mínimos para utilização deste método, de forma que não é possível extrapolar os custos unitários para o backlog e determinar o valor final da obra adotando tal metodologia.

A solução encontrada foi então utilizar o conhecimento de especialistas do empreendimento, os quais estão ambientados com a problemática descrita, para calcular este valor. A intenção é não calcular de forma pontual, mas com a curva de densidade da probabilidade das variáveis escolhidas, utilizando o conhecimento a priori de especialistas inseridos no contexto da obra. Pois desta forma, o parâmetro deixa de ter probabilidade 100% em apenas um número e passa a se basear em uma curva de densidade da probabilidade de ocorrência do custo unitário, diminuindo assim o erro nesta estimativa.

O cálculo da probabilidade a priori foi feito a partir das entrevistas aplicadas em 4 especialistas baseadas na metodologia descrita no item 3.1.1. Uma vez feitas as entrevistas dos 11 itens com os especialistas foi aplicado o método da regressão linear simples, a fim de fazer a correlação entre o custo unitário e sua probabilidade de ocorrência. Esta metodologia foi escolhida, por ser um bom método para correlacionar variáveis aleatórias em um modelo empírico e que considera que os dados seguem a distribuição normal, a fim de serem feitos os testes estatísticos de correlação entre as variáveis.

Uma vez que os dados provenientes da pesquisa indicavam uma curva assintótica, com pontos de inflexão claros, indicando ser logarítmica, foi utilizada uma transformação para a distribuição de Weibull a fim de permitir a utilização da regressão linear simples. A distribuição de Weibull foi a escolhida neste caso, por permitir uma grande flexibilidade para

modelar os dados e por ser largamente utilizada em situações de incerteza, como era o caso dos dados em estudo.

Como vantagens para o uso do conhecimento a priori de especialistas podem-se enumerar:

1. Permite considerar variações nos serviços que não são passíveis de serem medidas em campo ou tecnicamente;
2. Diminui o erro no valor final, uma vez que permite considerar uma variabilidade nos dados e não se ater a apenas um valor para o custo unitário, considerando que existem diversas implicações e premissas para que aquele valor seja estimado;
3. Aumenta a margem de segurança do orçamento, diminuindo a necessidade de uso da Matriz de Risco para cálculo de contingência, o qual não era bem aceito pelo Contratante e que tende a ser falho quando o empreendimento está em andamento;
4. Permite expurgar as informações financeiras do cálculo econômico sem grandes dificuldades, o que é extremamente complicado quando se trata de um orçamento comum;
5. Redução no tempo para determinar uma informação em termos de valor e que é bastante confiável.

Como desvantagens para o uso de conhecimento a priori de especialistas podem-se listar:

1. Existe uma grande rejeição cultural por parte do mercado a esse tipo de metodologia devido a falta de conhecimento dos profissionais quanto a eficiência e confiabilidade do método;
2. Há uma forte tendência dos especialistas a manipularem os dados para informações que os mesmos consideram como sendo “históricas”, mas que não se adequam ao empreendimento em questão;
3. Em obras complexas existe uma grande quantidade de serviços, sendo necessária a utilização do Diagrama de Pareto para escolha das variáveis a serem estudadas, o que pode gerar erros, no sentido de não serem considerados serviços que podem vir a sofrer grandes variações ao longo do empreendimento;
4. Uma vez que é necessária a análise de diversas variáveis, o processo torna-se cansativo e ao longo do tempo o entrevistado tende a utilizar a média aritmética

para fazer a distribuição probabilística, principalmente em serviços onde há grande insegurança quanto à distribuição esperada.

Sem dúvida a metodologia aqui apresentada pode ajudar o mercado da construção a dinamizar o processo de reorçamento dentro de obras por administração e aliança. Em ambos os tipos de contratação o que tende a atrapalhar tal processo é a dificuldade em fazer estimativas para os serviços que ainda precisam ser executados, levando-se em consideração todas as dificuldades encontradas com o sistema de suprimentos e agilidade das contratantes para a solução de problemas no contexto do empreendimento. Entretanto, seria necessário um incentivo corporativo para aceitação da metodologia, pois alguns especialistas, especialmente aqueles que estão mais presos a conceitos antigos, apresentam dificuldades em aceitar o método e acreditar que a informação torna-se mais confiável desta forma.

4.1.2 Solução por valor esperado

Após processo de entrevista, foi determinada a curva da probabilidade acumulada. A partir desta informação e utilizando-se a regressão linear simples nos dados adaptados à distribuição de Weibull, conforme descrito no item 3.1.2, calculou-se a função densidade de probabilidade para cada uma das variáveis aleatórias. A partir desta informação, pode-se calcular o valor esperado das variáveis estudadas. A equação obtida para o Valor Esperado da função de Weibull é a apresentada na equação 4.11 (Montgomery & Runger, 2009).

$$E(C) = \eta * \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (4.11)$$

Onde:

$E(C)$ é o Valor Esperado de c

η é o parâmetro de escala da função $f(c)$

β é o parâmetro de forma da função $f(c)$

Γ é a função Gama

A função Gama deve ser calculada conforme apresentado na equação 4.12.

$$\Gamma(r) = \int x^{r-1} e^{-x} dx, \text{ para } r > 0 \quad (4.12)$$

Após calculado o valor esperado de cada custo unitário, então pode-se calcular o valor esperado para o Custo Total de Orçamento do Empreendimento. Em seguida calculou-se a

variância de cada uma das variáveis aleatórias utilizando-se a fórmula apresentada na equação 4.13.

$$V(C) = \eta^2 * \Gamma(1 + \frac{2}{\beta}) - \eta^2 * [\Gamma(1 + \frac{1}{\beta})]^2 \quad (4.13)$$

Onde:

$V(C)$ é a variância de $E(C)$

η é o parâmetro de escala da função $f(c)$

β é o parâmetro de forma da função $f(c)$

Γ é a função Gama

Uma vez que valor calculado é pontual, não permitido qualquer margem de segurança, é importante estipular uma faixa de variação para o mesmo. A seguir será descrito como deve ser calculada esta faixa de variação.

4.1.3 Solução com margem de segurança

Uma vez calculada a média da função densidade da probabilidade, foi necessário calcular a margem de segurança para esta informação. Foi adotado o procedimento do percentil para determinar o valor dos custos unitários equivalentes às faixas de segurança e determinar qual seria a margem do orçamento calculado.

O cálculo foi feito utilizando a função distribuição cumulativa deste problema, conforme equação 4.14.

$$F(c) = 1 - e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.14)$$

Onde:

$F(c)$ é a Função Cumulativa de Probabilidade do custo unitário

η é o parâmetro de escala da função $f(c)$

β é o parâmetro de forma da função $f(c)$

Uma vez que é necessário calcular o valor de c baseada na percentagem necessária para a margem a ser adotada, de acordo com a faixa de segurança desejada, então é necessário

fazer uma transformação na equação acima fim de calcular-se c através de $F(c)$. Desta forma encontra-se a equação 4.15.

$$1 - F(c) = e^{-\left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta} \quad (4.15)$$

Aplica-se o logaritmo neperiano em ambas as parcelas, a fim de retirar c da exponencial, conforme equação 4.16.

$$\ln(1 - F(c)) = -\left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta \quad (4.16)$$

Retira-se o símbolo negativo e, em seguida, o mesmo é inserido dentro do logaritmo, como pode ser visto na equação 4.17.

$$\ln\left(\frac{1}{1 - F(c)}\right) = \left(\frac{c}{\eta}\right)^\beta \quad (4.17)$$

Em seguida aplica-se novamente o logaritmo neperiano em ambas as parcelas para tirar β do expoente, como apresentado na equação 4.18.

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(c)}\right)\right) = \beta \ln(c) - \beta \ln(\eta) \quad (4.18)$$

Isolando a variável c , valor o qual deseja-se determinar, encontra-se a equação 4.19.

$$\ln(c) = \ln(\eta) + \frac{1}{\beta} \ln\left(\ln\left(\frac{1}{1 - F(c)}\right)\right) \quad (4.19)$$

A partir desta equação pode-se calcular o valor de custo baseado no percentual de probabilidade desejado e, assim, determinar os valores que estariam dentro da faixa de segurança desejada. Os valores estudados nesta dissertação foram com faixas de segurança de 90% e 95%. Nesta etapa pode-se ter uma boa sensibilidade quanto a segurança do especialista

na entrevista, pois quanto mais inseguro o mesmo estiver, maior será a variação entre as margens estudadas, como poderá ser verificado nos itens 4.2 e 4.3.

4.2 Aplicação do Modelo

4.2.1 Escolha das variáveis a serem estudadas

O empreendimento estudado é composto por uma série de serviços a serem executados até sua conclusão. Os serviços podem ser entendidos como variáveis aleatórias. As variáveis a serem analisadas foram os custos unitários e as quantidades de serviço utilizadas para cálculo final do orçamento foram àquelas apresentadas na última revisão de projeto. Não foi considerada a variabilidade das quantidades, pois não seria possível conseguir que os especialistas, através de seu conhecimento a priori medissem tal variabilidade, uma vez que se tratam de modificações: no greide de terraplenagem, devido a mudanças no traçado; na caracterização de materiais, que só poderiam ser previstas através de sondagens e estudos geotécnicos, e em pontes e viadutos devido a interferências que não foram mapeadas em estudos prévios.

A construção dessa ferrovia totaliza 133 tipos de serviços diferentes. A fim de escolher quais variáveis seriam as estudadas nesta dissertação, foi aplicada a metodologia do diagrama de Pareto, a qual é muito utilizada na Gestão de Projetos onde se verifica que 20% das causas são responsáveis por 80% dos problemas, conforme descrito no PMBOK (2008). Após aplicação de tal método, chegou-se a um total de 22 variáveis que seriam responsáveis por 80% do custo a incorrer na obra. Entretanto, destas, metade não sofrem variações significativas de custo pelos problemas aqui apresentados, pois são relativamente fáceis de serem controladas e seus preços tendem a ser fixos, como corte, dobra e aplicação de aço, solda elétrica, entre outros. Desta forma foram escolhidas 11 variáveis a serem estudadas, as quais representavam 55% do custo a incorrer e sofriam fortes impactos pelo sistema de suprimentos ou pelas paradas na obra devido a interferências inesperadas.

As variáveis escolhidas foram:

- ✓ Superestrutura: (1) mão de obra de montagem de grade; (2) fabricação de brita para lastro; (3) fabricação de dormentes;
- ✓ Obras de Arte Corrente: (4) bueiros celulares; (5) concreto de drenagem; (6) formas para concreto de drenagem;
- ✓ Obras de Arte Especiais: (7) concreto de obras de arte especiais; (8) forma e escoramento para concreto de obras de arte especiais;

- ✓ Terraplenagem: (9) escavação, carga e transporte de material de 1ª e 2ª categorias; (10) escavação, carga e transporte de material de 3ª categoria; e (11) compactação de aterros.

4.2.2 Apresentação do Perfil dos Entrevistados

Foram entrevistados 04 especialistas para fundamentação desta dissertação, pois, apesar de no contexto deste projeto existir mais de 20 profissionais habilitados a fazerem parte do processo, num projeto comum, no máximo se encontram 04 profissionais em condições de participar do processo de elicitação da probabilidade. Todos trabalham na construtora contratada para execução do empreendimento. Os entrevistados 01, 02 e 04 trabalham em funções gerenciais no empreendimento em questão e o entrevistado 03 não exerce função específica na obra, mas apoiou toda a parte de superestrutura ferroviária, desde o orçamento, auxiliando a definir a metodologia executiva e aquisição de equipamentos, até o presente momento para readequação das metodologias à realidade atual do contrato.

O primeiro entrevistado é engenheiro civil, tem 2 anos e meio trabalhando nesta obra, tem perfil gerencial e trabalha na área de produção. Apresenta um bom domínio das atividades relacionadas a Infraestrutura, mas não às relacionadas a Superestrutura Ferroviária. Tem aproximadamente 20 anos de experiência na área de construção civil pesada (rodovias, viadutos, pontes, ferrovias e portos) e já ocupou posição de diretoria em outra empresa.

O segundo entrevistado é engenheiro civil, está trabalhando nesta obra há 3 anos e também apresenta perfil gerencial. Já trabalhou nas áreas de produção, engenharia, planejamento e hoje trabalha na área comercial e custo. Tem um bom domínio acerca das informações de orçamento, uma vez que lidera a área, e também das informações de custo. Tem aproximadamente 10 anos de experiência na área de construção civil pesada e ocupou cargo gerencial pela primeira vez nesta obra.

O terceiro entrevistado é engenheiro civil, não trabalha diretamente no empreendimento em questão, mas apoiou durante o processo de orçamento na metodologia executiva de superestrutura ferroviária e posteriormente apoiou na aquisição e implantação do parque industrial necessário para a construção do empreendimento. Tem 39 anos de experiência especialmente na área de construção ferroviária.

O quarto e último entrevistado é engenheiro civil e tem 2 anos e meio trabalhando no empreendimento. Tem experiências na área de produção e engenharia e planejamento. Nesta obra, atuou nas duas áreas, sempre em cargos gerenciais. Tem 13 anos de experiência em

construção civil pesada. Uma vez que hoje trabalha na área de engenharia, tem informações bastante realistas em relação a obra.

Os entrevistados 01, 02 e 04 não apresentam larga experiência na área de superestrutura ferroviária, fato compreensível devido ao baixo investimento que o país vem tendo nesta área nos últimos 20 anos. A seguir serão apresentados os dados coletados nas entrevistas.

4.2.3 Dados das entrevistas

A metodologia apresentada no item 3.1.1 foi aplicada em cada um dos entrevistados individualmente e foram coletados dados referentes às 11 variáveis aleatórias para os entrevistados 01, 02 e 04 e foram coletados dados referentes às 03 variáveis aleatórias específicas de superestrutura ferroviária para o entrevistado 03. Foi escolhido aplicar o processo em mais de um especialista para fins comparativos entre os dados dos mesmos.

As informações dos entrevistados serão apresentadas e analisadas independentemente. Poderia utilizar-se o método da agregação de especialistas a fim de se encontrar apenas um valor final, entretanto esta não foi uma metodologia empregada nesta dissertação. Os dados serão apresentados por variável, a fim de facilitar a comparação entre as informações coletadas na entrevista de cada especialista.

A fim de realizar a análise das variáveis aleatórias foi feita uma adaptação das curvas de probabilidade acumulada à distribuição de Weibull. Os gráficos referentes a esta adaptação poderão ser encontrados no Apêndice 01. Para análise da informação e cálculo dos parâmetros de forma e escala, foi utilizada regressão linear dos dados adaptados à distribuição de Weibull. Esses dados serão apresentados ao longo das explicações de cada variável, assim como será analisada o grau de adaptação dos dados dos especialistas às curvas calculadas utilizando o método da regressão linear.

4.2.3.1 Mão de Obra de Montagem de Grade

Todos os especialistas responderam a entrevista referente a esta variável aleatória. De todas as variáveis, esta provavelmente foi a mais complexa de se realizar a entrevista, pois o serviço consiste apenas na aplicação de mão de obra e uso de ferramentaria para lançamento de dormentes na área desejada e colocação dos trilhos sobre os dormentes. Desta forma foi difícil conseguir que alguns dos entrevistados compreendessem que os demais serviços de superestrutura ferroviária, tais como lançamento do lastro e sua socaria, o alinhamento e nivelamento da via e o alívio de tensões dos trilhos, não estavam inclusos neste valor e não poderiam fazer parte da entrevista.

Na tabela 4.1 são apresentadas as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço provenientes da entrevista realizada com o entrevistado 01. Na figura 4.1 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Deve-se lembrar que o entrevistado 01 não é especialista na área no momento de análise de suas informações a fim de compreender as distorções encontradas em seus parâmetros.

Tabela 4.1 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

c (R\$)	F(c)
25000	0.00625
28000	0.125
30000	0.25
36000	0.375
40000	0.5
41000	0.625
42000	0.75
43000	0.875
45000	0.99

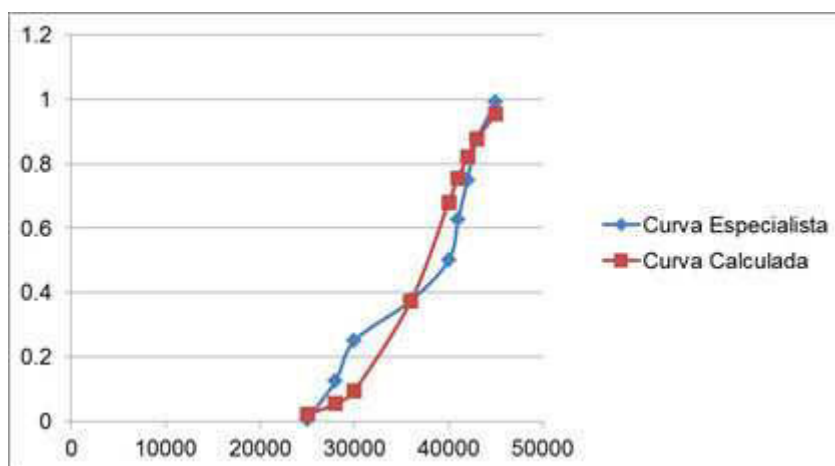


Figura 4.1 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

Pode-se verificar através do gráfico da probabilidade acumulada que o mesmo não aparece assintótico nas extremidades. Tal comportamento é comum, pois o entrevistado tende a fazer proporções mais imprecisas quando se trata das extremidades. A fim de corrigir distorções encontradas nesta curva, foram extrapolados os limites inferior e superior, de modo que o $R^2=0,96$, quando anteriormente o valor encontrado havia sido $R^2=0,847$. O gráfico

apresentado na figura 4.2 é o que teve suas extremidades extrapolados e foram encontrados os parâmetros $\beta=6,74$ e $\eta=39.764,81$.

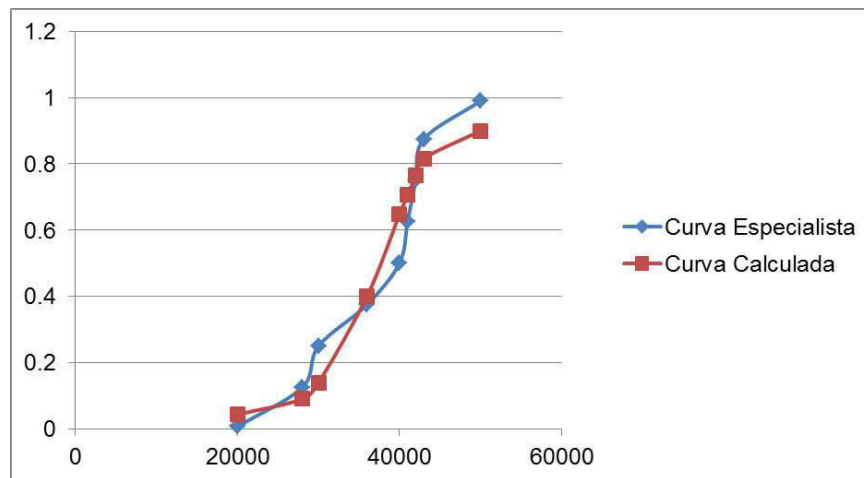


Figura 4.2 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada -
Mão de Obra de Montagem de Grade

Na tabela 4.2 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.3 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. O entrevistado 02 também não é especialista na área de superestrutura ferroviária, de modo que se pode verificar através do gráfico da probabilidade acumulada que o mesmo também não aparece assintótico nas extremidades. Conforme explicado anteriormente, tal comportamento é comum, desta forma, a fim de corrigir distorções encontradas nesta curva, tomou-se a liberdade de extrapolar nos limites inferior e superior, de modo que o $R^2=0,94$, quando anteriormente o valor encontrado havia sido $R^2=0,506$. Após extrapolar nas extremidades encontra-se o gráfico da figura 4.4, cujos parâmetros encontrados foram $\beta=6,83$ e $\eta=33.822,18$.

Tabela 4.2 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem
de Grade

c (R\$)	F(c)
25000	0.00625
25600	0.125
26000	0.25
26400	0.375
27000	0.5
30000	0.625
33000	0.75
40000	0.875
45000	0.99

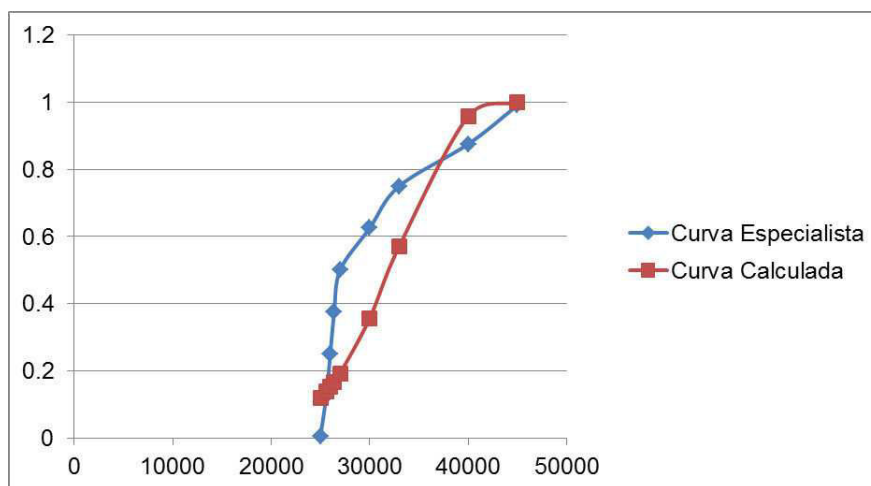


Figura 4.3 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

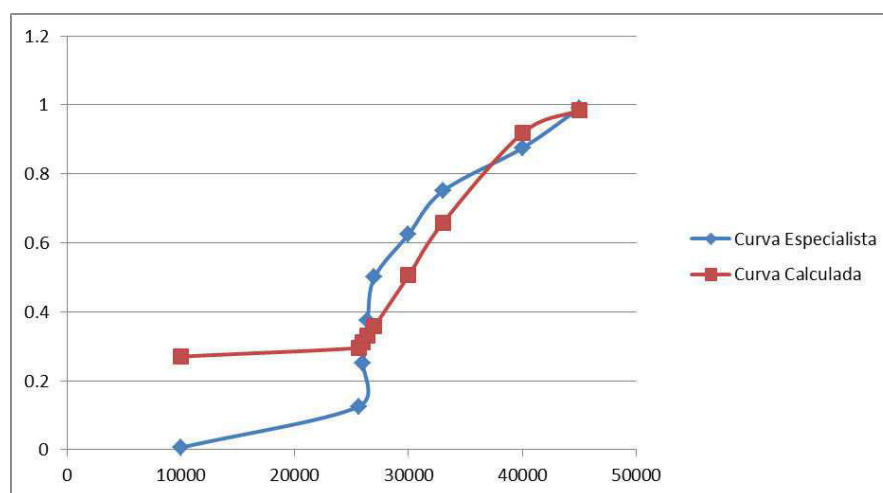


Figura 4.4 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade

Na tabela 4.3 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 03, o único especialista da área de superestrutura ferroviária, mas que não trabalha diretamente no projeto. Na figura 4.5 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Pode-se verificar através do gráfico da probabilidade acumulada apresentado na figura 4.5 que o mesmo não aparece assintótico nas extremidades e é quase que uma reta. A fim de corrigir distorções encontradas nesta curva, extrapolaram-se os limites inferior e superior, de modo que o $R^2=0,97$, quando anteriormente o valor encontrado havia sido $R^2=0,84$. Utilizando-se os dados após extrapolar as extremidades, apresentados na figura 4.6, foram encontrados os parâmetros $\beta=7,25$ e $\eta=37.305,80$.

Tabela 4.3 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

c (R\$)	F(c)
25000	0.00625
27000	0.125
30000	0.25
32000	0.375
35000	0.5
37000	0.625
40000	0.75
42000	0.875
45000	0.99

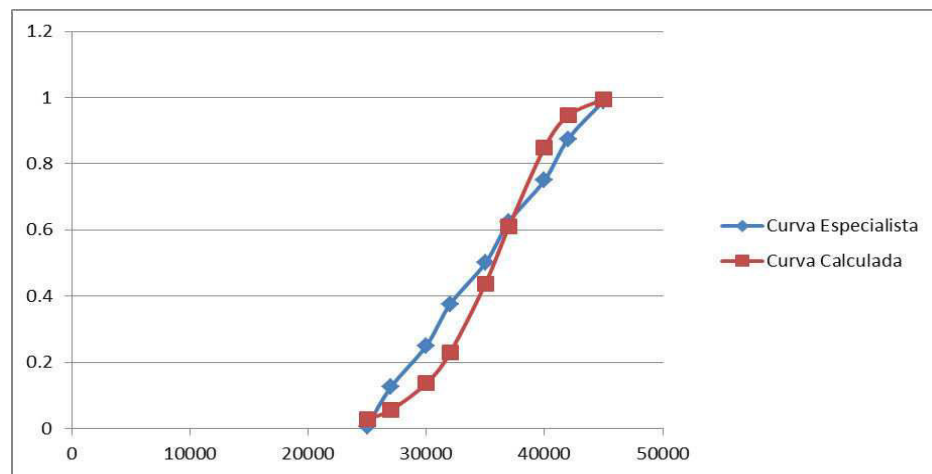


Figura 4.5 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

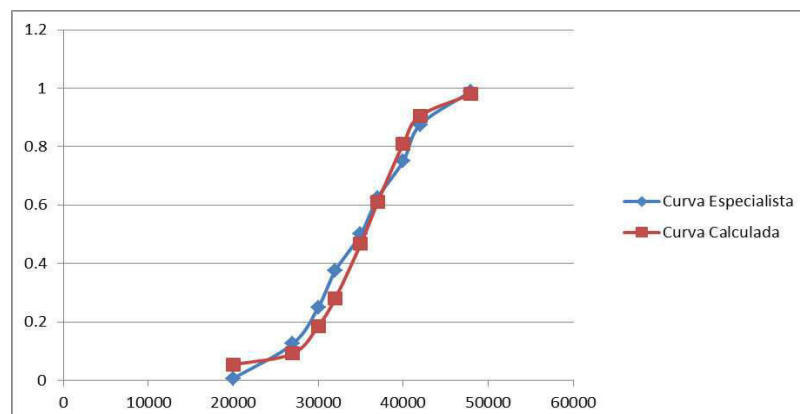


Figura 4.6 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Mão de Obra de Montagem de Grade

Na tabela 4.4 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04, que também não é especialista na área de superestrutura ferroviária. Na figura 4.7 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.4 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

c (R\$)	F(c)
25000	0.00625
27000	0.125
28000	0.25
31000	0.375
32000	0.5
38000	0.625
40000	0.75
42000	0.875
45000	0.99

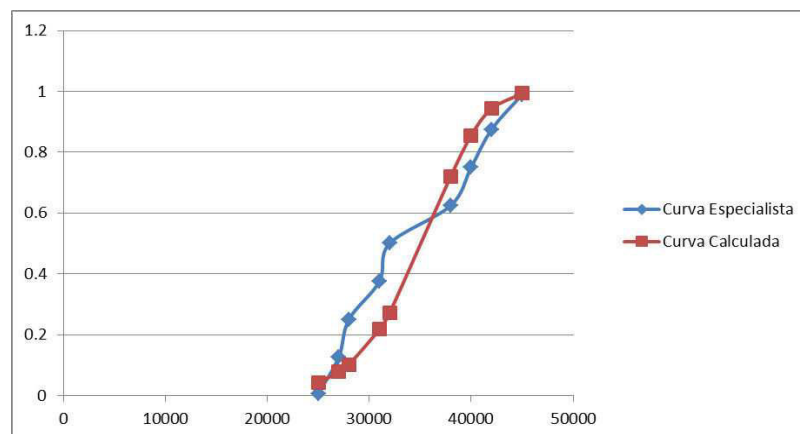


Figura 4.7 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Mão de Obra de Montagem de Grade

Pode-se verificar através do gráfico da probabilidade acumulada que o mesmo não aparece assintótico nas extremidades e é quase que uma reta. A fim de corrigir distorções encontradas nesta curva, extrapolou-se nos limites inferior e superior, de modo que o $R^2=0,93$, quando anteriormente o valor encontrado havia sido $R^2=0,76$. Para o gráfico da figura 4.8 encontrou-se um $\beta=7,24$ e $\eta=36.379,27$.

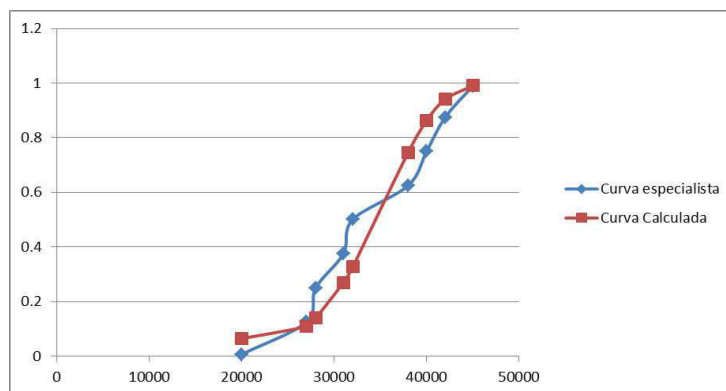


Figura 4.8 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada -
Mão de Obra de Montagem de Grade

Pode-se observar nas curvas da Montagem de Grade que a mesma é uma variável muito peculiar, pois as informações dos especialistas não se enquadraram facilmente em uma curva característica de probabilidade acumulada, ou seja, não foram assintóticas nas extremidades com um ponto claro de inflexão. A informação que melhor se enquadrou a curva característica de probabilidade acumulada foi aquela fornecida pelo especialista 03 que, conforme explicado no item 4.3.1, tem vasta experiência na área de superestrutura ferroviária e, consequentemente, era o especialista mais qualificado a responder tal entrevista para esta variável.

4.2.3.2 Fabricação de Brita para Lastro

Esta variável foi relativamente simples de ser feita a entrevista, uma vez que todos os especialistas já trabalhavam há anos na área de construção pesada, onde a exploração de pedreira é um serviço relativamente comum, devido a aplicação de concreto, que requer uso de brita, e fornecimento de pedra de enrocamento, muito utilizado como contenção, tanto marítima quanto de solos. Na obra estudada foi instalada uma central industrial de britagem com 02 britadores. A partir desta central são produzidos 4 produtos: brita para lastro, brita de 19 mm, brita de 25 mm e pó de pedra. Todos os produtos são utilizados dentro do empreendimento: a brita para lastro para construir o lastro ferroviário e os demais produtos para fabricação de dormente. Dentro desta variável estão inclusos todos os custos de britagem, de modo que os custos dos demais produtos não são repassados para o dormente. Essa foi uma questão decidida na concepção do orçamento, pois caso não fosse possível aplicar os demais produtos, ainda assim o custo de beneficiamento do granito precisaria estar contemplado no mesmo.

Na tabela 4.5 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.9 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.5 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Fabricação de Brita para Lastro

c (R\$)	F(c)
35	0.00625
50	0.125
60	0.25
68	0.375
70	0.5
76	0.625
90	0.75
92	0.875
125	0.99

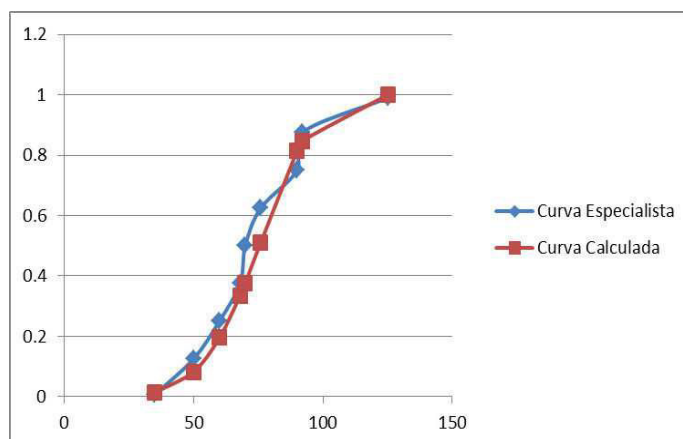


Figura 4.9 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Fabricação de Brita para Lastro

Pode-se verificar que ao contrário da mão de obra de montagem de grade, a curva característica de probabilidade acumulada se apresenta claramente, sendo assintótica nas extremidades e com um ponto de inflexão definido. A partir da regressão linear simples destes dados, verifica-se um $R^2=0,93$, $\beta=5,05$ e $\eta=81,21$.

Na tabela 4.6 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.10 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.6 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

c (R\$)	F(c)
35	0.00625
38	0.125
43	0.25
46	0.375
50	0.5
53	0.625
60	0.75
80	0.875
125	0.99

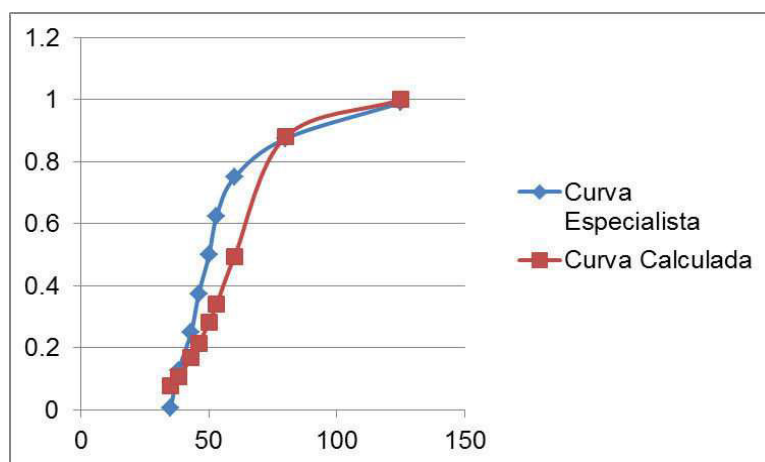


Figura 4.10 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

Na figura 4.10 pode-se perceber que na extremidade superior os dados tendem a ser assintóticos, entretanto na extremidade inferior o mesmo não ocorre desta forma, extrapolou-se a informação neste ponto a fim de obter uma nova curva que melhor se adaptasse. O $R^2=0,61$ para os dados originais, após extrapolação chega-se a informação do gráfico da figura 4.11 com $R^2=0,96$. Os parâmetros encontrados neste caso foram $\beta=2,76$ e $\eta=62,47$.

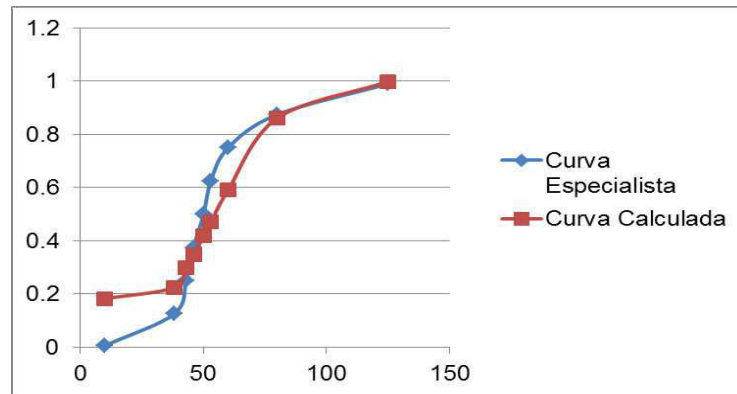


Figura 4.11 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Fabricação de Brita para Lastro

Na tabela 4.7 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 03. Na figura 4.12 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.7 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

c (R\$)	F(c)
35	0.00625
40	0.125
50	0.25
55	0.375
60	0.5
70	0.625
80	0.75
95	0.875
125	0.99

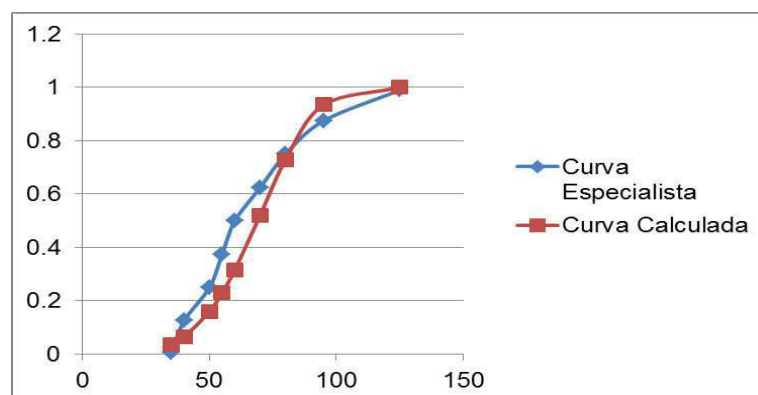


Figura 4.12 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

Na figura 4.12 pode-se perceber que na extremidade superior os dados tendem a ser assintóticos, embora na extremidade inferior ela não seja claramente assintótica, o $R^2=0,80$. Os parâmetros encontrados neste caso foram $\beta=4,28$ e $\eta=75,16$.

Na tabela 4.8 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.13 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.8 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

c (R\$)	F(c)
35	0.00625
50	0.125
60	0.25
72	0.375
80	0.5
95	0.625
105	0.75
120	0.875
125	0.99

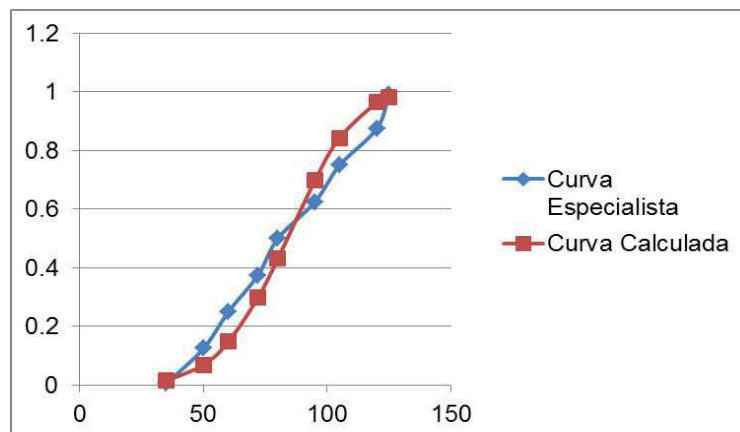


Figura 4.13 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Brita para Lastro

Apesar de o entrevistado não ser especialista na área, os resultados dele foram os que melhor se adaptaram a curva, ao que indica na regressão linear, pois o R^2 encontrado foi de 0,92. Os parâmetros para a curva apresentada na Figura 4.13 foram $\beta=4,38$ e $\eta=91,19$.

Ao analisar os dados de Fabricação de Brita para Lastro pode-se confirmar que os especialistas apresentaram maior segurança nas respostas. Os dados apresentados pelos

especialistas 01 e 04, que haviam desempenhado funções na produção, foram os que melhor se adequaram a regressão linear e a distribuição de Weibull.

4.2.3.3 Fabricação de Dormentes de Concreto

A Fabricação de Dormentes é uma variável onde existe uma grande incerteza quanto a seu custo executivo final, pois é o item em que houve maior quantidade de investimento a custo, grande desembolso inicial, sem que fosse utilizada nenhuma metodologia contábil para depreciação do mesmo ao longo do empreendimento. Devido a isto existem estudos paralelos para avaliar a depreciação técnica desses investimentos em relação à produção de insumo. Este item também apresenta outra peculiaridade: foi onde houve o maior descolamento entre o que foi idealizado e aquilo que vêm sendo executado. Desta forma existe uma maior dificuldade para os especialistas de determinarem valores para a curva de probabilidade acumulada. Neste serviço estão inclusos todos os itens de fabricação, entre mão de obra, equipamentos e insumos, a exceção das britas e do pó de pedra, pois os mesmos têm seus custos de fabricação inclusos no custo de fabricação de brita para lastro.

Na tabela 4.9 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.14 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. O entrevistado 01 não havia trabalhado anteriormente com a produção industrial de produtos para aplicação em obras, a não ser quando se tratavam de pré-moldados menores para drenagem, de modo que suas informações devem apresentar uma tendência natural a não distorções, especialmente nas extremidades onde há um maior nível de incertezas.

Tabela 4.9 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Fabricação de Dormente de Concreto

c (R\$)	F(c)
170	0.00625
176	0.125
180	0.25
190	0.375
200	0.5
240	0.625
250	0.75
290	0.875
300	0.99

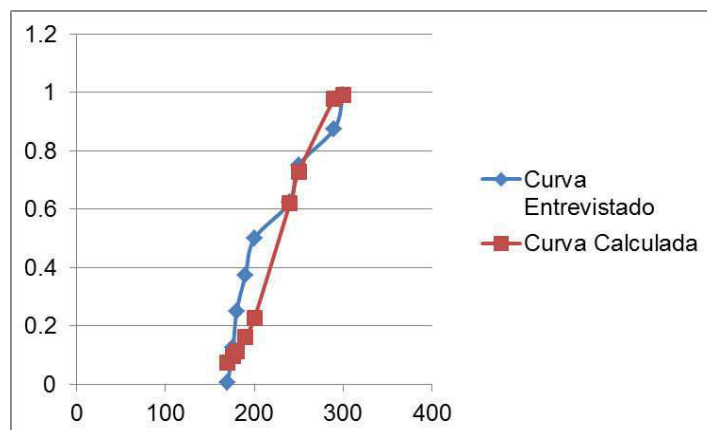


Figura 4.14 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Fabricação de Dormente de Concreto

No gráfico da Figura 4.14 pode-se verificar que a curva não tende a ser assintótica, entretanto é perceptível a existência de um ponto de inflexão na curva. A adaptação da mesma não foi boa, como confirmado através da regressão linear, a qual teve como produto um $R^2=0,63$. Entretanto, após extrapolar nas extremidades encontrou-se o gráfico da Figura 4.15, o qual apresenta o formato característico da probabilidade acumulada e um $R^2=0,95$. De acordo com Montgomery e Runger (2009) é preciso tomar cuidado nas extrapolações, muito embora este seja uma técnica bastante comum na engenharia. Através da regressão linear da segunda curva encontrou-se os parâmetros de forma e escala $\beta=5,25$ e $\eta=240,77$.

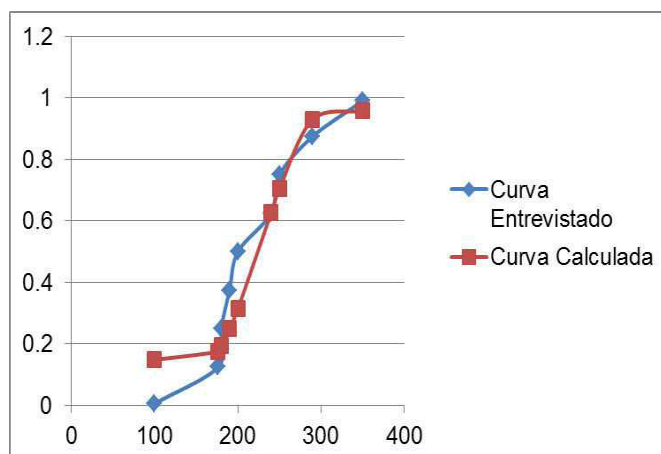


Figura 4.15 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada -Extrapolada – Fabricação de Dormente de Concreto

Na tabela 4.10 pode-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.16 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.10 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

c (R\$)	F(c)
170	0.00625
175	0.125
185	0.25
190	0.375
210	0.5
215	0.625
230	0.75
250	0.875
300	0.99

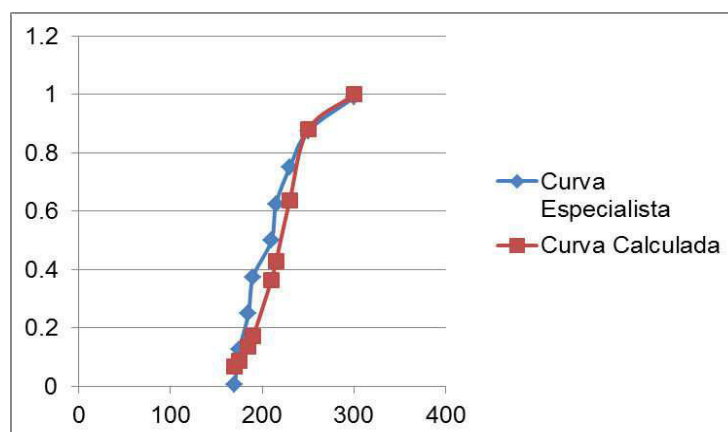


Figura 4.16 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

Através do gráfico apresentado na Figura 4.16 pode-se verificar que na extremidade superior a curva tende claramente a ser assíntota e existe um ponto de inflexão claro nos pontos apresentados pelo entrevistado, entretanto na extremidade inferior a curva ficou reta, tendendo a zero, de modo que o $R^2=0,67$. Após extrapolação apresentada na figura 4.17 na extremidade inferior, foi encontrado o gráfico da Figura 4.27, o qual apresenta $R^2=0,98$, $\beta=6,26$ e $\eta=224,35$.

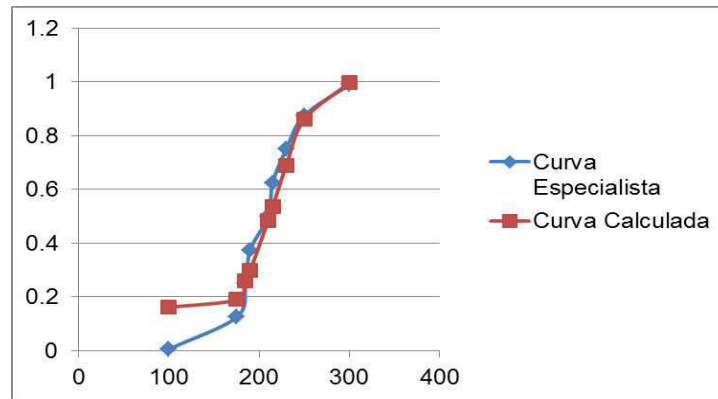


Figura 4.17 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Extrapolada - Fabricação de Dormente de Concreto

Na tabela 4.11 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 03. Na figura 4.18 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.11 – Especialista 03 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

c (R\$)	F(c)
170	0.00625
210	0.125
220	0.25
230	0.375
235	0.5
240	0.625
270	0.75
280	0.875
300	0.99

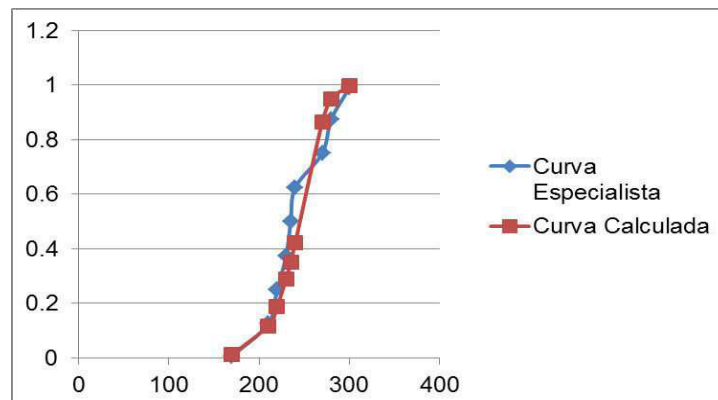


Figura 4.18 – Especialista 03 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

Na figura 4.18 pode-se perceber que ambas as extremidades tendem a ser assintóticas e existe um ponto de inflexão muito claro na curva. Após regressão encontrou-se um $R^2=0,94$, $\beta=11,01$ e $\eta=253,46$, conforme demonstrado nos estimadores dos mínimos quadrados, a curva calculada está muito próxima à curva encontrada através dos pontos do especialista.

Na tabela 4.12 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.19 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.12 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

c (R\$)	F(c)
170	0.00625
175	0.125
180	0.25
205	0.375
220	0.5
240	0.625
250	0.75
260	0.875
300	0.99

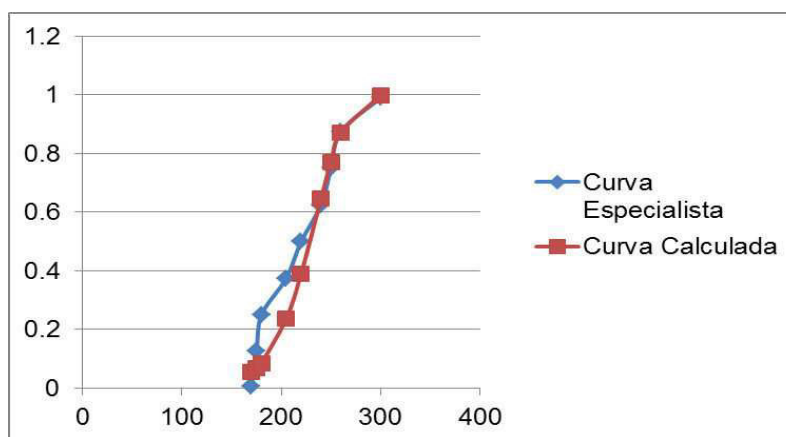


Figura 4.19 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada - Fabricação de Dormente de Concreto

Ao analisar o gráfico da Figura 4.19 percebe-se que na extremidade superior a curva é assintótica e apresenta um claro ponto de inflexão e na parte inferior ela vem seguindo este mesmo desenho, mas no último ponto aparece uma queda brusca. Após a regressão encontrou-se um $R^2=0,73$. Os parâmetros para esta curva foram $\beta=8,53$ e $\eta=238,90$.

Ao analisar os dados de Fabricação de Dormente de Concreto pode-se perceber que apenas o especialista 03 apresentou segurança nas informações fornecidas, uma vez que o mesmo elaborou a metodologia executiva e suas adaptações a realidade da obra. Os demais especialistas apresentaram informações com problemas em pelo menos uma extremidade, indicando pouca segurança em relação a tal informação, entretanto as curvas foram bastante coerentes em seu meio para todos os especialistas. Esta foi a última variável com informações do entrevistado 03.

4.2.3.4 Bueiro Celular

A execução de bueiros celulares é um serviço que faz parte das obras de drenagem e nele estão inclusos diversos serviços, tais como concreto, aço e forma. Analisando-se individualmente cada tipo de bueiro, este não seria um valor representativo no total da obra, entretanto quando somados eles representam uma parcela significativa do empreendimento. Esta foi uma variável escolhida, entre outros motivos, porque o mesmo é executado in loco e tende a apresentar uma grande improdutividade, principalmente nos casos de falta de insumos. Dessa forma a análise foi feita por metro linear de bueiro implantado.

Na tabela 4.13 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.20 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se pode verificar que a curva tende a ser assintótica em ambas as extremidades e que existe um ponto de inflexão na curva. A adaptação da curva calculada foi boa, conforme confirmado pelo $R^2=0,87$. Através da regressão linear da segunda curva encontraram-se os parâmetros de forma e escala $\beta=11,60$ e $\eta=8289,68$.

Tabela 4.13 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

c (R\$)	F(c)
6000	0.00625
6500	0.125
7000	0.25
7800	0.375
8000	0.5
8200	0.625
8500	0.75
8600	0.875
10000	0.99

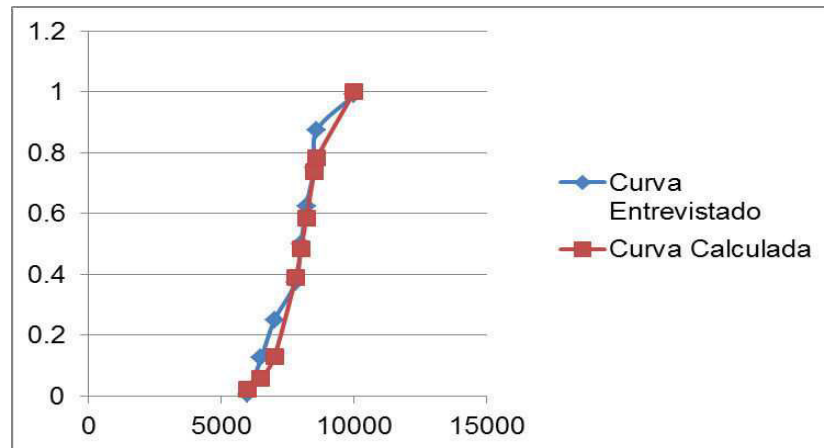


Figura 4.20 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

Na tabela 4.14 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.21 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.14 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

c (R\$)	F(c)
6000	0.00625
7200	0.125
8000	0.25
8600	0.375
9000	0.5
9400	0.625
9600	0.75
9900	0.875
10000	0.99

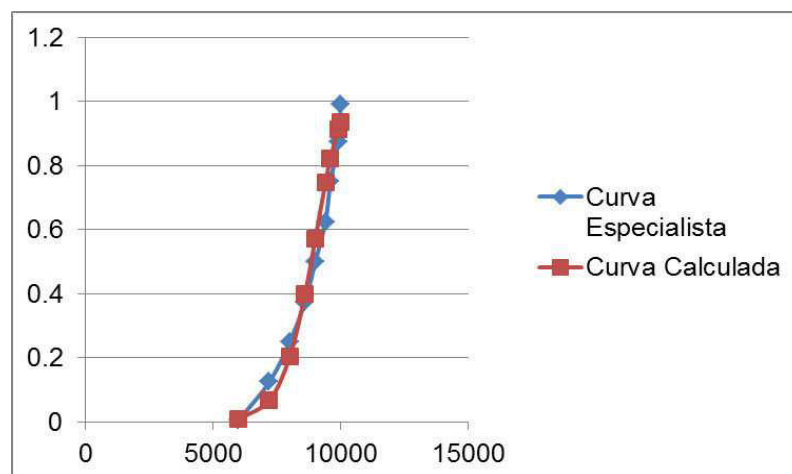


Figura 4.21 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

Através do gráfico apresentado na Figura 4.21 verifica-se que a extremidade inferior tende a ser assintótica, entretanto a extremidade superior apresenta seu último ponto sutilmente fora deste desenho. Após regressão linear os parâmetros encontrados para esta curva foram $R^2=0,96$, $\beta=11,14$ e $\eta=9.135,77$.

Na tabela 4.15 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.22 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.15 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

c (R\$)	F(c)
6000	0.00625
6200	0.125
6800	0.25
7000	0.375
7500	0.5
7800	0.625
8500	0.75
9200	0.875
10000	0.99

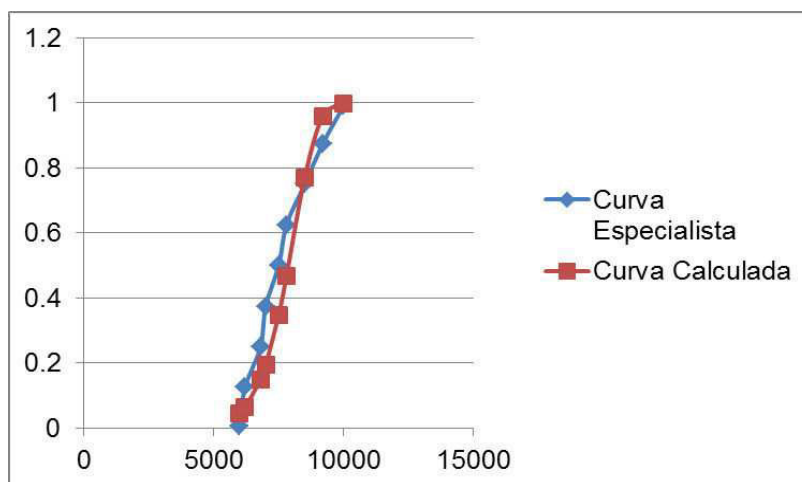


Figura 4.22 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Bueiro Celular

Ao analisar o gráfico da Figura 4.22 percebe-se que na extremidade superior a curva é assintótica e apresenta um claro ponto de inflexão e na parte inferior ela vem seguindo este mesmo desenho, entretanto no último ponto aparece uma queda brusca. Após a regressão encontrou-se um $R^2=0,76$. Os parâmetros para esta curva foram $\beta=9,84$ e $\eta=8.175,00$.

Os dados de Bueiro Celular apresentaram um nível de informação mais uniforme entre as entrevistas dos especialistas. As curvas não apresentaram perfeitamente o formato

característico do gráfico de probabilidade acumulada, mas esse comportamento foi coerente uma vez que existiam diversos tipos de bueiros celulares neste item, fato que poderia gerar certa insegurança nos entrevistados.

4.2.3.5 Concreto de Drenagem

O concreto utilizado em serviços de drenagem normalmente é de 15 Mpa de resistência. Existem diversos traços para se atingir esta resistência a depender do tipo de cimento e do tipo de agregado, entretanto, caso seja procurado em bancos de dados como o da PINI ou do SICRO (DNIT), podem-se encontrar traços padrão para tal resistência, de modo que a ordem de valor é bastante conhecida entre os profissionais da área. Entretanto, na obra em questão existe uma grande variação nesses valores, pois a estrutura da obra é muito extensa, onerando estes valores e exigindo uma metodologia que melhor se adapte a essa realidade, de modo que o concreto lançado é produzido em Auto-Betoneiras, no lugar da utilização das tradicionais usinas de concreto. Desta forma é imperativa a implantação de canteiros avançados para armazenamento do material a ser empregado, além do aumento de mão de obra aplicada para fins executivos.

Na tabela 4.16 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.23 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se pode verificar que a curva tende a ser assintótica em ambas as extremidades e que existe um ponto de inflexão claro na curva. A adaptação da curva calculada foi boa, conforme confirmado pelo $R^2=0,94$. Através da regressão linear da segunda curva encontraram-se os parâmetros de forma e escala $\beta=32,79$ e $\eta=285,06$.

Tabela 4.16 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
250	0.00625
265	0.125
270	0.25
275	0.375
280	0.5
285	0.625
290	0.75
295	0.875
300	0.99

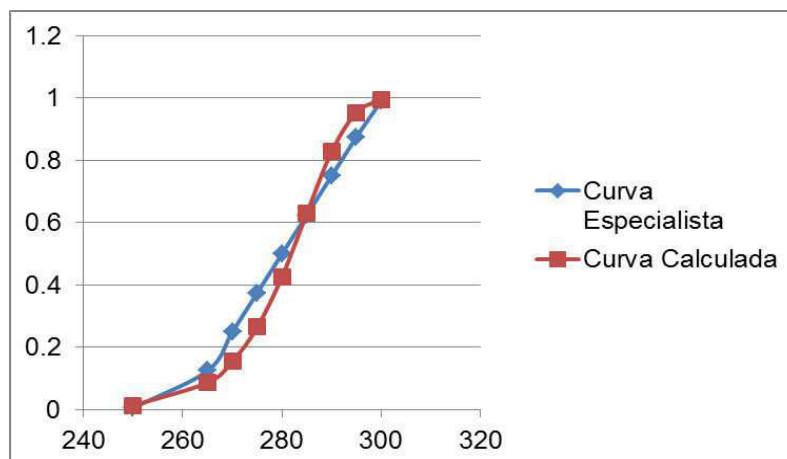


Figura 4.23 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

Na tabela 4.17 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.24 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.17 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
250	0.00625
265	0.125
272	0.25
278	0.375
280	0.5
287	0.625
292	0.75
297	0.875
300	0.99

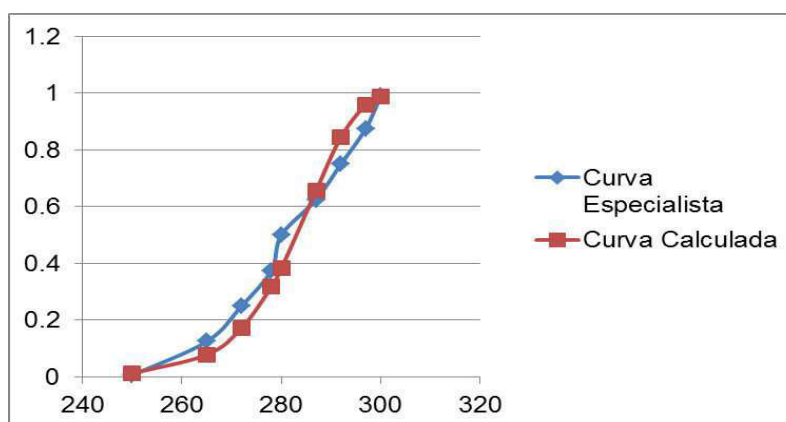


Figura 4.24 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

Pode-se perceber que o gráfico do especialista 02 ficou muito parecido com aquele apresentado pelos dados do especialista 01, o $R^2=0,95$ também foi muito próximo ao do gráfico anterior. Os parâmetros encontrados para estes valores após cálculo de regressão linear foram $\beta=32,21$ e $\eta=286,41$. Neste caso inclusive os parâmetros de forma e escala foram muito próximos ao do especialista 01, confirmando a informação de que esta é uma variável plenamente conhecida por aqueles que trabalham na área.

Na tabela 4.18 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.25 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.18 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
250	0.00625
256	0.125
260	0.25
265	0.375
275	0.5
280	0.625
290	0.75
293	0.875
300	0.99

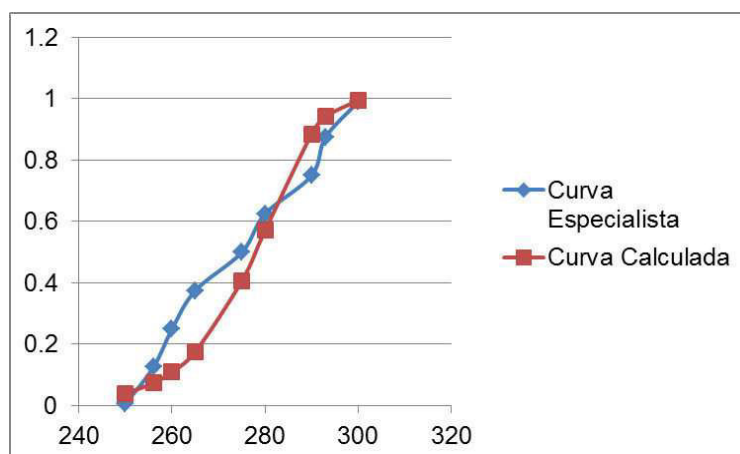


Figura 4.25 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de Drenagem

Ao analisar o gráfico da Figura 4.25 pode-se perceber que na extremidade superior a curva tende a ser assintótica, entretanto não apresenta um único ponto de inflexão, é praticamente linear. Ao calcularmos a regressão desta curva encontrou-se um $R^2=0,76$ valor

muito diferente dos demais especialistas. Os parâmetros para esta curva foram $\beta=26,80$ e $\eta=281,75$.

Conforme esperado, a informação para este item apresentou curvas muito próximas uma da outra, apesar da distorção na curva do especialista 04, pois é uma variável largamente discutida. A vantagem de fazer esta análise é que os especialistas podem incluir em seus dados as improdutividades geradas pela mão de obra parada por falta de material a ser fornecido por suprimentos e as perdas de produtividade geradas pelas longas distâncias entre os canteiros principais e os canteiros avançados, que em geral são móveis.

4.2.3.6 Forma para Concreto de Drenagem

O serviço de forma é outra variável bastante conhecida, mas devido a extensão da obra e quantidade de mão de obra empregada para sua execução, no caso deste empreendimento, existe uma grande variação de valor em relação ao normalmente empregado no mercado.

Na tabela 4.19 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.27 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se pode perceber que os pontos dos especialistas desenham claramente a curva característica de probabilidade acumulada, de modo que uma vez gerados os dados de regressão linear desses valores foi encontrado um $R^2=0,99$, confirmando a informação. A curva calculada apresentou uma excelente adaptação aos dados do especialista e os parâmetros fornecidos para seu cálculo foram $\beta=6,38$ e $\eta=64,14$.

Tabela 4.19 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
45	0.125
50	0.25
58	0.375
60	0.5
66	0.625
70	0.75
72	0.875
80	0.99

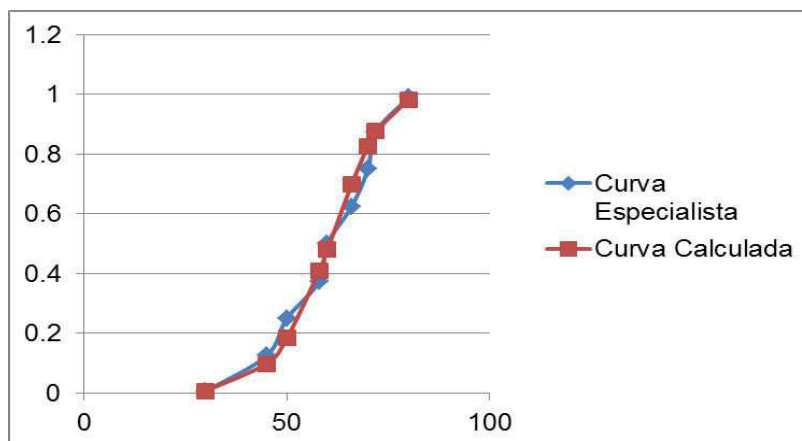


Figura 4.26 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

Na tabela 4.20 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.27 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Pode-se perceber que o gráfico com as informações do especialista 02 ficou muito parecido com aquele do especialista 01, o $R^2=0,96$, ligeiramente menor que o do gráfico anterior, porém pode-se perceber que o ponto da extremidade superior está ligeiramente fora do desenho da curva. Os parâmetros encontrados para estes valores após cálculo de regressão linear foram $\beta=5,98$ e $\eta=65,46$. Neste caso os parâmetros de forma e escala também foram muito próximos ao do especialista 01, confirmando a informação de que esta é uma variável vastamente conhecida por aqueles que trabalham na área.

Tabela 4.20 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
45	0.125
49	0.25
56	0.375
60	0.5
68	0.625
74	0.75
78	0.875
80	0.99

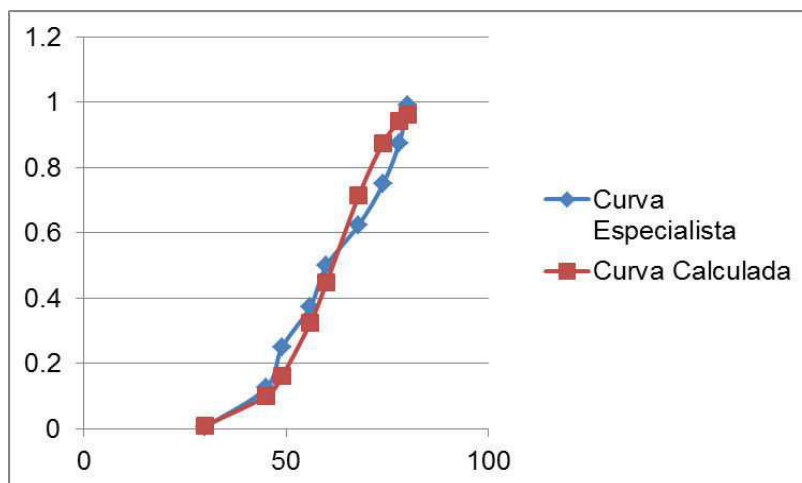


Figura 4.27 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

Na tabela 4.21 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.28 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Ao analisar este gráfico, verifica-se que este especialista, assim como o anterior, teve seus dados desenhando uma curva característica de probabilidade acumulada. Após geração dos dados da regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros $R^2=0,96$, $\beta=5,94$ e $\eta=65,14$. Que são todos muito próximos aos dados dos outros especialistas.

Tabela 4.21 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
42	0.125
50	0.25
58	0.375
60	0.5
70	0.625
72	0.75
75	0.875
80	0.99

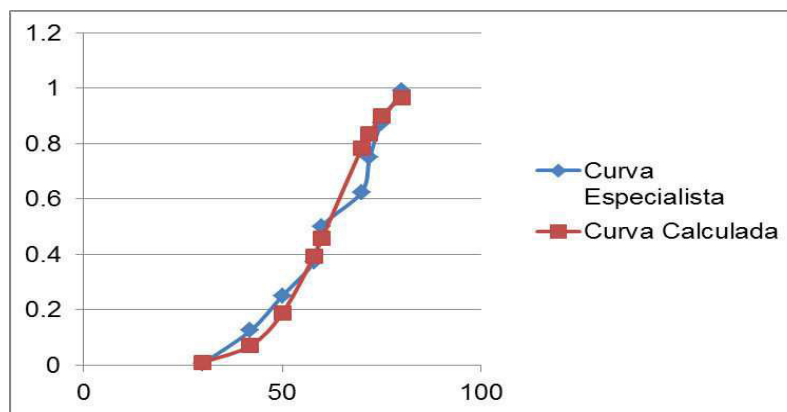


Figura 4.28 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Forma para Concreto de Drenagem

Esta variável foi a que apresentou uma maior uniformidade entre os dados dos especialistas, confirmando o anteriormente informado, que esta tem seu custo unitário largamente conhecido no setor, auxiliando os especialistas a fazerem sua distribuição de probabilidade acumulada com maior segurança.

4.2.3.7 Concreto de Obras de Arte Especiais

As Obras de Arte Especiais (OAEs) consistem basicamente em pontes, túneis e viadutos e as mesmas apresentam várias fases, desde a fundação passando pela mesoestrutura até a superestrutura. A fim de construir uma Obra de Arte Especial pode-se utilizar concreto pré-moldado ou concreto in loco, além de serem utilizadas diversas resistências diferentes: desde concreto magro até concreto de 40 MPa. Neste item foram inclusos todos os concretos, pois fazer a análise para cada um especificamente seria extremamente cansativo e os riscos de erro ao longo do processo de entrevista só tenderiam a aumentar com o alto número de variáveis. Os maiores volumes de concreto nas OAEs desta obra são de 25 MPa e 30 Mpa, também se utiliza concreto pré-moldado mas numa quantidade muito inferior ao que é aplicado in loco.

Na tabela 4.22 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.29 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se verifica que a curva segue o formato característico da curva de probabilidade acumulada, mas o ponto de inflexão é discreto. Após o cálculo de regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,95$, $\beta=20,91$ e $\eta=381,85$.

Tabela 4.22 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
310	0.00625
340	0.125
350	0.25
365	0.375
370	0.5
385	0.625
390	0.75
400	0.875
415	0.99

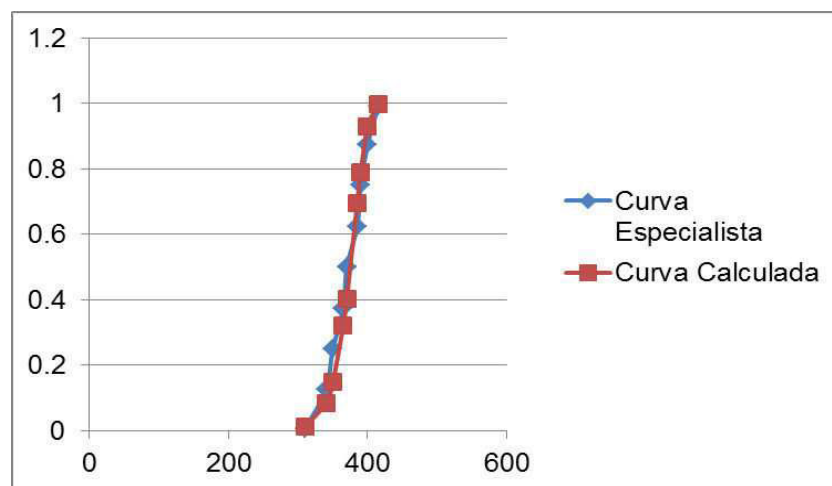


Figura 4.29 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

Na tabela 4.23 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.30 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.23 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
310	0.00625
345	0.125
360	0.25
374	0.375
380	0.5
395	0.625
400	0.75
410	0.875
415	0.99

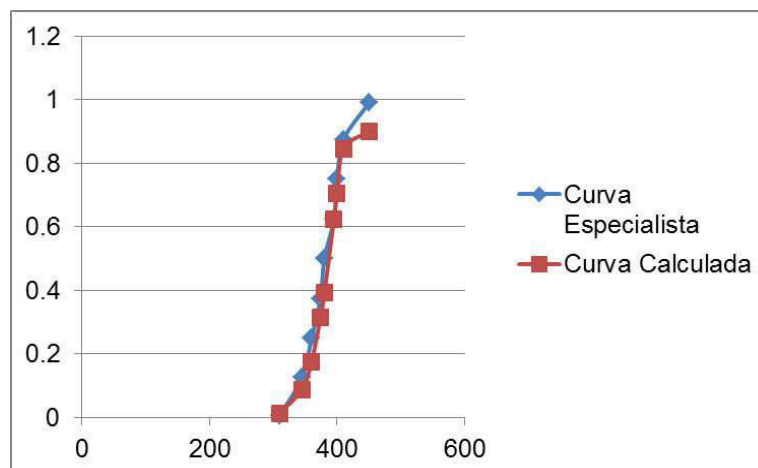


Figura 4.30 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

O gráfico da figura 4.30 mostra que os dados do especialista 02 tendem a ser assintóticos nas extremidades e tem um ponto de inflexão discreto, já na parte superior da curva. Através da regressão linear foram obtidos os seguintes parâmetros: $R^2=0,94$, $\beta=17,43$ e $\eta=395,50$. Nota-se que esta curva é muito parecida com aquela formada pelos dados do especialista 01.

Na tabela 4.24 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.31 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Ao analisar este gráfico, verifica-se que o formato da curva é parecido com o dos demais especialistas, entretanto no ponto superior já parece mais linear que assintótico. Após a regressão linear foram encontrados um $R^2=0,92$, $\beta=11,99$ e $\eta=436,00$.

Tabela 4.24 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
310	0.00625
350	0.125
380	0.25
390	0.375
420	0.5
430	0.625
460	0.75
480	0.875
500	0.99

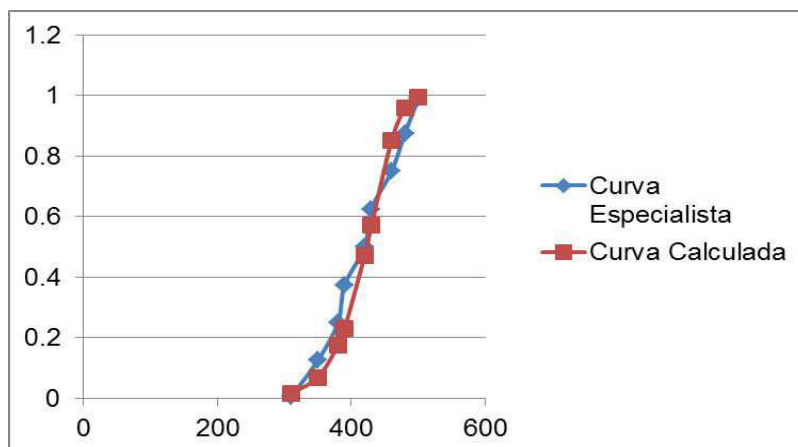


Figura 4.31 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Concreto de OAEs

Esta variável apresentou pouca diferença nas curvas entre um especialista e outro. Apesar de incluir diversos traços de concreto diferente, todos os especialistas tinham conhecimento de qual era o traço mais utilizado na obra e todos têm muita experiência com este tipo de serviço, de modo que as informações foram parecidas.

4.2.3.8 Formas e Escoramentos para Concreto de Obras de Arte Especiais

A fim de realizar o processo de concretagem é necessária a utilização de formas e escoramentos. Em OAEs são necessários diversos tipos de formas, não só no que tange a formatos, mas também tipos, assim como algumas peças exigem escoramento e outras não e são utilizados diversos tipos de escoramentos. No processo normal de orçamentação separam-se os tipos de formas e escoramentos e estes são orçados como itens independentes, entretanto os mesmos representam uma parcela significativa do orçamento de OAEs quando estão juntos, mas não quando estão separados, além de que se fossem tratados separadamente, não se poderia considerar as variáveis como independentes, devido a natureza do serviço executado. Seguindo este raciocínio os mesmos foram tratados como um item apenas para esta pesquisa.

Na tabela 4.25 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.32 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. No gráfico da Figura 4.32 pode-se perceber que apesar de haver alguns pontos dispersos no entorno da curva, a mesma tende a ser assintótica nas extremidades e a ter um ponto de inflexão nos pontos mais próximos a extremidade superior. Após o cálculo de regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,90$, $\beta=5,89$ e $\eta=59,57$.

Tabela 4.25 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
40	0.125
45	0.25
49	0.375
50	0.5
55	0.625
70	0.75
72	0.875
80	0.99

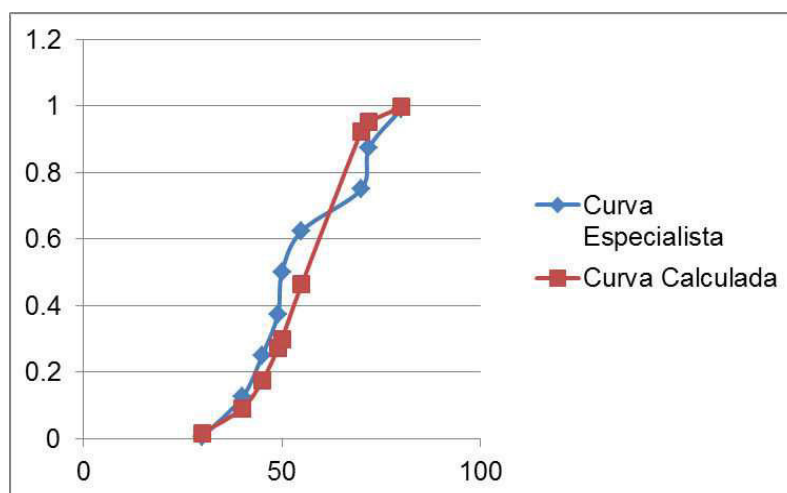


Figura 4.32 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs

Na tabela 4.26 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.33 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, o qual mostra que os dados do especialista são levemente lineares, entretanto há um ponto de inflexão ao longo da curva, permitindo que seja feita a adaptação a curva calculada. Através da regressão linear foram obtidos os seguintes parâmetros: $R^2=0,93$, $\beta=5,61$ e $\eta=65,11$. Nesta análise percebe-se que há divergências entre as curvas dos especialistas, pois em uma variável foram agregadas muitas informações, o que gera certa insegurança nas respostas quanto a distribuição de probabilidade.

Tabela 4.26 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
40	0.125
48	0.25
56	0.375
60	0.5
69	0.625
74	0.75
78	0.875
80	0.99

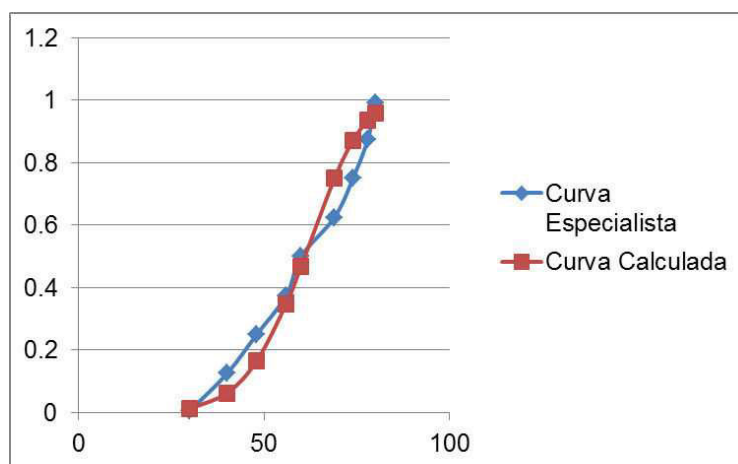


Figura 4.33 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramento para Concreto de OAEs

Na tabela 4.27 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.35 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, que ao se analisado pode-se verificar que o formato da curva é parecido com o do segundo especialista, contudo lembra mais o formato esperado para uma probabilidade acumulada que o anterior. Após a regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,92$, $\beta=5,60$ e $\eta=63,66$.

Tabela 4.27 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramento para Concreto de OAEs

c (R\$)	F(c)
30	0.00625
40	0.125
45	0.25
52	0.375
60	0.5
68	0.625
72	0.75
76	0.875
80	0.99

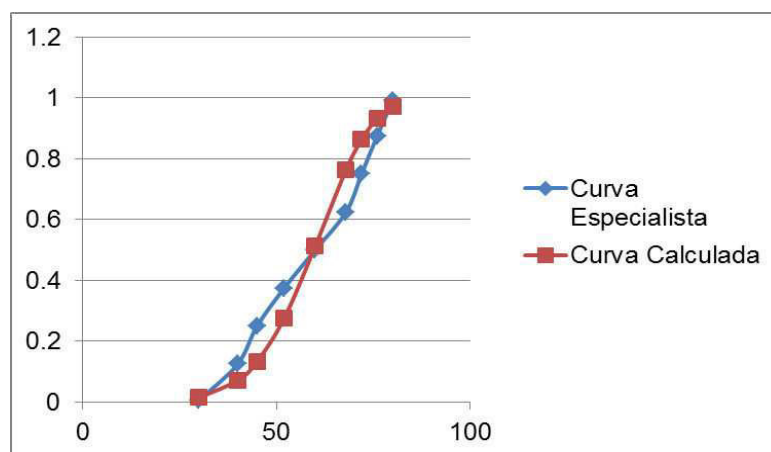


Figura 4.34 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Formas e Escoramentos para Concreto de OAEs

Devido ao fato de esta variável incluir diversos tipos de formas, com produtividades diferentes houve um aumento na dificuldade para determinação de valores pelos especialistas, resultando em divergências entre as curvas dos mesmos, apesar de estas terem se adaptado bem ao modelo, sem que fosse necessária extrapolação de nenhuma das extremidades.

4.2.3.9 Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

O maior volume de serviço a ser executado nesta obra são aqueles relacionados a terraplenagem, pois estes representam 33% do custo da obra e os principais serviços referentes a este item são: escavação, carga e transporte de 1ª e 2ª categorias, escavação, carga e transporte de 3ª categoria e Compactação de Aterros. A execução dos serviços de terraplenagem é composta basicamente por mão de obra e equipamentos, de modo que o sistema de contratação de suprimentos impacta fortemente em seus serviços, gerando grandes

variações devido às horas paradas acordadas em contrato, equipamentos antigos com baixa eficiência mecânica e grande quantidade de manutenções e troca de peças.

A variável analisada neste item inclui desde a escavação até o transporte dos materiais de 1ª e 2ª categorias, que são aqueles que não precisam de detonação para que sejam escavados. As variações de Distância Média de Transporte (DMT) também impactam diretamente neste serviço, desta forma, os especialistas levaram em consideração todos esses fatores para sua análise.

Na tabela 4.28 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.35 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.28 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

c (R\$)	F(c)
3.00	0.00625
4.90	0.125
5.50	0.25
6.00	0.375
6.50	0.5
7.00	0.625
7.50	0.75
8.50	0.875
10.00	0.99

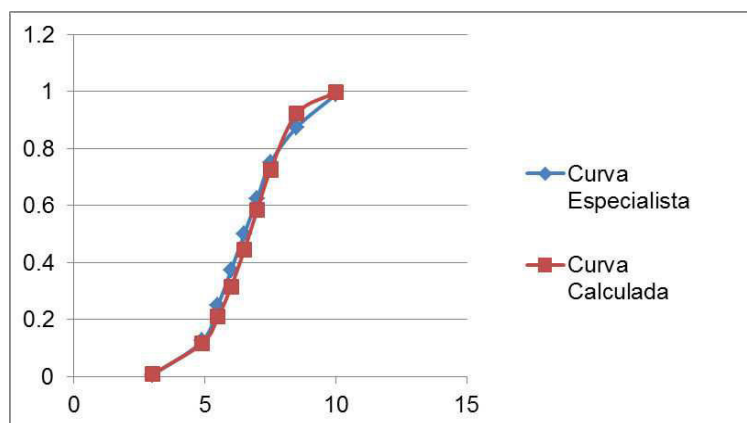


Figura 4.35 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

No gráfico da Figura 4.35 pode-se verificar que a curva tem ponto de inflexão bem definido e é claramente assintótica nas extremidades. Após o cálculo de regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,99$, $\beta=5,48$ e $\eta=7,16$.

Na tabela 4.29 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.36 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.29 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

c (R\$)	F(c)
3.00	0.00625
5.20	0.125
6.50	0.25
6.80	0.375
7.00	0.5
8.40	0.625
9.00	0.75
9.70	0.875
10.00	0.99

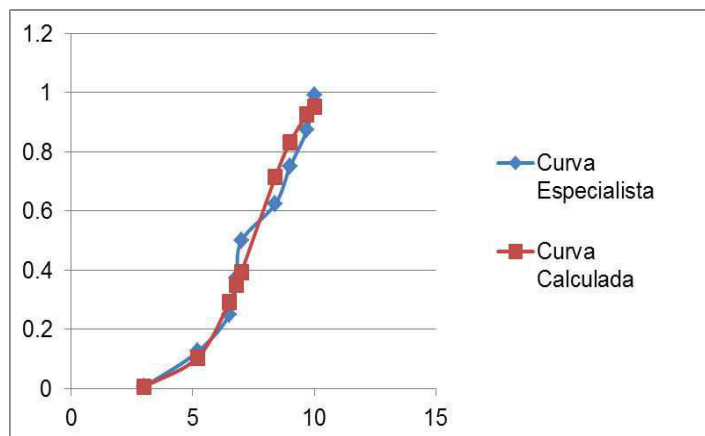


Figura 4.36 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

O gráfico da figura 4.36 apresenta claramente que a curva é assintótica na extremidade inferior, mas esta informação não fica clara no que tange a extremidade superior. Através da regressão linear foram obtidos os seguintes parâmetros: $R^2=0,98$, $\beta=5,06$ e $\eta=8,02$.

Na tabela 4.30 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.37 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.30 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada –Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

c (R\$)	F(c)
3.00	0.00625
4.20	0.125
5.00	0.25
5.80	0.375
6.50	0.5
7.00	0.625
8.00	0.75
8.50	0.875
10.00	0.99

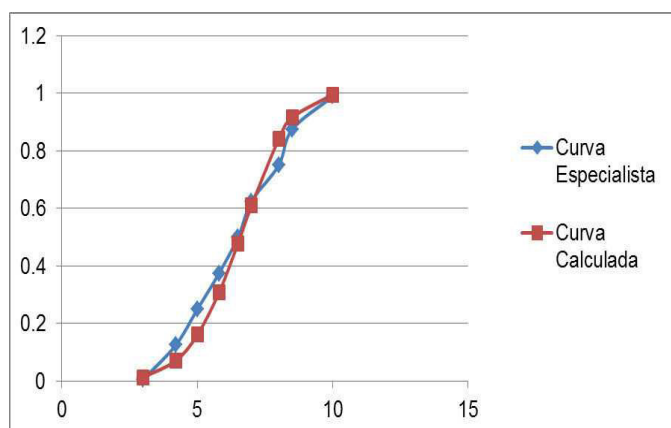


Figura 4.37 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

Ao analisar o gráfico da Figura 4.37 pode-se perceber que o mesmo é parecido com aquele apresentado na figura 4.35, mostrando o nível de segurança demonstrada pelos entrevistados. Após a regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,95$, $\beta=4,99$ e $\eta=7,08$.

Os profissionais entrevistados têm larga escala de conhecimento nesta variável e nas demais de terraplenagem, pode-se notar claramente que a informação desta variável teve maior qualidade nos gráficos, demonstrado através do R^2 , do que a maioria das demais variáveis.

4.2.3.10 Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

A variável analisada neste item inclui desde a escavação até o transporte dos materiais de 3ª categoria, que são aqueles que precisam de detonação para que sejam escavados e cujos

equipamentos precisam todos resistir à carga e ao transporte de rocha, o qual possui um peso específico maior que o solo. Neste caso, além dos impactos gerados pelos equipamentos também há o causado pela contratação da detonação, a qual representa aproximadamente 35% do valor do serviço e, a depender do plano de fogo contratado e da malha estudada, pode aumentar ou diminuir a produtividade da patrulha de terraplenagem. As variações de Distância Média de Transporte (DMT) também impactam diretamente neste serviço, por isso na análise dos especialistas os mesmos levaram em consideração todos esses fatores.

Na tabela 4.31 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.38 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.31 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

c (R\$)	F(c)
15.00	0.00625
19.00	0.125
20.00	0.25
21.00	0.375
22.00	0.5
23.00	0.625
23.50	0.75
24.00	0.875
25.00	0.99

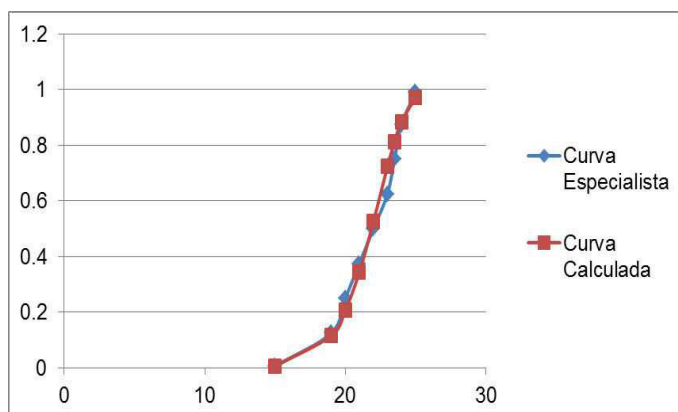


Figura 4.38 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

No gráfico da Figura 4.38 pode-se verificar que a curva tem ponto de inflexão bem definido e é claramente assintótica nas extremidades. Após o cálculo de regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,99$, $\beta=12,26$ e $\eta=22,53$. Pode-se perceber

que o especialista em questão também apresentou uma curva de probabilidade acumulada para a variável anterior, ambas muito parecidas com a descrita por Raiffa (1977).

Na tabela 4.32 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.39 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.32 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

c (R\$)	F(c)
15.00	0.00625
15.80	0.125
16.00	0.25
18.00	0.375
19.00	0.5
22.00	0.625
23.00	0.75
24.50	0.875
25.00	0.99

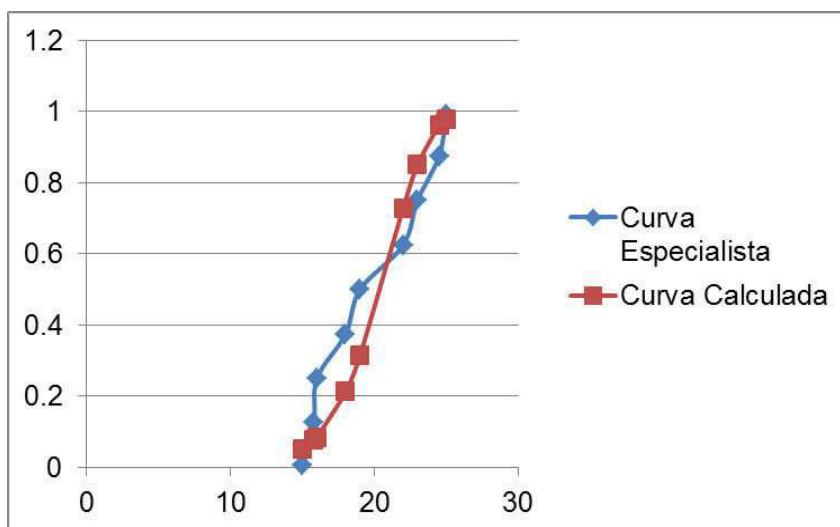


Figura 4.39 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

No gráfico da figura 4.39 verifica-se que o formato da curva apresenta problemas nas extremidades superior e inferior não indicando ser assíntota. Entretanto após a regressão linear foi obtido um $R^2=0,72$, o qual é satisfatório. Os parâmetros de escala e forma para os dados analisados foram $\beta=8,44$ e $\eta=21,32$.

Na tabela 4.33 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.40 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo.

Tabela 4.33 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada –Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

c (R\$)	F(c)
15.00	0.00625
16.20	0.125
17.00	0.25
17.80	0.375
19.00	0.5
21.00	0.625
22.00	0.75
23.50	0.875
25.00	0.99

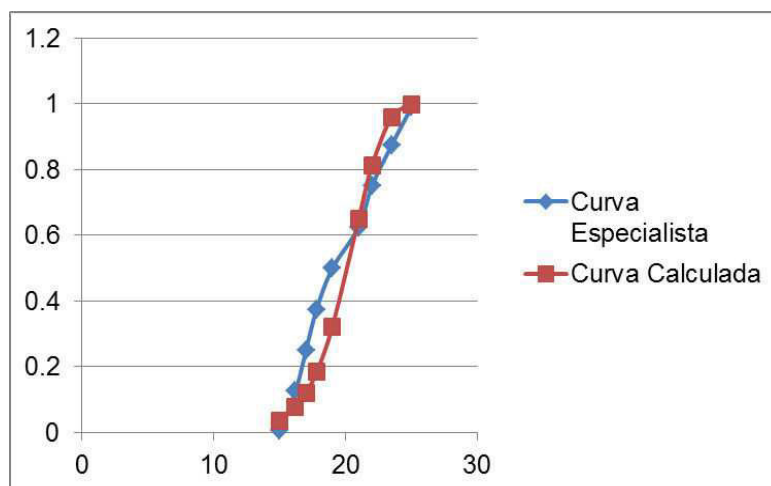


Figura 4.40 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

Ao analisar o gráfico da Figura 4.40 pode-se verificar que os dados do especialista lembram mais uma curva característica de probabilidade acumulada que a do especialista 02. Após a regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,79$, $\beta=9,92$ e $\eta=20,89$.

As informações apresentadas neste item mostram que os profissionais que trabalham na área de produção apresentaram dados mais coerentes que aquele com pouca experiência na área. Apesar de todos terem muita experiência na área de terraplenagem os dados dos

entrevistados 02 e 04 não se enquadraram no modelo tão perfeitamente quanto aquele do entrevistado 01.

4.2.3.11 Compactação de Aterros

A variável analisada neste item soma a compactação de aterros a 95%, a 100%, de bota-fora e de rocha. A produtividade desta variável e, por conseguinte seu custo unitário, depende diretamente das duas variáveis anteriores, mas para simplificar o problema assumiu-se independência probabilística entre as mesmas. No processo de entrevista os profissionais levaram em consideração as dificuldades executivas neste projeto: falta de área para bota-fora, DMT alto no caso de uso de jazidas, criação de bota-espera, etc. Assim como os serviços de escavação, a compactação de aterros depende predominantemente de equipamentos, sendo diretamente impactado pelo setor de suprimentos da contratante.

Na tabela 4.34 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 01. Na figura 4.41 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se pode verificar claramente que a curva é assintótica na extremidade inferior, entretanto os pontos superiores foram distribuídos num intervalo curto, de modo que não houve a tendência a ser assintótica nesta região. Após o cálculo de regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,94$, $\beta=7,38$ e $\eta=7,32$.

Tabela 4.34 – Especialista 01 – Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

c (R\$)	F(c)
3.50	0.00625
6.00	0.125
6.50	0.25
6.90	0.375
7.00	0.5
7.50	0.625
7.60	0.75
7.80	0.875
8.00	0.99

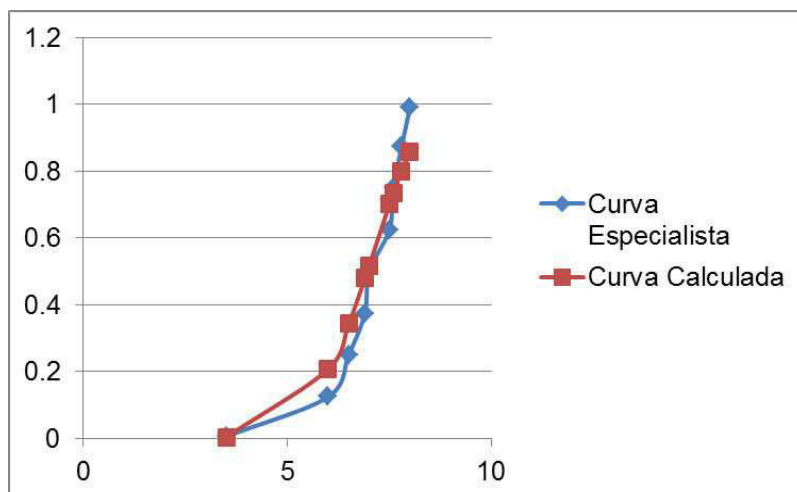


Figura 4.41 – Especialista 01 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

Na tabela 4.35 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 02. Na figura 4.42 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo, onde se verifica que os dados da entrevista formam uma curva assíntota na extremidade inferior e com ponto de inflexão claro. Após a regressão linear foi obtido um $R^2=0,92$ e os parâmetros de escala e forma para os dados analisados foram $\beta=6,68$ e $\eta=6,61$.

Tabela 4.35 – Especialista 02 – Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

c (R\$)	F(c)
3.50	0.00625
4.50	0.125
5.00	0.25
5.70	0.375
6.00	0.5
6.90	0.625
7.40	0.75
7.80	0.875
8.00	0.99

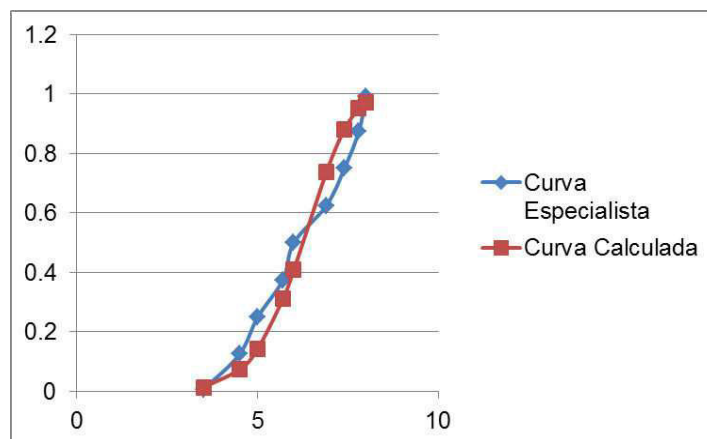


Figura 4.42 – Especialista 02 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

Na tabela 4.36 podem-se analisar as informações para distribuição de probabilidade acumulada do custo unitário deste serviço fornecida pelo entrevistado 04. Na figura 4.43 pode-se ver o gráfico da probabilidade acumulada para o mesmo. Ao analisar esta gráfico, verifica-se que os dados formam uma curva característica de probabilidade acumulada, contudo com um problema de adaptação nas extremidades para que fosse assíntota. Após a regressão linear foram encontrados os seguintes parâmetros: $R^2=0,78$, $\beta=5,87$ e $\eta=5,99$.

Tabela 4.36 – Especialista 04 – Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

c (R\$)	F(c)
15.00	0.00625
16.20	0.125
17.00	0.25
17.80	0.375
19.00	0.5
21.00	0.625
22.00	0.75
23.50	0.875
25.00	0.99

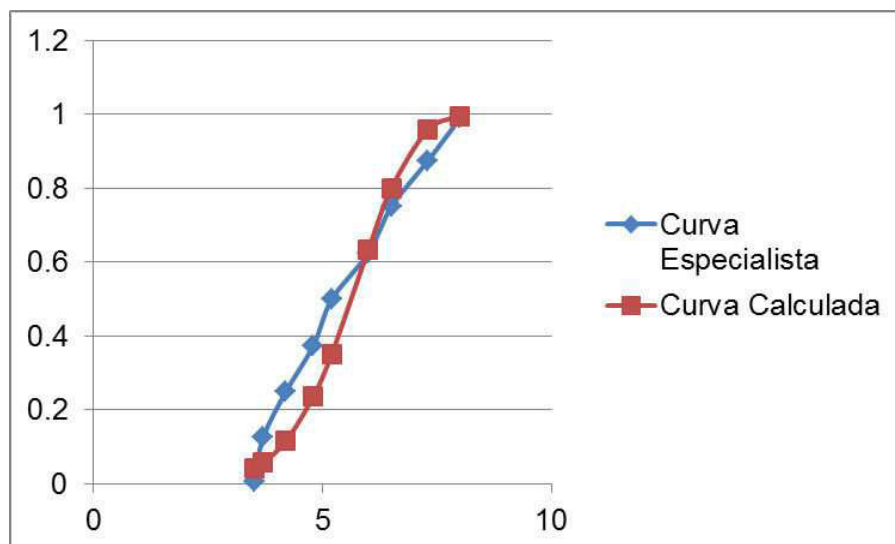


Figura 4.43 – Especialista 04 – Gráfico da Probabilidade Acumulada – Compactação de Aterros

As informações desta variável indicaram mais uma vez que os melhores dados foram provenientes daquele com maior experiência na área, pois o gráfico do entrevistado 01 apresentou-se mais coerente com a curva característica de probabilidade acumulada do que os apresentados pelos entrevistados 02 e 04, os quais possuem menos experiência profissional que o primeiro.

4.2.4 Valor Esperado

Após a análise utilizando o método de regressão linear, foram aplicadas as fórmulas apresentadas no item 4.2.3 para cálculo do valor esperado e a variância de cada uma das variáveis e, por conseguinte, determinação do valor esperado para o empreendimento. Nas tabelas 4.37, 4.38, 4.39 e 4.40 serão apresentados os dados categorizados por entrevistado.

Quando comparados individualmente, os valores tendem a ter grandes distorções entre as informações dos entrevistados, mas se comparado o total, pode-se perceber que os valores não apresentam grandes diferenças, como verificado na Tabela 4.41.

A variação no valor final é insignificante entre um entrevistado e outro, a diferença entre o entrevistado mais conservador e o menos conservador é de R\$ 97.997.450,31, o qual equivale a 3% do valor total do contrato. Contudo, este valor ainda não contempla nenhum tipo de margem de segurança, de modo que basear-se neste número como sendo realidade final é permanecer no erro de fazer uma composição de custo unitário e não considerar nenhum tipo de distorção no valor devido às improdutividades do contrato. A seguir iremos mostrar a solução considerando o intervalo de segurança.

Tabela 4.37 – Dados do Entrevistado 01

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Valores Calculados	
					Média	Variância
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	37,125.39	6,455.73
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	74.61	16.93
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	221.70	48.53
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	7,933.78	829.17
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	280.30	10.73
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	59.71	10.93
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	372.14	22.09
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	55.21	10.89
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	6.61	1.39
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	21.61	2.14
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	6.86	1.10

Tabela 4.38 – Dados do Entrevistado 02

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Valores Calculados	
					Média	Variância
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	29,614.05	7,611.07
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	55.60	21.77
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	208.62	38.90
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	8,729.89	947.92
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	281.55	10.97
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	60.72	11.80
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	383.63	27.15
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	60.18	12.40
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	7.37	1.67
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	19.71	3.63
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	6.17	1.08

Tabela 4.39 – Dados do Entrevistado 03

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Valores Calculados	
					Média	Variância
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	34,960.49	5,685.57
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	68.40	18.02
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	242.09	26.58
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62		
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26		
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88		
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18		
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22		
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72		
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65		
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50		

Tabela 4.40 – Dados do Entrevistado 04

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Valores Calculados	
					Média	Variância
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	34,088.76	5,553.99
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	83.09	21.48
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	225.67	31.54
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	7,772.01	949.23
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	276.06	12.88
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	60.40	11.81
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	417.80	42.32
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	58.83	12.15
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	6.50	1.49
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	19.85	2.81
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	5.55	1.10

Tabela 4.41 – Comparativo entre os Custos Totais das Variáveis

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	Orçamento Original	Especialista 01	Especialista 02	Especialista 03	Especialista 04
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	33,571,276.40	40,738,432.73	32,496,092.57	38,362,841.64	37,406,280.92
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	85,984,866.78	154,658,006.63	115,247,633.72	141,781,387.65	172,236,894.93
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,370,945.00	206,438,995.00	334,102,711.21	314,389,988.85	364,832,400.17	340,079,382.93
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	9,897,495.80	10,009,416.43	11,013,799.27		9,805,322.42
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	21,571,106.29	22,252,057.26	22,351,237.33		21,915,968.92
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	6,811,726.17	6,656,789.21	6,769,239.51		6,733,935.76
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	9,010,130.67	8,467,369.30	8,728,808.30		9,506,282.55
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	68,203.22	4,716,606.25	3,765,491.54	4,104,358.76		4,012,162.54
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	39,507,486.69	32,298,649.52	36,036,042.71		31,784,018.15
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	90,035,313.41	95,761,662.37	87,336,149.09		87,969,164.54
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M2	7,707,745.50	57,477,696.57	52,852,380.34	47,533,390.89		42,809,912.99
GERAL		SUBTOTAL			565,022,700.04	761,562,966.54	686,006,741.00	784,004,191.31	764,259,326.64
		TOTAL A REALIZAR			992,818,399.30	1,189,358,665.81	1,113,802,440.27	1,211,799,890.57	1,192,055,025.90
		CUSTO REALIZADO			2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00
		CUSTO DE PROVISÕES			83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26
		TOTAL			3,081,591,345.30	3,195,018,903.55	3,119,462,678.01	3,217,460,128.32	3,197,715,263.65
		PERCENTUAL EM RELAÇÃO AO ORÇAMENTO ORIGINAL				103.68%	101.23%	104.41%	103.77%

4.2.5 Margem de Segurança

Após determinação do valor esperado para cada um dos serviços o decisor já possui dados para determinação do valor final da obra, entretanto, é importante possuir uma margem de segurança para trabalhar de forma confortável com esta informação. Através do cálculo da margem de segurança o decisor também pode analisar quais dados são mais confiáveis e quais são menos confiáveis, uma vez que a amplitude dessa margem também irá ajudar a identificar qual o nível de domínio que o especialista tem a respeito daquela informação.

A margem de segurança pode ser calculada de duas formas: utilizando-se o desvio padrão ou através do cálculo de percentil. O primeiro caso é inviável neste estudo, pois é necessário que a distribuição escolhida fosse a normal, contudo a utilizada foi a distribuição de Weibull devido a sua flexibilidade e adaptabilidade a dados que tratam de situações de incerteza. Desta forma, foi utilizado o método do percentil para cálculo das margens de segurança deste estudo. Esse método é bastante flexível, entretanto é muito sensível ao nível de conhecimento do especialista, pois o valor de custo é calculado baseado na curva calculada e caso o entrevistado não tenha segurança na informação, a curva pode ficar muito suave, aumentando a margem de variação.

Foram calculadas as margens de variação para um nível de certeza de 90% e 95% a fim de verificar se existe uma grande diferença em termos de valor entre as mesmas e se seria viável trabalhar com a maior margem de segurança. Os valores obtidos através desta análise estão apresentados nas tabelas 4.42, 4.43, 4.44 e 4.45, individualmente por especialista.

Apesar de existir uma variação grande entre os valores de serviços, a mesma apresentou-se de forma amena no total a ser executado. Entretanto, pode-se verificar que os entrevistados 01 e 04 apresentaram valores finais próximos entre si, inclusive em termos de variação da margem. O entrevistado 02, que é o menos experiente, foi aquele em que houve maior diferença entre seus valores de máximo e mínimo. O entrevistado 03, comprovando o que foi explicitado anteriormente sobre a sensibilidade do método, foi o que apresentou menor variação entre os valores de máximo e mínimo. Foi verificado que o especialista 03 apresentou a menor diferença, em termos de valor, entre a margem de segurança de 90% e 95%. E o especialista 02 apresentou a maior diferença entre as duas margens.

Tabela 4.42 – Especialista 01 – Margem de Variação de Custos

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	CUSTO UNITÁRIO - 90%		CUSTO UNITÁRIO - 95%		CUSTO TOTAL - 90%		CUSTO TOTAL - 95%	
					MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	25,602.10	46,788.24	23,057.89	48,254.35	28,093,700.37	51,341,668.37	25,301,881.81	52,950,466.74
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	45.11	100.90	39.23	105.15	93,519,325.98	209,164,252.27	81,323,706.14	217,959,748.87
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	136.80	296.69	119.59	308.68	206,152,675.23	447,114,035.98	180,228,452.31	465,182,806.69
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	6,417.41	9,111.86	6,038.54	9,276.79	8,096,337.96	11,495,705.72	7,618,338.46	11,703,785.19
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	260.37	294.76	254.83	296.64	20,670,416.38	23,400,184.84	20,230,098.13	23,549,185.93
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	40.28	76.17	36.06	78.70	4,490,703.62	8,492,075.82	4,020,522.38	8,773,502.08
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	331.28	402.43	320.28	406.45	7,537,782.94	9,156,511.43	7,287,486.08	9,248,117.45
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	35.97	71.78	31.90	74.37	2,453,019.49	4,895,870.96	2,175,714.94	5,072,102.30
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	4.16	8.75	3.66	9.09	20,348,576.13	42,752,267.39	17,888,118.26	44,407,683.84
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	17.68	24.64	16.69	25.07	78,361,671.02	109,204,017.31	73,974,747.23	111,074,460.39
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	4.89	8.48	4.44	8.73	37,670,489.19	65,385,852.70	34,231,804.39	67,257,150.95
GERAL		SUBTOTAL							507,394,698.31	982,402,442.80	454,280,870.13	1,017,179,010.44
		TOTAL A REALIZAR							935,190,397.58	1,410,198,142.06	882,076,569.39	1,444,974,709.70
		CUSTO REALIZADO							2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00
		CUSTO DE PROVISÕES							83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26
		TOTAL							2,940,850,635.32	3,415,858,379.80	2,887,736,807.14	3,450,634,947.44
		PERCENTUAL EM RELAÇÃO AO ORÇAMENTO ORIGINAL							95.43%	110.85%	93.71%	111.98%

Tabela 4.43 – Especialista 02 – Margem de Variação de Custos

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	CUSTO UNITÁRIO - 90%		CUSTO UNITÁRIO - 95%		CUSTO TOTAL - 90%		CUSTO TOTAL - 95%	
					MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	16,557.64	41,678.12	14,106.03	43,694.14	18,169,024.23	45,734,230.51	15,478,831.99	47,946,457.07
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	21.30	92.97	16.49	100.25	44,142,931.07	192,712,889.82	34,178,718.16	207,808,375.12
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	139.56	267.37	124.66	276.41	210,311,224.43	402,923,380.86	187,865,890.47	416,553,941.58
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	6,998.40	10,080.95	6,568.77	10,270.99	8,829,316.61	12,718,332.17	8,287,293.95	12,958,090.23
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	261.18	296.34	255.52	298.26	20,734,749.90	23,525,440.05	20,285,203.88	23,677,941.65
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	39.84	78.64	35.40	81.43	4,441,294.41	8,767,550.81	3,946,725.13	9,078,053.65
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	336.52	411.17	325.02	415.40	7,656,945.06	9,355,339.12	7,395,245.86	9,451,737.64
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	38.36	79.16	33.83	82.15	2,616,184.98	5,399,131.34	2,307,001.14	5,603,060.03
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	4.46	9.97	3.88	10.39	21,806,366.94	48,717,792.86	18,966,305.69	50,763,526.70
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	13.25	25.19	11.85	26.03	58,725,399.19	111,614,743.30	52,530,658.77	115,343,483.55
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	3.99	8.14	3.52	8.44	30,742,279.43	62,706,366.40	27,164,219.81	65,035,888.02
GERAL	SUBTOTAL								428,175,716.26	924,175,197.23	378,406,094.85	964,220,555.26
	TOTAL A REALIZAR								855,971,415.52	1,351,970,896.49	806,201,794.12	1,392,016,254.52
	CUSTO REALIZADO								2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00
	CUSTO DE PROVISÕES								83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26
	TOTAL								2,861,631,653.26	3,357,631,134.23	2,811,862,031.86	3,397,676,492.27
	PERCENTUAL EM RELAÇÃO AO ORÇAMENTO ORIGINAL								92.86%	108.96%	91.25%	110.26%

Tabela 4.44 – Especialista 03 – Margem de Variação de Custos

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	CUSTO UNITÁRIO - 90%		CUSTO UNITÁRIO - 95%		CUSTO TOTAL - 90%		CUSTO TOTAL - 95%	
					MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	24,766.05	43,401.01	22,467.93	44,665.01	27,176,286.96	47,624,796.65	24,654,513.57	49,011,806.14
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	37.60	97.07	31.89	101.90	77,941,477.15	201,222,480.76	66,109,834.42	211,229,432.58
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	193.56	280.01	181.54	285.35	291,697,175.09	421,972,503.43	273,587,931.41	430,020,933.17
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62								
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26								
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88								
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18								
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22								
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72								
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65								
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50								
GERAL		SUBTOTAL							635,842,501.06	909,847,342.70	603,379,841.26	929,289,733.76
		TOTAL A REALIZAR							1,063,638,200.32	1,337,643,041.96	1,031,175,540.52	1,357,085,433.02
		CUSTO REALIZADO							2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00
		CUSTO DE PROVISÕES							83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26
		TOTAL							3,069,298,438.07	3,343,303,279.70	3,036,835,778.27	3,362,745,670.76
		PERCENTUAL EM RELAÇÃO AO ORÇAMENTO ORIGINAL							99.60%	108.49%	98.55%	109.12%

Tabela 4.45– Especialista 04 – Margem de Variação de Custos

Tipo	Item	Descrição	Unid.	Quantidade	CUSTO UNITÁRIO - 90%		CUSTO UNITÁRIO - 95%		CUSTO TOTAL - 90%		CUSTO TOTAL - 95%	
					MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
superestrutura	1	MÃO DE OBRA DE MONTAGEM DE GRADE	KM	1,097.32	24,131.42	42,335.75	21,887.98	43,571.20	26,479,895.10	46,455,866.88	24,018,121.19	47,811,544.11
	2	FABRICAÇÃO DE BRITA PARA LASTRO	M3	2,072,923.50	46.27	117.17	39.38	122.87	95,923,670.90	242,875,107.25	81,637,588.09	254,699,742.93
	3	FABRICAÇÃO DE DORMENTES	UN	1,507,005.00	168.63	271.70	155.23	278.41	254,129,681.06	409,453,693.01	233,935,747.07	419,570,488.22
Obra de Arte Corrente	4	BUEIRO CELULAR	M	1,261.62	6,045.34	9,139.11	5,626.84	9,334.44	7,626,919.31	11,530,078.30	7,098,930.23	11,776,511.81
	5	CONCRETO DE DRENAGEM	M3	79,387.26	252.19	293.53	245.64	295.82	20,021,045.31	23,302,935.81	19,500,381.33	23,484,648.35
	6	FORMA PARA CONCRETO DE DRENAGEM	M2	111,484.88	39.52	78.36	35.09	81.15	4,405,414.09	8,735,436.71	3,911,822.81	9,046,858.41
Obra de Arte Especial	7	CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M3	22,753.18	340.34	477.77	320.88	486.14	7,743,835.47	10,870,860.05	7,301,047.02	11,061,190.24
	8	FORMA PARA CONCRETO DE OBRA DE ARTE ESPECIAL	M2	68,203.22	37.44	77.44	33.01	80.38	2,553,808.91	5,281,823.53	2,251,150.75	5,481,928.59
Terraplenagem	9	ESC. CARGA TRANSP. MAT 1ª e 2ª CAT	M3	4,887,333.72	3.91	8.82	3.39	9.20	19,097,878.76	43,126,959.52	16,579,664.55	44,962,603.69
	10	ESC. CARGA TRANSP. MAT 3A CAT	M3	4,431,239.65	14.78	23.95	13.59	24.55	65,491,112.25	106,144,808.02	60,225,160.32	108,800,340.15
	11	COMPACTAÇÃO DE ATERROS	M3	7,707,745.50	3.61	7.23	3.21	7.49	27,862,404.49	55,689,207.78	24,706,507.48	57,698,030.17
GERAL	SUBTOTAL								531,335,665.63	963,466,776.88	481,166,120.83	994,393,886.68
	TOTAL A REALIZAR								959,131,364.89	1,391,262,476.14	908,961,820.09	1,422,189,585.94
	CUSTO REALIZADO								2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00	2,088,772,946.00
	CUSTO DE PROVISÕES								83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26	83,112,708.26
	TOTAL								2,964,791,602.64	3,396,922,713.89	2,914,622,057.84	3,427,849,823.68
	PERCENTUAL EM RELAÇÃO AO ORÇAMENTO ORIGINAL								96.21%	110.23%	94.58%	111.24%

4.3 Discussão resultados

Através dos valores apresentados no item 4.2 verifica-se que existe uma grande diferença entre as informações recolhidas nas entrevistas de cada um dos especialistas. Apesar de no valor final do Empreendimento essas diferenças serem relativamente baixas, apenas 3%, no valor tratado nesta pesquisa o impacto é significativo, pois se trata de 13% do valor analisado, visto que este valor trata-se do backlog da obra e a parcela de custo realizado é igual para todos os entrevistados, diluindo a diferença no total do empreendimento. A seguir serão apresentadas as análises divididas em: elicitação de probabilidades, valor esperado e margem de segurança e vantagens e dificuldades do Modelo.

4.3.1 Elicitação de Probabilidades

Através da análise dos dados de elicitação de probabilidades dos entrevistados, pode-se perceber que quanto mais experiente o entrevistado for, mas seguro o mesmo será em relação à determinação dos valores equiprováveis de probabilidade, mesmo que exista resistência ao processo. O entrevistado 03 foi o mais resistente ao processo de entrevista, entretanto os seus dados foram os que apresentaram curvas mais parecidas com o formato descrito por Raiffa (1977), pois o mesmo tem quase 40 anos de experiência e é de fato especialista na área de superestrutura ferroviária. O entrevistado 01 é aquele que possui maior perfil gerencial, de modo que domina todo o processo construtivo, levando em consideração as intempéries da obra estudada, sem deixar de considerar no processo de entrevista o seu conhecimento adquirido ao longo dos anos de experiência. Ao se analisarem as informações fornecidas por este entrevistado, pode-se verificar que seus gráficos em geral apresentam curvas que se adaptaram bem ao modelo, sendo a distribuição suave, com ponto de inflexão claro e, normalmente, tendendo a ser assintótica nas extremidades. Os entrevistados 02 e 04 são profissionais menos experientes e que tenderam a direcionar os dados de suas entrevistas para valores aos quais tinham acesso devido às atividades que desempenham na obra estudada.

Através das informações fornecidas através das entrevistas e após o tratamento de dados o analista tem uma grande gama de parâmetros a fim de decidir qual dos cenários é o mais próximo do real se o mesmo conseguir interpretar os dados levando em consideração o teor de experiência e conhecer o perfil dos especialistas. A decisão para o valor esperado não precisa necessariamente ser tomada com as informações de um único especialista. O decisor pode escolher misturar os parâmetros dos entrevistados, caso o mesmo acredite que um tem maior capacidade técnica de estimar a curva de densidade da probabilidade, pode escolher as

informações de um único especialista ou pode agregar os valores dos especialistas, neste último caso existe uma vasta gama de técnicas que não serão discutidas nesta dissertação.

Uma vez que o decisor inicia o processo de análise dos dados, ele irá se deparar com diversas situações. Há os casos em que existe uma grande insegurança nos dados da estimativa e é possível perceber tal problema nos gráficos de probabilidade acumulada e na densidade de probabilidade. Este comportamento pode ser verificado na figura 4.44 em que o especialista apresentou insegurança na resposta à entrevista, então a curva de densidade pra probabilidade ficou aberta e os dados se acumularam mais próximos às extremidades e no lugar de apresentar uma distribuição uniforme ao longo da curva. Na figura 4.43 apresentada no item 4.2.3.5 o mesmo comportamento, mas na curva de probabilidade acumulada.

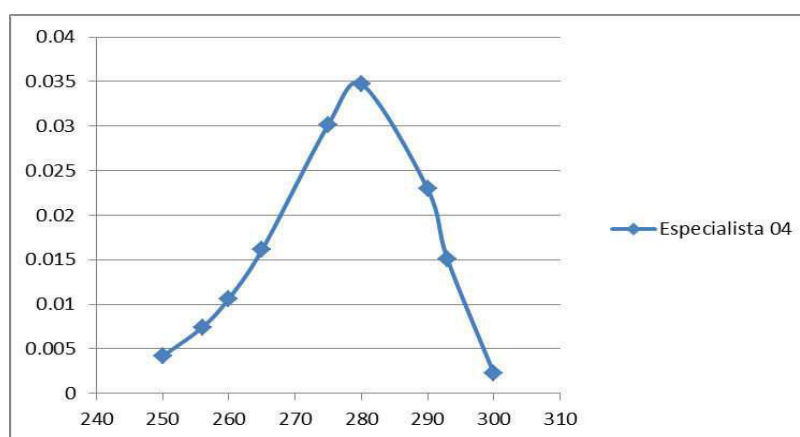


Figura 4.44 – Especialista 04 – Curva de Densidade da Probabilidade – Concreto de Drenagem

Por outro lado, o decisor também pode se deparar com casos em que o especialista apresenta um valor específico para execução do serviço e direciona a entrevista para aquele valor especificamente. Ao verificar o gráfico, o especialista aparenta ter conhecimento a respeito daquela variável, mas não tem, por não ter experiência.

Esse comportamento pode ser verificado comparando as figuras 4.45 e 4.46. O especialista 02 tem informações a respeito do custo executado na obra no momento da entrevista, enquanto que o especialista 03 não possui esse tipo de informação, por não fazer parte da equipe que de fato trabalha na execução da obra. Analisando a figura 4.45 claramente existem inúmeros pontos da curva que ficaram muito próximos, o que poderia levar o decisor a acreditar que este especialista possui muito conhecimento na área, entretanto o mesmo é o menos experiente dos 04 entrevistados e não possui conhecimentos profundos na área de superestrutura. Entretanto, o especialista 03 que é o mais experiente dos 04 e especialista em

superestrutura ferroviária teve o seu gráfico desenhado de forma mais suave, formando uma curva mais fechada e com os pontos bem distribuídos ao longo da mesma.

Esse mesmo comportamento pode ser verificado claramente na curva de probabilidade acumulada no gráfico de Weibull. A figura 4.45 refere-se aos mesmos dados apresentados na figura A1.2 do apêndice 1 e a figura 4.46 refere-se aos dados da figura A1.3. No caso da distribuição de Weibull pode-se perceber o comportamento na figura A1.2 em que os pontos ficam todos próximos e não forma nesta posição uma reta, enquanto que a figura A1.3 é uma reta quase que perfeita.

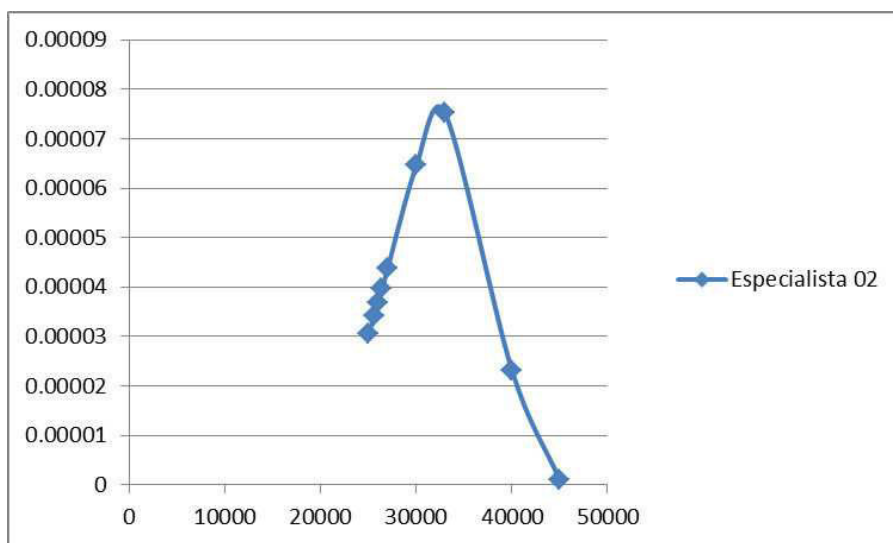


Figura 4.45 – Especialista 02 – Curva de Densidade da Probabilidade – Mão de Obra de Montagem de Grade

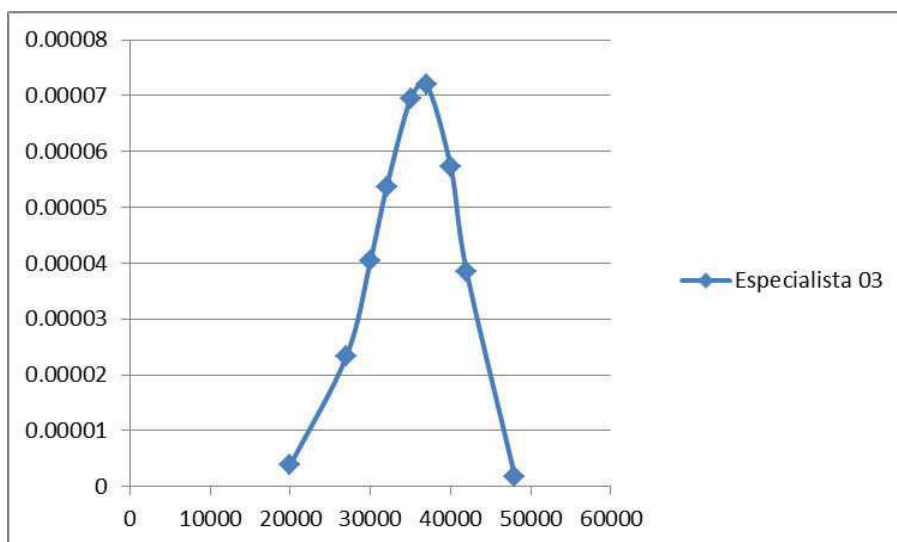


Figura 4.46 – Especialista 03 – Curva de Densidade da Probabilidade – Mão de Obra de Montagem de Grade

4.3.2 Valor Esperado e Margem de Segurança

O valor esperado foi calculado utilizando-se as fórmulas apresentadas no item 4.1.2. Este é a principal informação a ser gerada pelo estudo, sendo a margem de segurança uma informação adicional para gerar conforto ao decisor em seu processo de tomada de decisão.

A análise comparativa dos valores esperados reflete o que se pode verificar graficamente quando plotadas as informações de todos os especialistas em um único gráfico. Na figura 4.47 podem-se analisar os dados das curvas calculadas para cada especialista em uma variável cujo nível de incerteza era alto, de forma que as curvas encontradas foram dispersas, a curva do especialista 02 ficou distante das demais curvas na maior parte de seu desenho e as curvas dos especialistas 01 e 04 apresentaram-se próximas. Na figura 4.48, analisa-se uma variável em que as informações dos especialistas 01, 02 e 04 apresentaram seus valores esperados muito próximos e essa informação se reflete graficamente, em que todas as curvas calculadas estão próximas umas às outras.

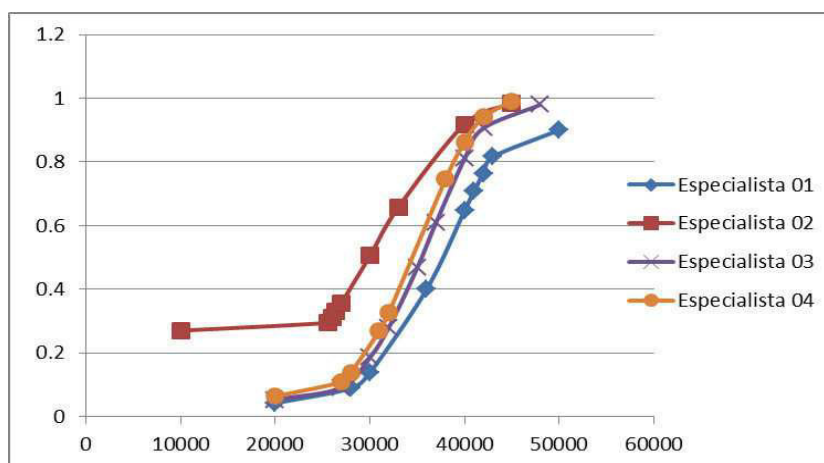


Figura 4.47 – Probabilidade Acumulada – Mão de Obra de Montagem de Grade

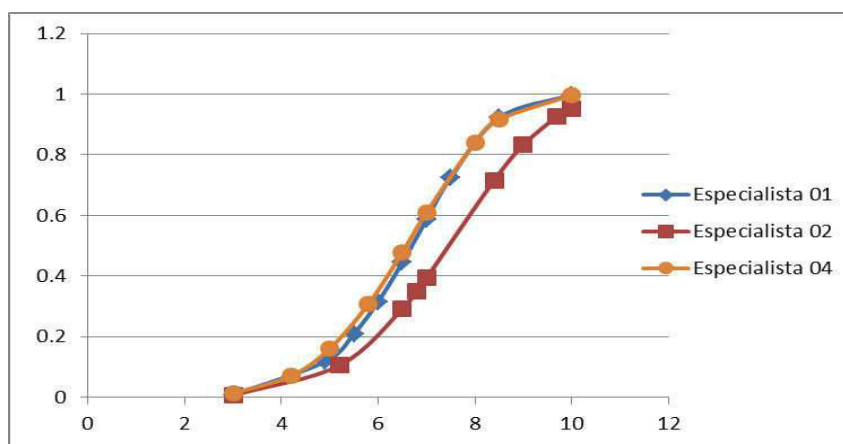


Figura 4.48 – Probabilidade Acumulada – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

Os dados analisados numericamente, através da Tabela 4.45, mostraram que os especialistas 01 e 04 apresentaram valores unitários diferentes para as variáveis, mas apresentaram um valor total muito próximo entre si. Já o especialista 02 foi o que apresentou o valor final mais próximo do orçamento, indicando que o mesmo encontrava-se fortemente influenciado por tal informação.

Conforme explicado anteriormente, o nível de segurança da informação do especialista pode ser facilmente verificado ao se analisar a curva de probabilidade acumulada. Quanto mais seguro da informação o especialista estiver, menor será a inclinação da curva de probabilidade acumulada, menos dispersos serão os dados da curva e menor será a amplitude da curva de densidade da probabilidade, de modo que esta informação interfere diretamente no cálculo da margem de segurança.

Nas figuras 4.49 e 4.50 podem-se ver exemplos desse comportamento. No primeiro gráfico deve ser analisado que a curva apresenta um desenho suave, de modo que a diferença de valores nas margens para $F(c)=5\%$ e $F(c)=95\%$, o qual garantiriam um coeficiente de segurança de 90%, e nas margens para $F(c)=2,5\%$ e $F(c)=97,5\%$, que garantiriam um coeficiente de segurança de 95%, é alta, pois a distância entre esses pontos é grande, porque os pontos estão mais dispersos. O custo unitário mínimo para o coeficiente de segurança de 95% é 7.5% maior que o calculado para o coeficiente de segurança de 90%

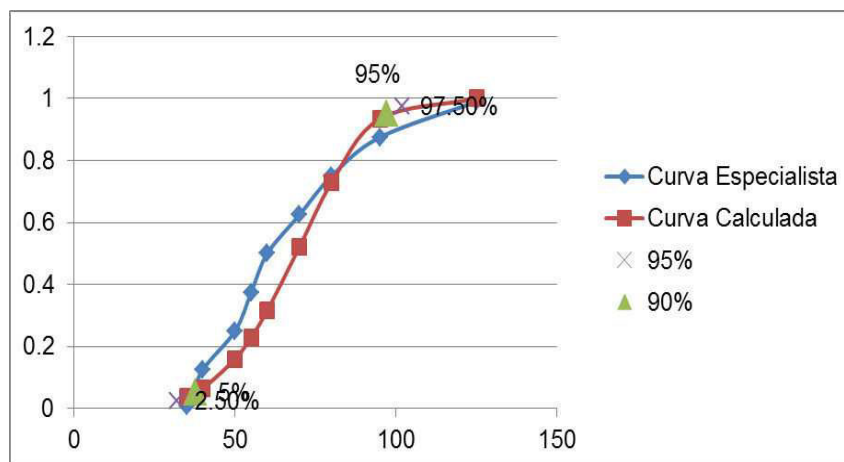


Figura 4.49 – Especialista 03 – Margem de Segurança – Fabricação de Brita para Lastro

Na figura 4.50 pode-se perceber que os valores estão mais concentrados ao redor de um eixo, de modo que a margem fica mais próxima aos valores da média e a diferença entre uma distribuição com 90% de margem e 95% é menor. Neste caso o incremento gerado é de 5% entre a pior e a melhor situação. Neste estudo podem-se verificar casos em que as diferenças são ainda menores do que 5% na variação e casos em que a diferença é maior do que os 7,5%

do caso anterior, devido ao fato desta análise ser extremamente sensível à amplitude da curva resultante da entrevista com o especialista.

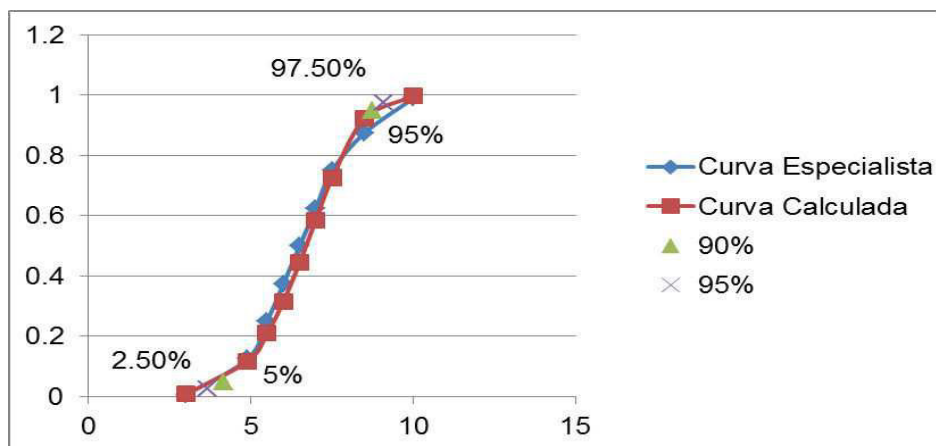


Figura 4.50 – Especialista 01 – Margem de Segurança – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

Os dados de valor esperado dos especialistas 01 e 04 foram os que ficaram mais próximos entre si. Outro ponto que deve ser verificado durante o processo de análise é o quão influenciado por dados calculados está o entrevistado no momento da entrevista. Um exemplo foram os dados do entrevistado 02, que foram os mais conservadores e mais influenciados pela informação de orçamento, tanto que seu valor desviou apenas 1,23% do valor orçado e esse comportamento é devido ao tipo de informação com o qual este entrevistado lida em suas atividades no ambiente da obra.

A fim de diminuir a variação entre as margens seria necessário maior investimento no processo investigativo, pois este estudo resultaria em curvas com menor variância e, portanto, menor dispersão dos dados em relação à média.

4.3.3 Vantagens e Dificuldades do Modelo

O processo como um todo é vantajoso do ponto de vista de flexibilidade e agilidade no processo para determinação de um valor final do empreendimento. O ponto que se deve levar em consideração é que quanto maior a experiência, em termos gerais, do especialista, melhor a informação. Este comportamento pode ser visto claramente nas variáveis em que o especialista 03 foi entrevistado, pois o mesmo tem 39 anos de experiência na área e é o que têm maior experiência em obras de superestrutura ferroviária, portanto seus dados se adaptaram melhor às curvas que os dos demais especialistas. Posteriormente esse comportamento ficou mais uma vez claro, na entrevista a respeito das variáveis de

terraplengem, em que o especialista 01 apresentou os dados que melhor se adaptaram as curvas e com menor variância.

Existem pontos de atenção que precisam ser levados em consideração no momento da aplicação do método, pois o analista ou o decisor precisa, além de analisar os dados frios, também estender esta análise para os entrevistados a fim de obter informações mais bem qualificadas para aplicação do ponto de vista prático. A fim de melhorar a qualidade da informação também precisa haver investimento para serem feitos estudos nos dados e dar subsídios aos especialistas para que se sintam mais confortáveis no momento da entrevista.

As dificuldades encontradas são conseguir convencer o entrevistado que aqueles dados são válidos, pois existe uma grande resistência à metodologia. O tratamento dos dados também é um ponto de atenção, pois é necessário que se utilizem entrevistas de profissionais com vasta experiência, caso contrário as margens de variação para o orçamento serão muito altas.

Outro ponto que pode ser considerado como desvantagem é a expectativa de aplicar esta metodologia para medir variações de projetos. Em obras cujo projeto executivo foi pouco estudado em termos de projeto executivo e metodologia executiva anteriormente à contratação. Estes tendem a ter grandes variações de orçamento ao longo da obra, mas este tipo de informação não pode ser medida pelo conhecimento a priori dos especialistas que estão envolvidos no contrato, uma vez essa é uma variação que está mais vinculada aos serviços do projetista que ao executor da obra. Em qualquer obra sempre vai haver variação de projeto, mas o esperado é que esta não ultrapasse 20% do valor total da mesma.

5 CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

A gama de contratos feitos na modalidade de Aliança ou Administração vem crescendo no país, devido a diminuição de custo em tributos e flexibilizações geradas dentro do contrato, sendo cada vez maior a preferência por esta modalidade que aos comuns contratos por “preço unitário”. A Gestão de Projetos, entretanto, não se encontra preparada com técnicas que possam vir a subsidiar os acompanhamentos de custo e reorçamentos em obras deste tipo, pois este é um movimento muito novo no mundo e, especialmente, no Brasil, aonde vem sendo utilizado há menos de 5 anos. A proposta desta dissertação foi encontrar uma nova forma para implementar este acompanhamento e mitigar as distorções geradas nos valores apresentados às Contratantes, quanto ao valor final do empreendimento que fosse dinâmica e confiável.

A fim de solucionar este problema, escolheu-se aplicar para gestão de custo um procedimento para o qual não foram encontrados outros estudos anteriores em acompanhamento de custo. Este procedimento é muito usado em várias aplicações de teoria da decisão, em temas tais como: dimensionamento de sobressalentes (Ferreira, 2001) e estudos utilizando função utilidade para auxiliar na tomada de decisão em diversos casos, como descrito por Entani & Sugihara (2012) e Bouyssou & Marchant (2011).

Escolheu-se apresentar os resultados encontrados resultantes das entrevistas aplicadas individualmente por variável, pois a ordem de grandeza entre estas é muito diferente para que possam ser tratadas como uma variável só, apesar de serem parte do mesmo conjunto. No contexto do empreendimento foram analisados os valores globais, uma vez que se precisa levar em consideração a quantidade a ser executada, caso contrário os analistas ou os decisores não teriam sensibilidade quanto ao peso da variável sobre o todo. A fim de aplicar a regressão global foi utilizada a distribuição de Weibull para linearização dos dados.

Observa-se que a variação entre as informações dos especialistas, num contexto global, é baixa e que quanto maior é o nível de experiência do especialista menor a variação da margem de segurança resultante de sua análise. Seria necessário verificar outras rodadas de entrevistas, após dois ou três meses, nos mesmos especialistas e verificar quais variações seriam encontradas nas informações passadas pelos mesmos ao longo do tempo.

Pode-se concluir que a metodologia desenvolvida nesta dissertação, pode ser utilizada para auxiliar a empresa Contratante a dimensionar a quantidade de recurso necessária para finalização do empreendimento e criar uma rotina mais dinâmica para a revisão desses valores, uma vez que é uma metodologia mais rápida que a de revisar todos os custos

unitários previstos para realização do empreendimento. Também pode-se concluir que o método apresenta várias nuances e que os dados coletados nas entrevistas são ricos de informações a serem tratadas pelo analista. É importante que se leve em consideração que para melhor aplicação da ferramenta, seria necessário maior compromisso da construtora com o processo, a fim de serem feitas entrevistas com mais especialistas e verificar o impacto encontrado quando existe uma maior quantidade de especialistas.

5.1 Trabalhos Futuros

Como sugestão para futuros trabalhos poderiam ser feitas entrevistas que incluíssem o custo indireto, pois nesse primeiro momento só levou-se em consideração o custo de execução da obra. Também se poderia fazer a entrevista dividindo as variáveis em blocos de especialistas, a fim de extrair informações de melhor qualidade, uma vez que cada tipo de obra apresenta características próprias e especialistas específicos. Outra sugestão é utilizar métodos de agregação de conhecimento de especialistas para determinar um valor único, tanto esperado, quanto referente a margem de segurança, a fim de verificar qual seria o método que melhor se aplicaria em obras de construção civil.

Esta metodologia não exige que o conhecimento esteja vinculado ao projeto em estudo, mas pode ser utilizado o conhecimento a priori dos especialistas em outros projetos, mesmo sabendo-se que cada um é único, pois as condições do terreno, o tipo de equipamento, o tipo de serviços a serem executados são relativamente uniformes. Poder-se-ia aplicar o método para estimativa de preço unitário, no lugar de fazer um orçamento com valor único, passando a haver um intervalo de segurança para aquele orçamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. T.. Multicriteria Model for Selection of Preventive Maintenance Intervals. **Quality Reliability Engineering International**. Vol. 28, 585–593, 2012.
- BRITO, A.J., ALMEIDA, A.T.. Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines. **Reliability Engineering System Safety**. Vol. 94, 187–198, 2009.
- BRITO, A. J. M., ALMEIDA, A. T.. Modeling a multi-attribute utility newsvendor with partial backlogging. **European Journal of Operational Research**, v. 220, 2012.
- BOUYSSOU, D., MARCHANT, T.. Subjective Expected Utility Without Preferences. **Journal of Mathematical Psychology**. Vol. 55, 457-468, 2011.
- CRÈS, H., GILBOA, I., VIEILLE, N. Aggregation of Multiple Prior Opinions. **Journal of Economic Theory**. Vol. 146, 2563-2582, 2011.
- ENTANI, T., SUGIHARA, K. Uncertainty Index Based Interval Assignment by Interval AHP. **European Journal of Operational Research**. Vol. 219, 379-385, 2012.
- FERREIRA, H. L. **Uso de Conhecimento a Priori de Especialistas no Dimensionamento de sobressalentes para Manutenção do Sistema da CELPE**. Recife, 2001. 91 p. (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção/UFPE).
- GENSEMER, S., KANAGARETNAM, K. Alliances and Cost Declaration. **Managerial and Decision Economics**, Vol. 25, 121-136, 2004.
- GULATI, R. Alliances and Networks. **Strategic Management Journal**, Vol. 19, 293–317, 1998.
- KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. History, Practices, and Future of Earned Value Management in Government: Perspectives From NASA. **Project Management Journal**, Vol. 43, No. 1, 77–90, 2011.
- LIU, X., GHORPADE, A., TU, Y.L., ZHANG, W.J. A Novel Approach to Probability Distribution Aggregation. **Information Sciences**, Vol. 188, 269-275, 2012.
- LIPKE, W. Schedule is different. **Meas News**, 31 -34, 2003.
- LIPKE, W. Statistical Methods Applied to EVM: The Next Frontier. **CROSSTALK**, 20 -23, 2006.
- LIPKE, W., ZWIKAEI, W., HENDERSON, O., ANBARI, K. Prediction of project outcome The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. **International Journal of Project Management**, Vol. 27, 400–407, 2009.

- MONTGOMERY, D. C., RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. LTC, Rio de Janeiro, 2009.
- MULANY, R. M., BURGESS, E. J. **EVM Desmystified, An Easy Guide for the Practical Use of Earned Value Management**. Dynasty Press, Virginia, 2007.
- NAENI, L. M., SALEHIPOUR, A. Evaluating fuzzy earned value indices and estimates by applying alpha cuts. **Expert Systems with Applications**, Vol. 38, 8193–8198, 2011.
- NAENI, L. M., SHADROKH, S., SALEHIPOUR, A. A fuzzy approach for the earned value management. **International Journal of Project Management**, Vol. 29, 764–772, 2011.
- PAJARES, J., LÓPEZ-PAREDES, A. An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index **International Journal of Project Management**, Vol. 29, 615–621, 2011.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)** (4th ed.). Pensilvânia (EUA), 2008.
- RAIFFA, H. **Teoria da Decisão**. Vozes; São Paulo, 1977.
- VANDEVOORDE, S., VANHOUCKE, M. A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. **International Journal of Project Management**, Vol. 24, 289–302, 2006.
- VANHOUCKE, M. On the dynamic use of project performance and schedule risk information during project tracking. **Omega**, Vol. 39, 416–426, 2011.
- WARBURTON, R.D.H. A time-dependent earned value model for software projects. **International Journal of Project Management**, Vol. 29, 1082–1090, 2011.
- WEIBULL, W., SWEDEN, S. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. **ASME Journal of Applied Mechanics**, 293–297, 1951.
- WHITE, S., LUI, S. S. Distinguishing Costs Of Cooperation And Control In Alliances. **Strategic Management Journal**, Vol. 26, 913 – 932, 2005.

Apêndice 01 – Distribuição de Weibull

Neste Apêndice serão apresentados os gráficos referentes a distribuição acumulada dos especialistas adaptada a Distribuição de Weibull.

1.1. Mão de Obra de Montagem de Grade

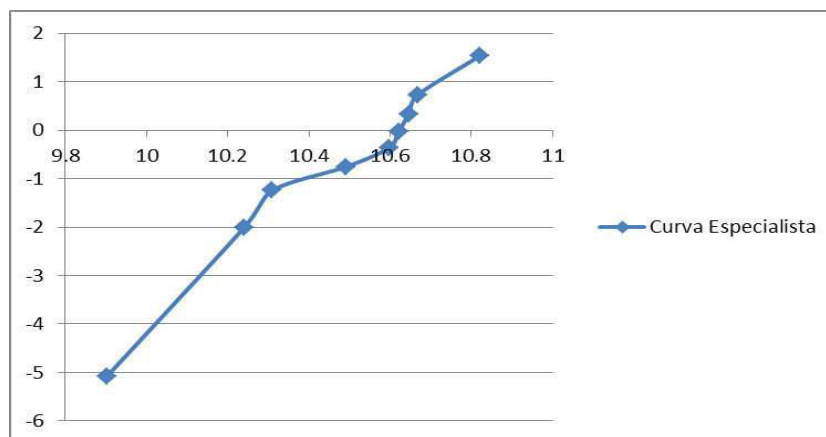


Figura A1.1 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade

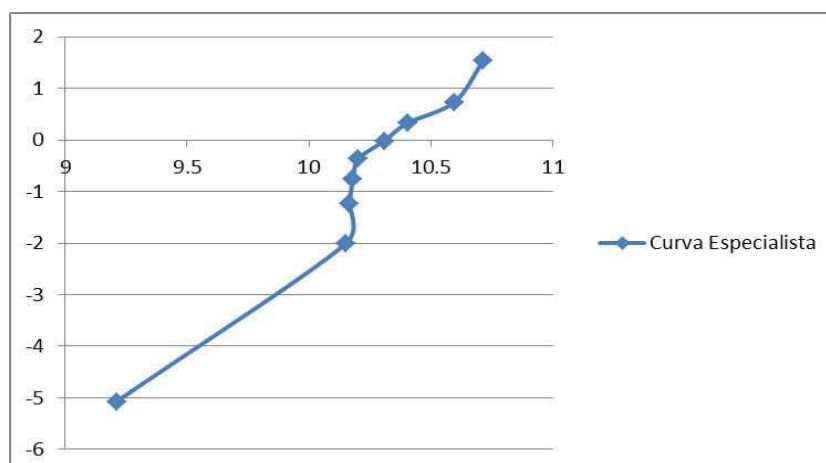


Figura A1.2 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade

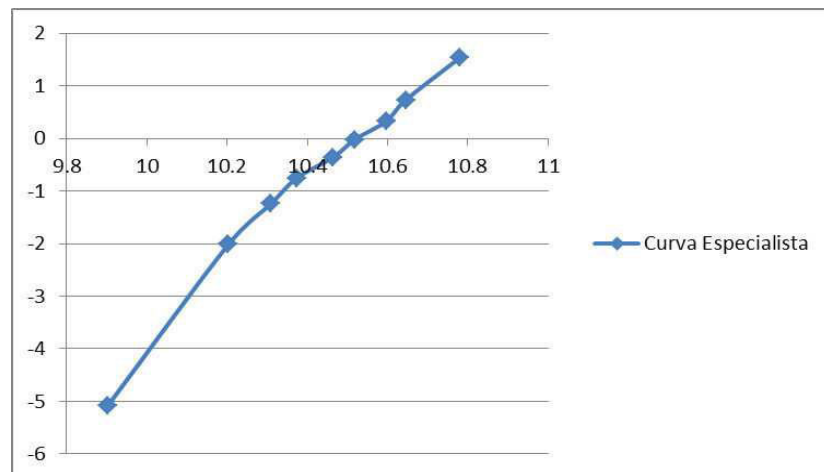


Figura A1.3 – Especialista 03– Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade

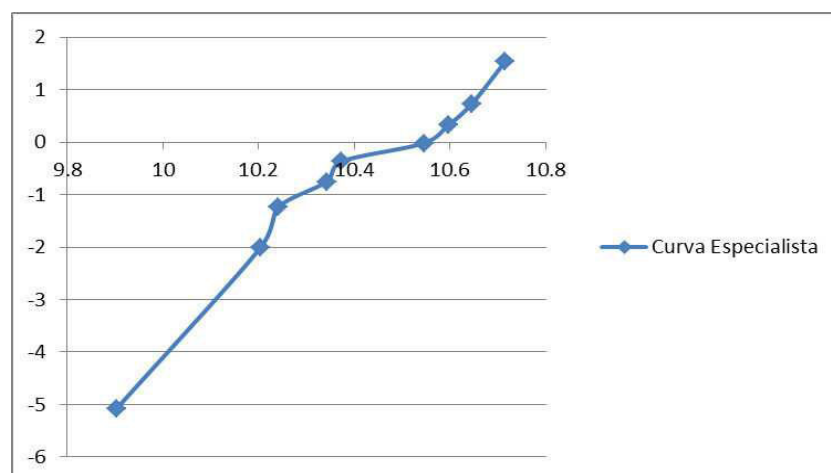


Figura A1.4 – Especialista 04– Distribuição de Weibull – Mão de Obra de Montagem de Grade

1.2. Fabricação de Brita para Lastro

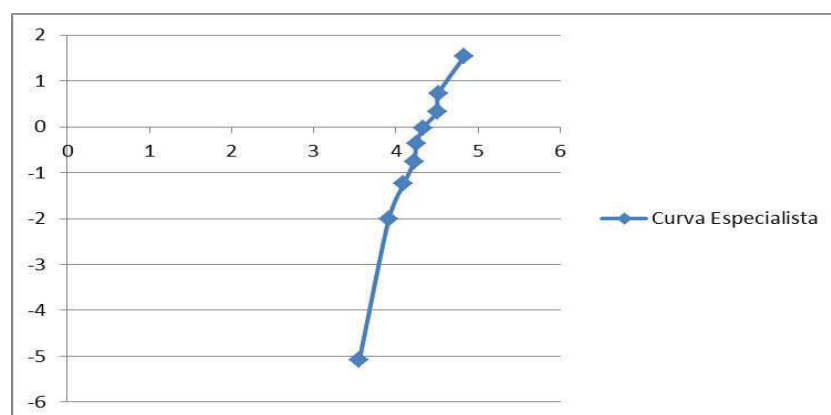


Figura A1.5 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro

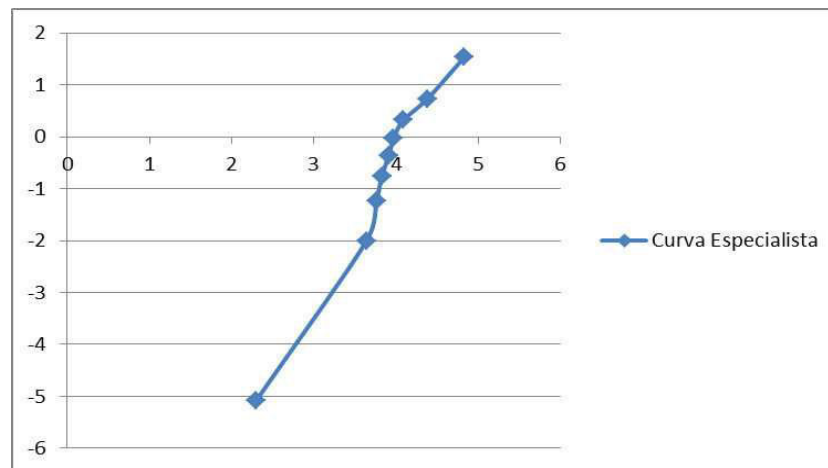


Figura A1.6 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro

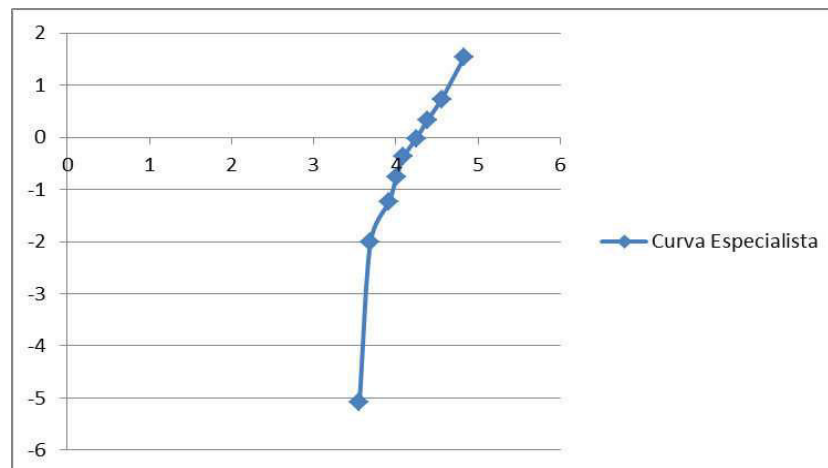


Figura A1.7 – Especialista 03 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro

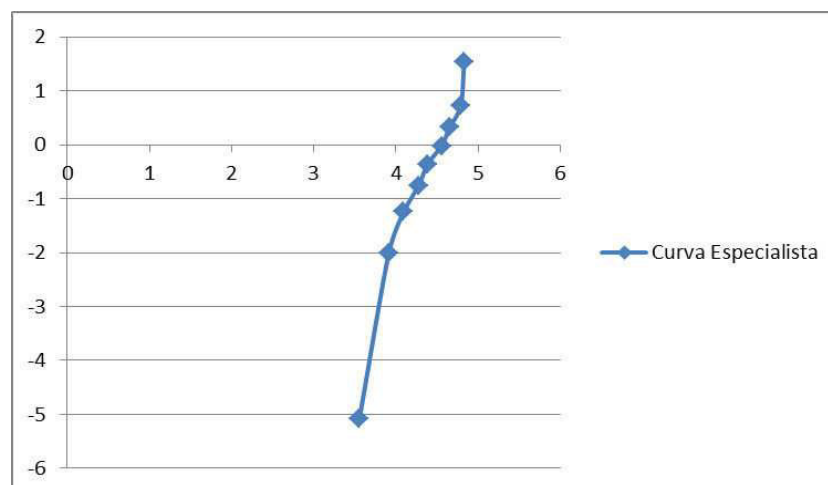


Figura A1.8 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Brita para Lastro

1.3. Fabricação de Dormentes de Concreto

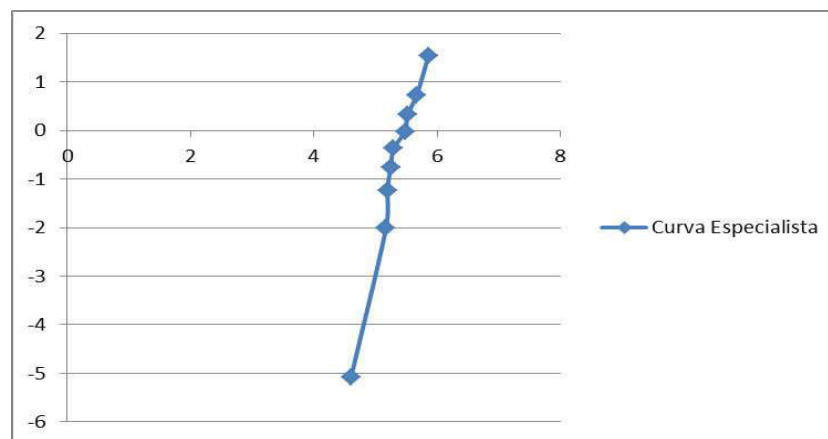


Figura A1.9 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto

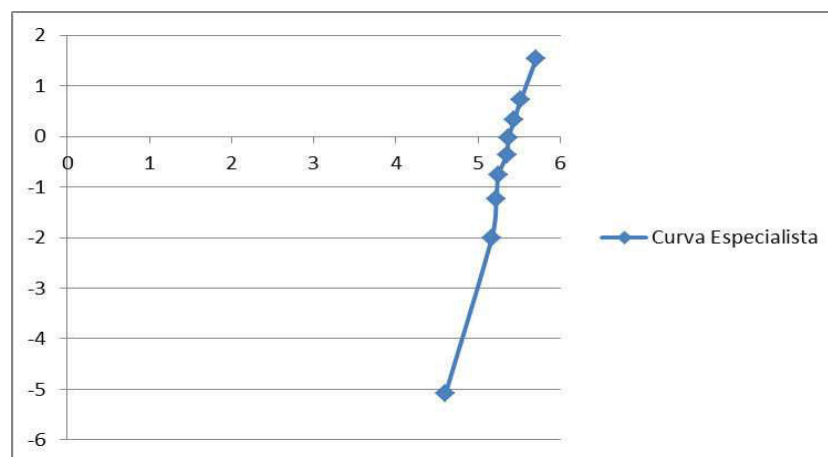


Figura A1.10 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto

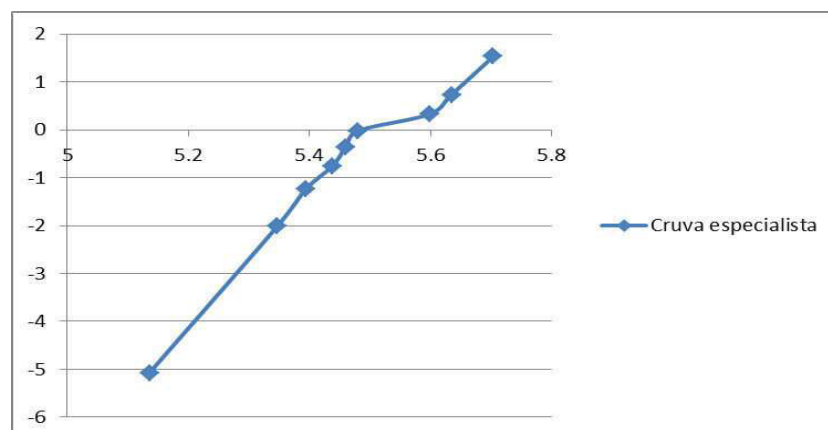


Figura A1.11 – Especialista 03 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto

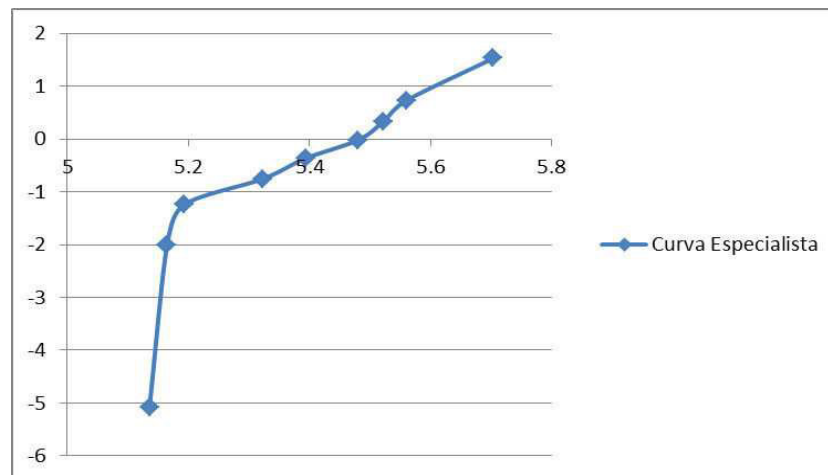


Figura A1.12 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Fabricação de Dormentes de Concreto

1.4. Bueiro Celular

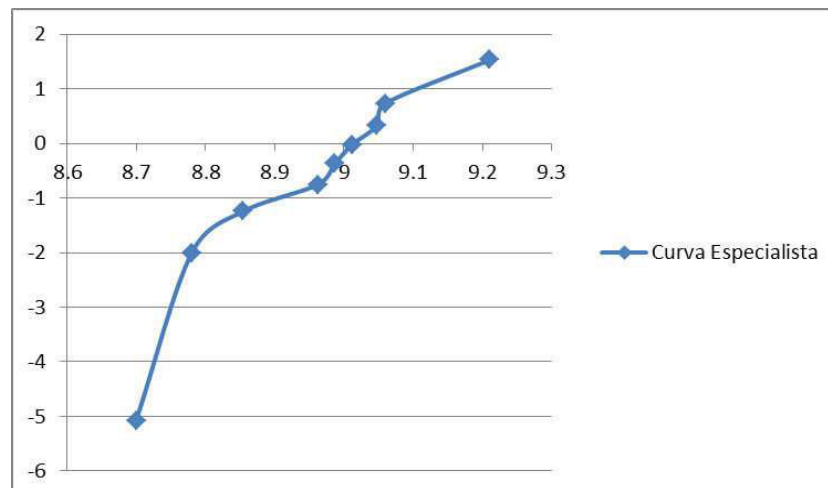


Figura A1.13 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular

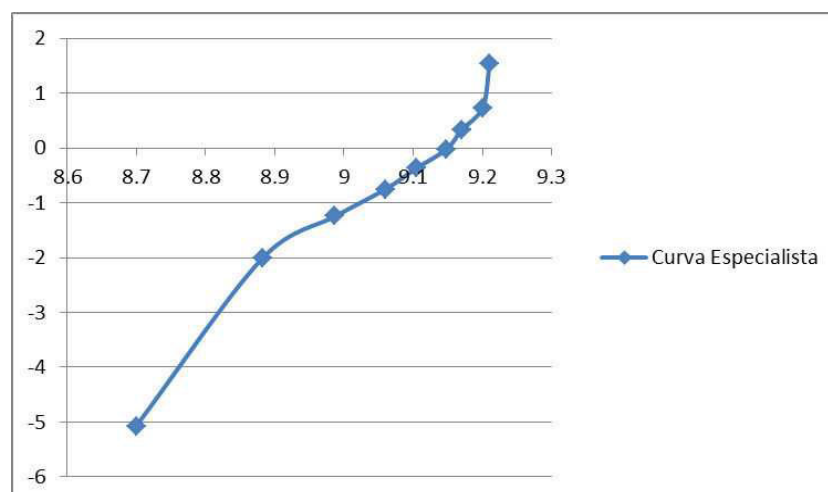


Figura A1.14 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular

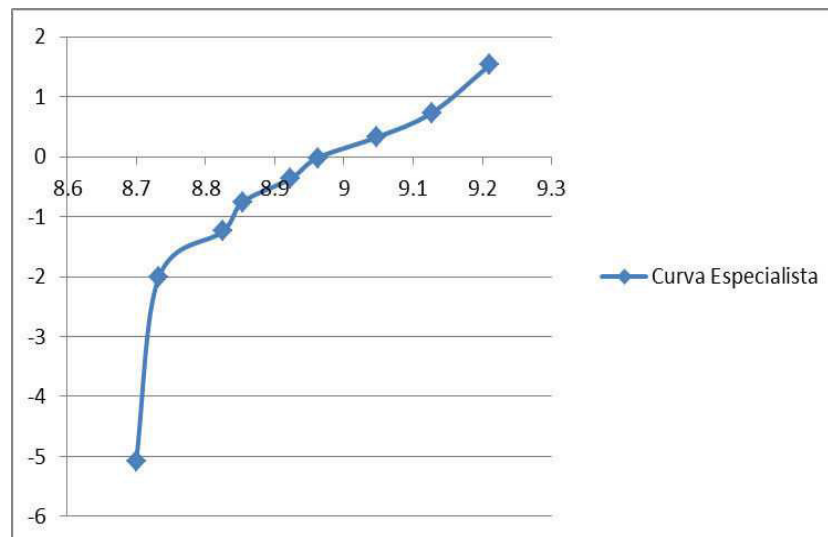


Figura A1.15 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Bueiro Celular

1.5. Concreto de Drenagem

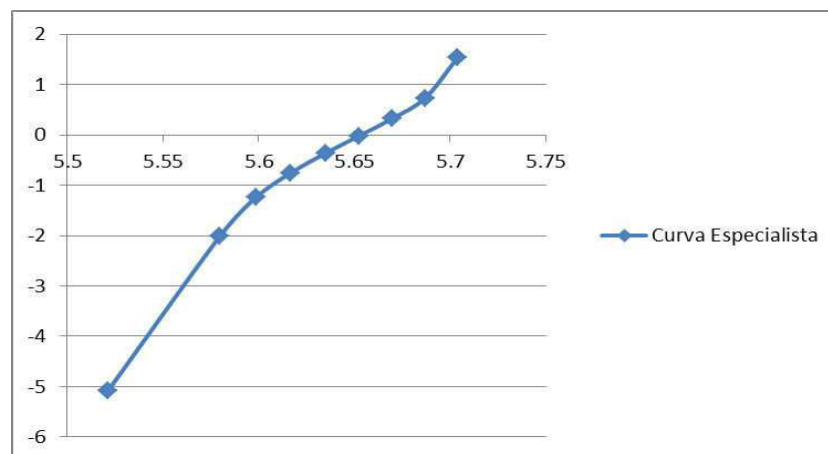


Figura A1.16 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem

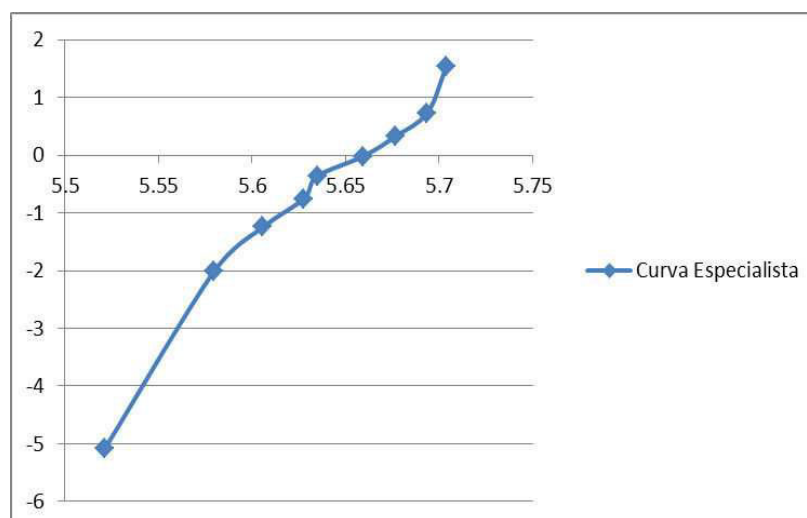


Figura A1.17 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem

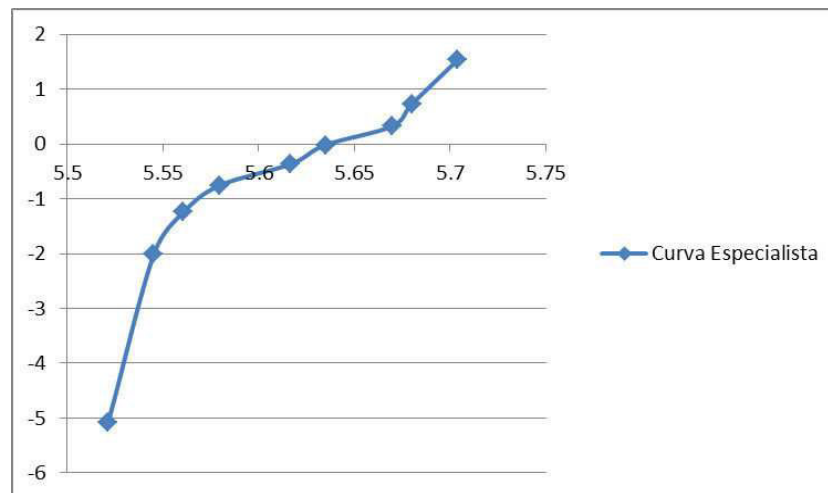


Figura A1.18 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Concreto de Drenagem

1.6. Forma para Concreto de Drenagem

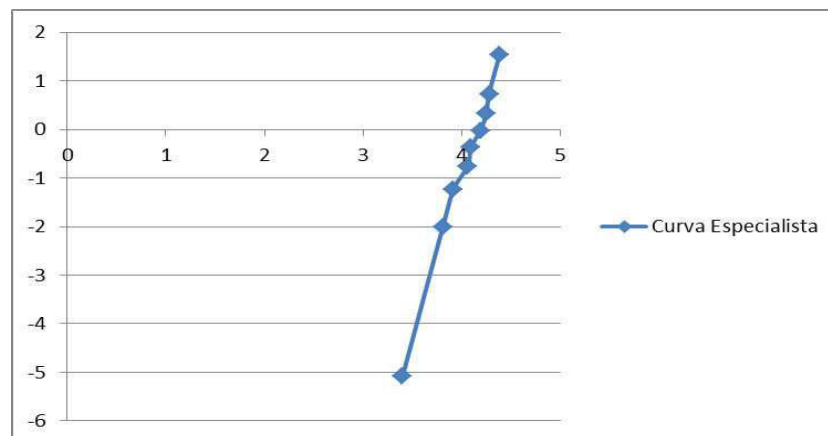


Figura A1.19 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem

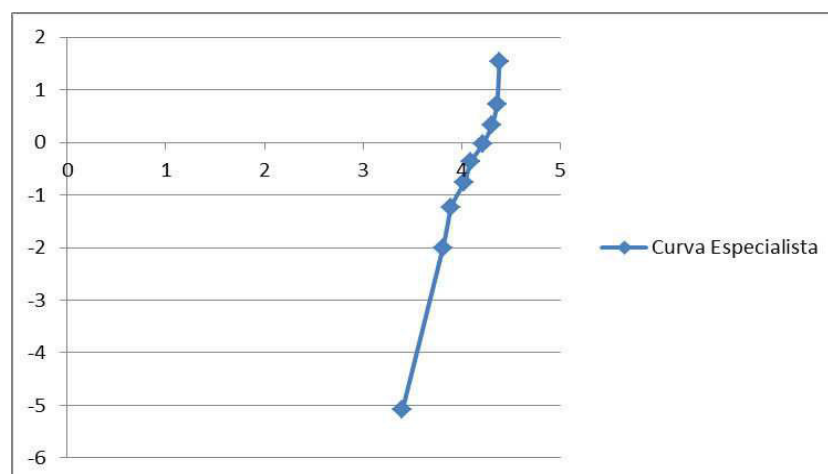


Figura A1.20 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem

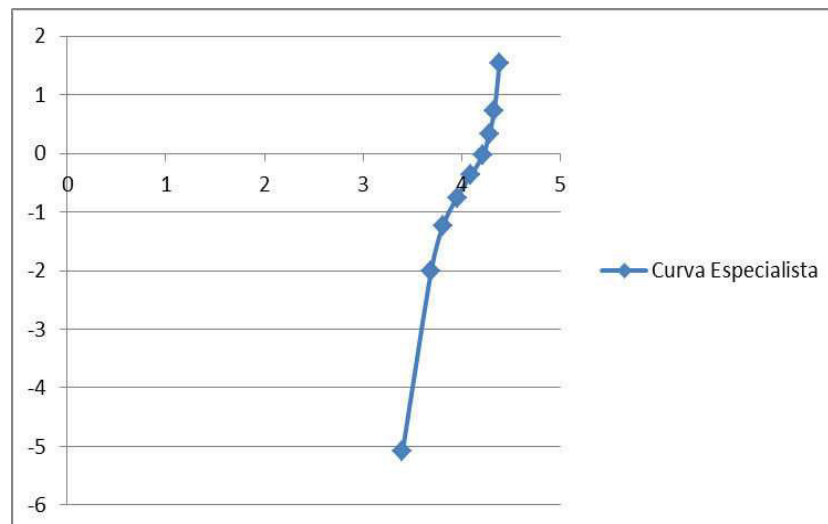


Figura A1.21 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de Drenagem

1.7. Concreto de Obras de Arte Especiais

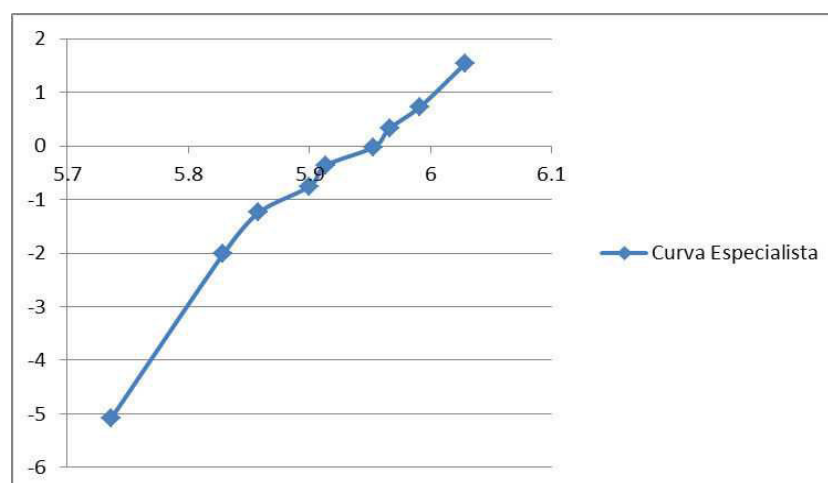


Figura A1.22 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE

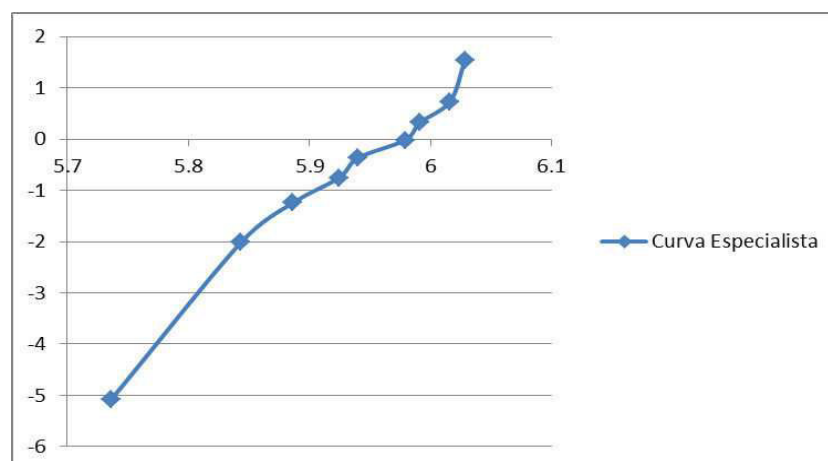


Figura A1.23 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE

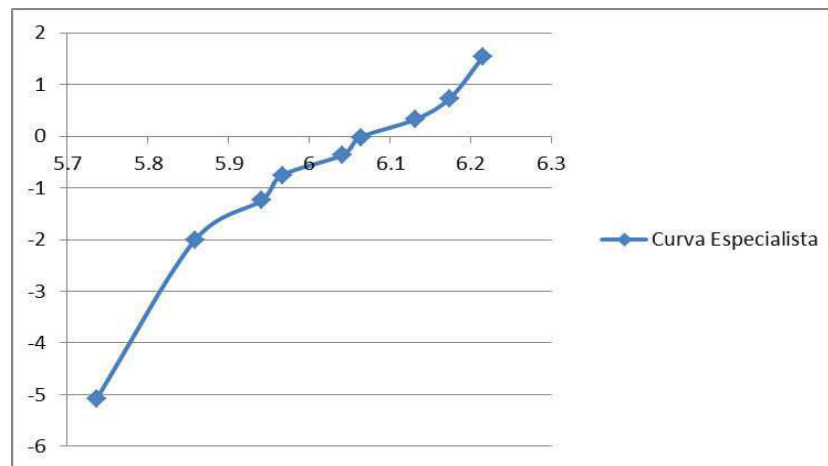


Figura A1.24 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Concreto de OAE

1.8. Formas e Escoramentos para Concreto de Obras de Arte Especiais

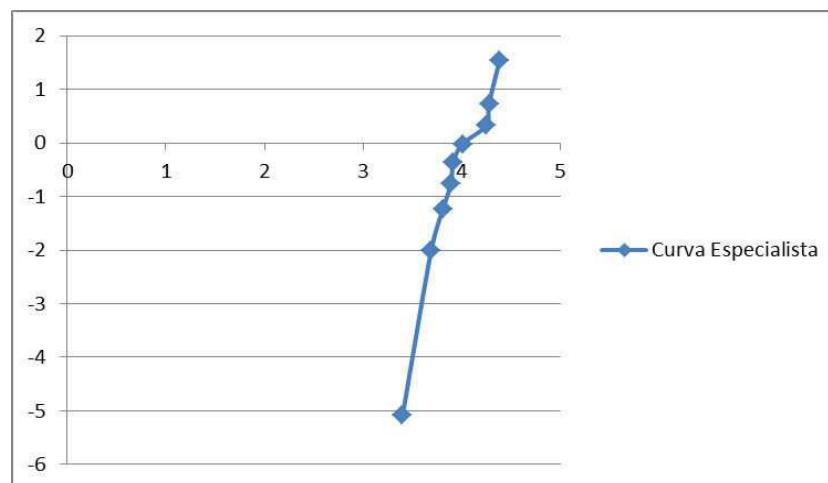


Figura A1.25 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE

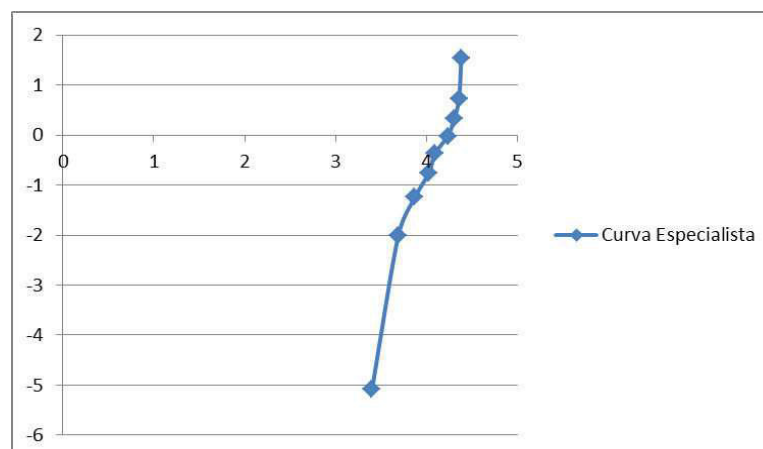


Figura A1.26 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE

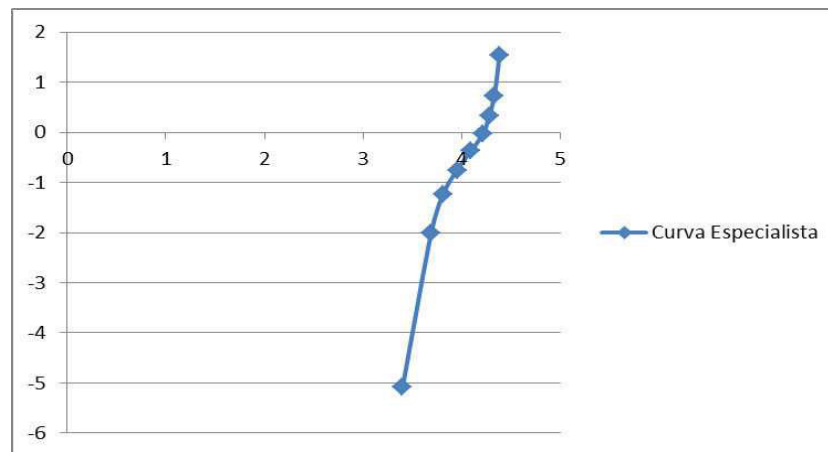


Figura A1.27 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Forma para Concreto de OAE

1.9. Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

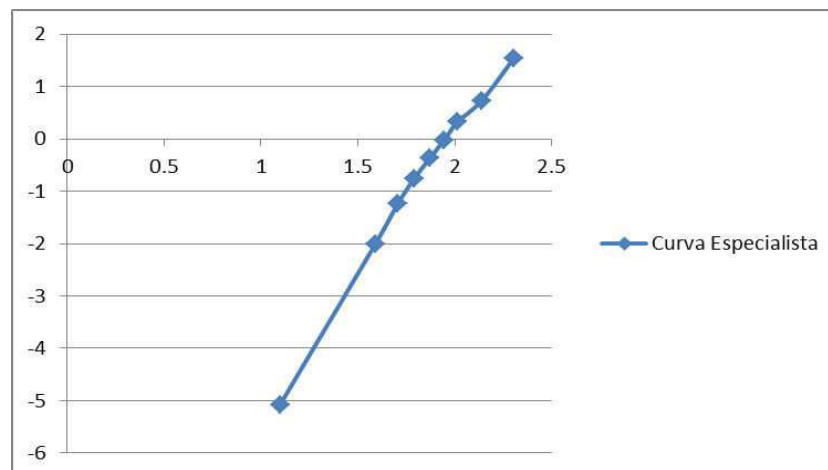


Figura A1.28 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

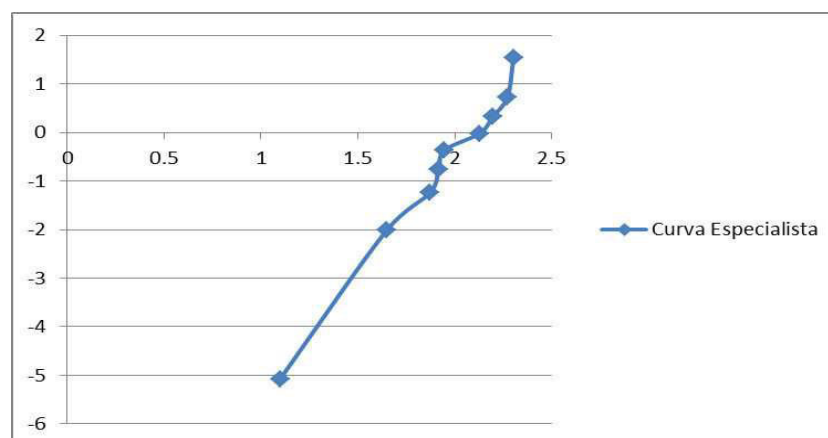


Figura A1.29 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

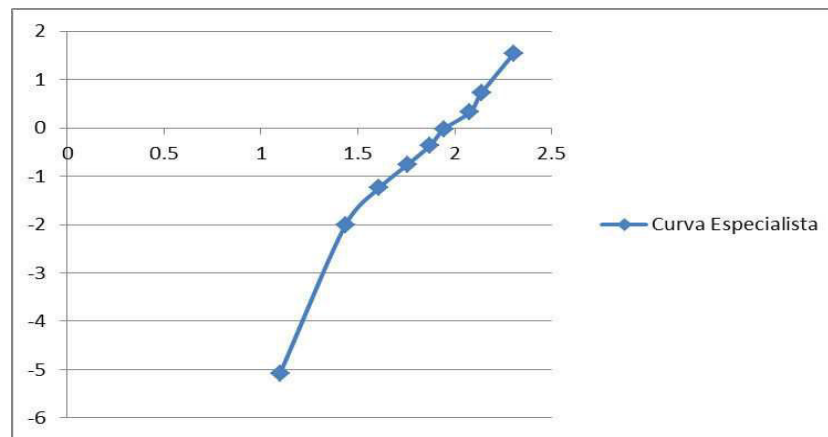


Figura A1.30 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 1ª e 2ª Categorias

1.10. Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

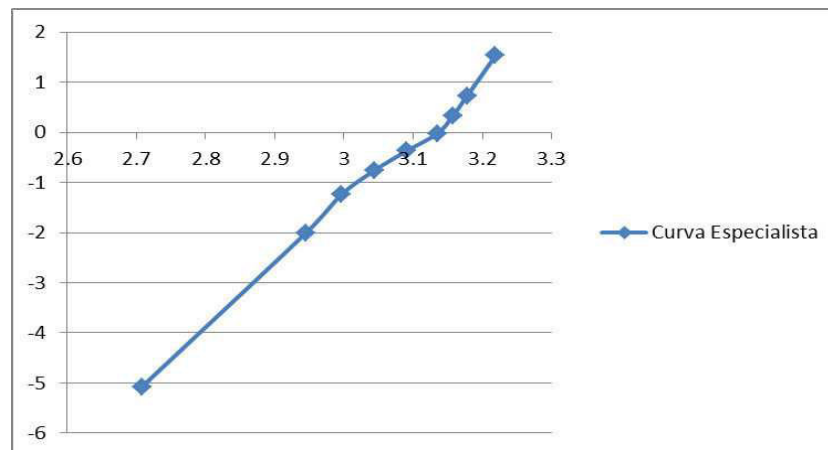


Figura A1.31 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

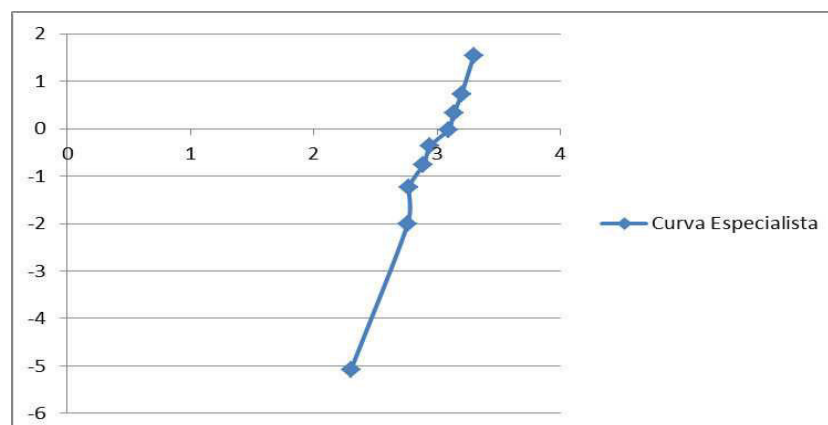


Figura A1.32 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

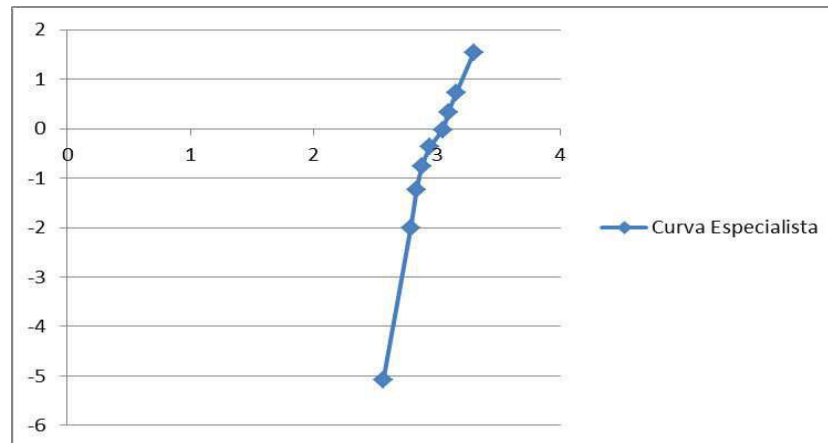


Figura A1.33 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Escavação, Carga e Transporte de Material de 3ª Categoria

1.11. Compactação de Aterros

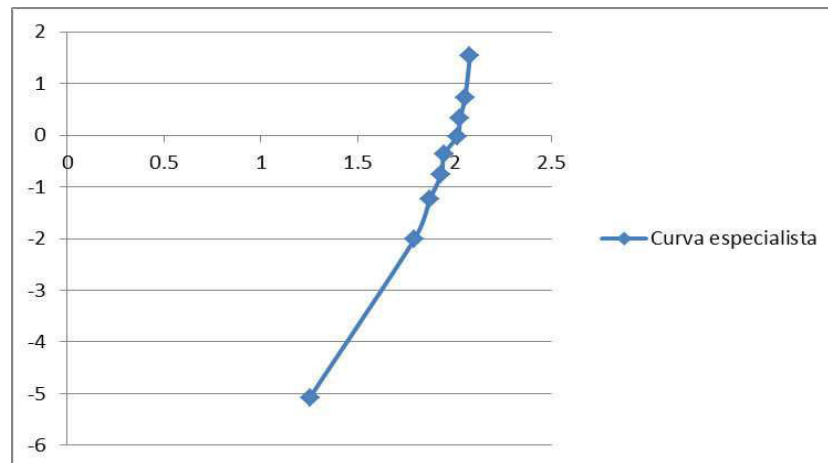


Figura A1.34 – Especialista 01 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterros

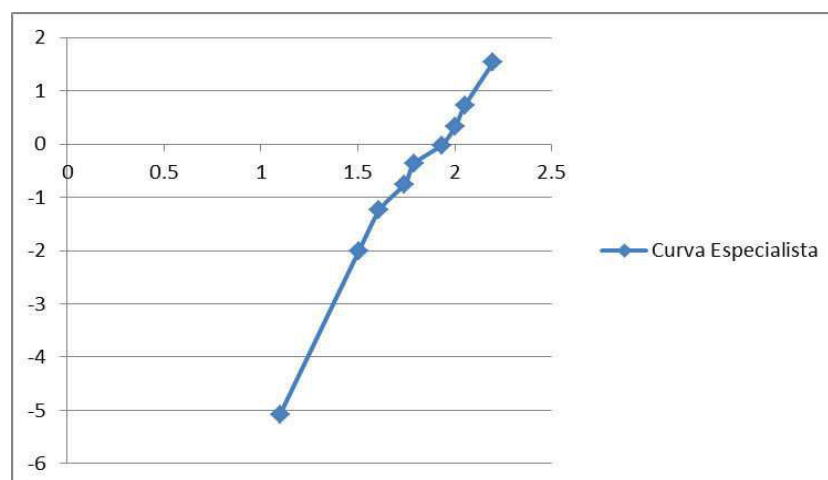


Figura A1.35 – Especialista 02 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterros

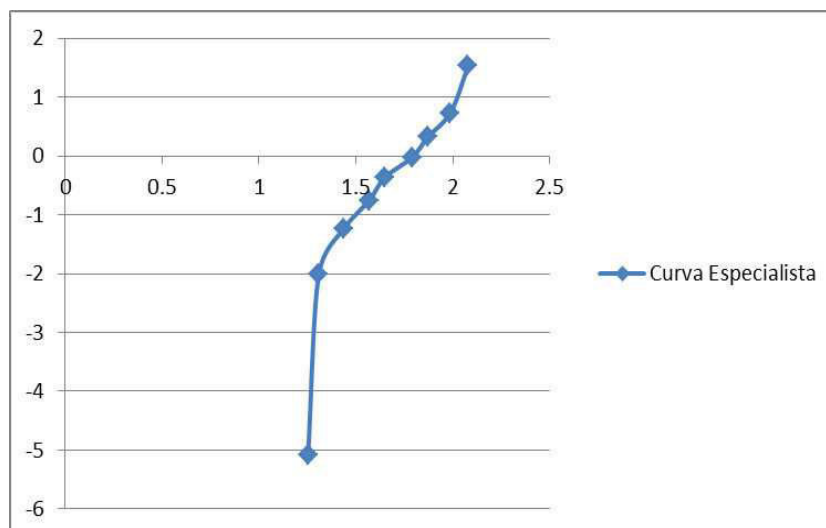


Figura A1.36 – Especialista 04 – Distribuição de Weibull – Compactação de Aterro