

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO RISCO ACEITÁVEL POR
ESCORREGAMENTOS DE ENCOSTAS EM REGIÕES
TROPICAIS MONTANHOSAS:**

CASO DE APLICAÇÃO, MEDELLÍN - COLÔMBIA

Eng. CIVIL PAOLA ANDREA ISAZA RESTREPO

**ORIENTADOR: HERNÁN EDUARDO MARTÍNEZ CARVAJAL,
DSc.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.DM 192/11

BRASÍLIA / DF: ABRIL, 2011.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DO RISCO ACEITÁVEL POR
ESCORREGAMENTOS DE ENCOSTAS EM REGIÕES
TROPICAIS MONTANHOSAS:
CASO DE APLICAÇÃO, MEDELLÍN - COLÔMBIA**

PAOLA ANDREA ISAZA RESTREPO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADA POR:

**HERNÁN EDUARDO MARTÍNEZ C., DSc., UnB
(ORIENTADOR)**

**NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc., UnB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**LÍDIA KEIKO TOMINAGA, DSc., Instituto Geológico de São Paulo
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 14 de Abril de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

PAOLA ANDREA ISAZA RESTREPO

Avaliação do risco aceitável por escorregamentos de encostas em regiões tropicais montanhosas:

Caso de Aplicação, Medellín - Colômbia.

xix, 226 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Geotecnia, 2011)

Dissertação de Mestrado - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil

1. Movimentos de Massa

2. Risco geotécnico

3. Estabilidade de encostas naturais

4. Medellín, Colombia

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ISAZA-RESTREPO, P. A. (2011). Avaliação do Risco Aceitável por Escorregamentos de Encostas em Regiões Tropicais Montanhosas: Caso de Aplicação, Medellín - Colômbia. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-192/11, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 226 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: ISAZA RESTREPO, PAOLA ANDREA

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Avaliação do Risco Aceitável por Escorregamentos de Encostas em Regiões Tropicais Montanhosas: Caso de Aplicação, Medellín - Colômbia.

GRAU / ANO: Mestre / 2011

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Paola Andrea Isaza Restrepo
Calle. 23A No. 50A-37
Bello - Colômbia

DEDICATORIA

*À memória da minha
mãe que me ensinou o
verdadeiro valor da vida e da
família. RIP*

AGRADECIMENTOS

A Deus por sua companhia nos momentos felizes e difíceis da minha vida.

A mi familia por su constante amor, compañía, paciencia y apoyo recibido, que me llenaron de fuerza para hacer realidad todos mis sueños. Los amo.

Ao corpo de professores da Geotecnia da UnB, em especial ao professor Hernán Eduardo Martínez Carvajal por sua orientação.

Aos colegas da Geotecnia pela amizade e colaboração brindadas.

Ao grupo de trabalho da Geotecnia da Universidade Nacional da Colômbia (sede Medellín), especialmente à Professora Verónica Botero Fernández que se tornou um dos pilares importantes da pesquisa.

Agradeço aos meus bons amigos e colegas Claudia Maricela Gómez Muñetón pela sua confiança e amizade incondicional e ao professor colombiano César Augusto Hidalgo Montoya que fortaleceu meu espírito acadêmico com a sua participação e apoio incondicional nesta pesquisa.

Aos compatriotas colombianos que me fizeram sentir com si estivesse em casa.

A CAPES e CNPq pelo apoio econômico.

Ao povo brasileiro pela acolhida generosa.

RESUMO

O trabalho consistiu na avaliação quantitativa da ameaça, vulnerabilidade e especialmente do risco total de 120 projetos relacionados a movimentos de massa utilizando diferentes metodologias para cada uma das avaliações. Para o cálculo da ameaça em termos de probabilidade de ruptura (PR), utilizou-se a metodologia da confiabilidade (β) com a aplicação de métodos, como Primeira Ordem e Segundo Momento (FOSM) e as estimativas pontuais (Rosenblueth). Os dados de entrada básicos para o desenvolvimento da metodologia foram a coesão (c), o ângulo de atrito (ϕ) e o peso específico do solo (γ), permitindo o uso de programas como o SLIDE e métodos de avaliação da estabilidade de taludes como o Morgenstern & Price.

Quanto à metodologia da vulnerabilidade foi estruturada da combinação entre a metodologia de Verónica Botero Fernández (2009) para as estruturas, baseada em indicadores, avaliadores e árvores de decisão das informações obtidas diretamente da cidade de Medellín. Por outro lado, foi utilizada a metodologia do Marco Uzielli et al. (2008) para avaliar a vulnerabilidade das pessoas, na qual os elementos-chave são a intensidade do deslizamento e a fragilidade das estruturas.

Com relação ao risco total foi calculado utilizando uma abordagem quantitativa, multiplicando a probabilidade de ruptura com as perdas prováveis em termos de custos e vidas em cada um dos projetos.

A metodologia foi aplicada na cidade de Medellín (Colômbia) para 120 projetos selecionados, localizados nas encostas que apresentam maior índice de ameaça. As informações básicas utilizadas foram obtidas a partir de estudos de mecânica de solos, geológicos e geotécnicos armazenados em universidades, entidades governamentais e empresas de consultoria.

Os resultados foram formulados como curvas ou gráficos de risco total aceito na cidade de Medellín, tendo como base de comparação as curvas F-N (F a frequência de acidentes, N representa o número de vítimas mortais). Finalmente, foi formulada uma proposta de risco aceitável para a cidade considerando as suas particularidades físicas e sociais.

ABSTRACT

This work consisted on the quantitative hazard, vulnerability and risk landslide assessment for the city of Medellin in Colombia, by using different methodologies.

The basic used information were obtained from geotechnical and geological studies stored in the databases of the local universities, government entities and consulting firms, doing a total of 120 sites. For the hazard calculations, by terms of the Rupture Probability, the Reliability Method was used by applying the First Order Second Moment and the Puntual Estimatives by Rosenblueth methods. The basic input data for the developed methodology were the cohesion, the friction angle and the unit weight of the involved soils, which allowed to use the SLIDE program and the stability validation method proposed by Morgenstern and Price.

In respect to the vulnerability methodology, this was structured with a combination of the Botero-Fernandez (2009) method, for structures, and the hierarchical decision trees validators. Furthermore, the Uzielli et al. (2008) method was used to validate the human vulnerability, in where the key-elements were: the landslide intensities and the structures fragility.

Finally, the total risk was calculated by using a quantitative approach, which implies the multiplication of the rupture probability with the cost of human loss, for each site. The results were presented with graphics of total risks, based on F-N curves (F the frequency of accidents, N represents the number of fatalities), and the rupture probability graphic, which finally shown the different zones for the studied city.

RESUMEN

El trabajo consistió en la evaluación cuantitativa de la amenaza, la vulnerabilidad y especialmente del riesgo total de 120 proyectos relacionados a los movimientos de masa utilizando diferentes metodologías para cada una de las evaluaciones. Para el cálculo de la amenaza en términos de la probabilidad de ruptura (PR) se utilizó la metodología de la confiabilidad (β) con la implementación de métodos como Primer Orden y Segundo Momento (FOSM) e Estimativas Puntuales (Rosenblueth). Los datos de entrada básicos para el desarrollo de la metodología fueron la cohesión (c), el ángulo de fricción (ϕ) y el peso específico del suelo (γ), permitiendo así hacer uso de programas como el SLIDE y métodos de evaluación de estabilidad de taludes como el de Morgenstern & Price.

En cuanto a la vulnerabilidad la metodología usada fue estructurada de la combinación entre la metodología de Verónica Botero Fernández (2009) para las estructuras, basada en indicadores, evaluadores y arboles de decisión de la información obtenida directamente de la ciudad de Medellín. Por otro lado tenemos la metodología del señor Marco Uzielli et al. (2008) para la evaluación de la vulnerabilidad de las personas en la cual los elementos fundamentales son la intensidad del deslizamiento de tierra y la fragilidad de las estructuras.

En lo referente al riesgo total se calculo haciendo uso de un abordaje cuantitativo en el cual se multiplicó la probabilidad de ruptura con la perdidas probables en términos de costos y vidas de cada uno de los proyectos.

La metodología fue aplicada en la ciudad de Medellín (Colombia) para 120 proyectos seleccionados, localizados en las laderas que presentan mayor índice de amenaza. La información básica utilizada fue obtenida de los estudios de mecánica de suelos, geológicos y geotécnicos almacenados en universidades, entidades gubernamentales o empresas de consultoria.

Los resultados fueron elaborados como curvas o gráficos de riesgo total aceptado en la ciudad de Medellín, tomando como base de comparación las curvas F-N (F es la frecuencia de los accidentes, N representa el número de víctimas mortales). Finalmente, fue formulada una propuesta de riesgo aceptable para la ciudad considerando sus particularidades físicas y sociales.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xv
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E NOMENCLATURA.....	xx
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	3
1.2 METODOLOGIA DO TRABALHO.....	4
1.2.1 Coleta da Informação.....	4
1.2.2 Análise da ameaça.....	5
1.2.3 Análise da Vulnerabilidade.....	6
1.2.4 Análise do Risco.....	6
1.2.5 Conclusões.....	6
1.3 ESCOPO DO TRABALHO.....	7
CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEORICO.....	8
2.1 AMEAÇA.....	8
2.1.1 Análise da Confiabilidade.....	9
2.1.2 Métodos de Análise da Confiabilidade.....	11
2.1.2.1 Método da Primeira Ordem Segundo Momento (FOSM).....	12
2.1.2.2 Método das Estimativas Pontuais (Rosenblueth).....	14
2.2 VULNERABILIDADE.....	14
2.2.1 Tipos de Vulnerabilidades.....	16
2.2.2 Metodologias utilizadas para o calculo do índice de vulnerabilidade.....	20
2.2.2.1 Metodologia Baseada em Indicadores e Avaliadores (Botero-Fernández, 2009).....	20
2.2.2.2 Metodologia de Marco Uzielli, et al. (2008).....	26
2.3 RISCO.....	32
2.3.1 Elaboração de gráficos de avaliação do risco.....	34
2.4 COMPARAÇÕES ENTRE O RISCO TOLERADO E OS CÓDIGOS INTERNACIONAIS.....	36
CAPÍTULO 3.....	39
ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DO RISCO TOTAL EXEMPLO BALCONES DE MIRAFLORES.....	39
3.1 GENERALIDADES SOBRE A CIDADE DE MEDELLÍN.....	39
3.1.1 Geologia.....	40
3.1.2 Geomorfologia.....	44
3.2 CARACTERISTICAS GERAIS DO PROJETO EXEMPLO: CONDOMINIO BALCONES DE MIRAFLORES.....	46

3.2.1 Geologia Local do Projeto Balcones de Miraflores	50
CAPÍTULO 4	52
APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROJETO DE BALCONES DE MIRAFLORES.....	52
4.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA AMEAÇA	52
4.1.1 Análise dos Resultados	53
4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE.....	57
4.2.1 Análise dos Resultados	59
4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO RISCO.....	60
4.3.1 Análise dos Resultados	61
CAPÍTULO 5	67
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
5.1 CONCLUSÕES SOBRE A METODOLOGIA	67
5.2 CONCLUSÕES PARA A CIDADE DE MEDELLÍN	69
5.3 RECOMENDAÇÕES	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO A MAPAS	79
ANEXO A.1. GEOLOGIA (CARTA A-1) (García, 2004)	80
ANEXO A.2. GEOMORFOLOGIA (CARTA A-2) (García, 2004)	81
ANEXO A.3. MAPA DE AMEAÇA (AMVA, 2008).....	82
ANEXO B DADOS GERAIS DOS TALUDES E PERFIS	83
ANEXO B.1. BALCONES DE MIRAFLORES.....	85
ANEXO B.2. BOSQUES DE SAN DIEGO T1.	86
ANEXO B.3. BOSQUES DE SAN DIEGO ETAPA 2.....	87
ANEXO B.4. TORREONES DE CATALUÑA.....	88
ANEXO B.5. HUNGRIA T1.....	89
ANEXO B.6. HUNGRIA T2.....	90
ANEXO B.7. HUNGRIA T3.....	91
ANEXO B.8. PLAZA PILARICA.....	92
ANEXO B.9. RESERVA DE SAN DIEGO TORRE 1.....	93
ANEXO B.10. RESERVA DE SAN DIEGO TORRE 2.....	94
ANEXO B.11. RESERVA DE SAN DIEGO PARQUEADERO.....	95
ANEXO B.12. SAN DIEGO CAMPESTRE T1.....	96
ANEXO B.13. SAN DIEGO CAMPESTRE T2.....	97
ANEXO B.14. VILLA FRANCISCA.....	98
ANEXO B.15. CANTARES T2.....	99
ANEXO B.16. CANTARES.....	100
ANEXO B.17. CANTARES T4.....	101
ANEXO B.18. CANTARES T5.....	102
ANEXO B.19. CANTARES T6.....	103
ANEXO B.20. MIRADOR DEL VALLE T4.....	104
ANEXO B.21. MIRADOR DEL VALLE T7.....	105
ANEXO B.22. MIRADOR DEL VALLE T10.....	106
ANEXO B.23. MIRADOR DEL VALLE T13.....	107
ANEXO B.24. MIRADOR DEL VALLE T15.....	108
ANEXO B.25. MIRADOR DEL VALLE T20.....	109
ANEXO B.26. MIRADOR DEL VALLE T25.....	110
ANEXO B.27. NAZARETH B1.....	111

ANEXO B.28. NAZARETH B2.....	112
ANEXO B.29. NAZARETH B3.....	113
ANEXO B.30. NAZARETH B4.....	114
ANEXO B.31. LA MONTAÑA PERFIL 1.....	115
ANEXO B.32. LA MONTAÑA PERFIL 2.....	116
ANEXO B.33. LA MONTAÑA PERFIL 4.....	117
ANEXO B.34. URBANIZACIÓN CURAZAO Z1.....	118
ANEXO B.35. URBANIZACIÓN CURAZAO Z2.....	118
ANEXO B.36. URBANIZACIÓN CURAZAO Z3.....	120
ANEXO B.37. VILLA CAMPIÑA Z1.....	121
ANEXO B.38. VILLA CAMPIÑA Z2.....	122
ANEXO B.39. VILLA CAMPIÑA Z3.....	123
ANEXO B.40. VILLA CAMPIÑA Z4.....	124
ANEXO B.41. ROBLEDO REAL.....	125
ANEXO B.42. MONTERROBLES Z1.....	126
ANEXO B.43. MONTERROBLES Z2.....	127
ANEXO B.44. MONTERROBLES Z3.....	128
ANEXO B.45. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z1.....	129
ANEXO B.46. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z2.....	130
ANEXO B.47. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z3.....	131
ANEXO B.48. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z4.....	132
ANEXO B.49. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z5.....	133
ANEXO B.50. PUERTA DEL SOL Z1.....	134
ANEXO B.51. PUERTA DEL SOL Z2.....	135
ANEXO B.52. PUERTA DEL SOL Z3.....	136
ANEXO B.53. PUERTA DEL SOL Z4.....	137
ANEXO B.54. LA AURORA Z1.....	138
ANEXO B.55. LA AURORA Z2.....	139
ANEXO B.56. LA AURORA Z3.....	140
ANEXO B.57. LA AURORA Z4.....	141
ANEXO B.58. LAS FLORES Z1.....	142
ANEXO B.59. LAS FLORES Z2.....	143
ANEXO B.60. LAS FLORES Z3.....	144
ANEXO B.61. LAS FLORES Z4.....	145
ANEXO B.62. SANTA CATALINA Z1.....	146
ANEXO B.63. SANTA CATALINA Z2.....	147
ANEXO B.64. SANTA CATALINA Z3.....	148
ANEXO B.65. ENTREPALMAS DE SAN DIEGO 1.....	149
ANEXO B.66. ENTREPALMAS DE SAN DIEGO 2.....	150
ANEXO B.67. COLINAS DEL VIENTO Z1.....	151
ANEXO B.68. COLINAS DEL VIENTO Z2.....	152
ANEXO B.69. COLINAS DEL VIENTO Z3.....	153
ANEXO B.70. POBLADO DE VERACRUZ Z1.....	154
ANEXO B.71. POBLADO DE VERACRUZ Z2.....	155
ANEXO B.72. POBLADO DE VERACRUZ Z3.....	156
ANEXO B.73. POBLADO DE VERACRUZ Z4.....	157
ANEXO B.74. SANTA MARIA DEL BUEN AIRE.....	158
ANEXO B.75. EL LIMONAR 1.....	159
ANEXO B.76. EL LIMONAR 2.....	160
ANEXO B.77. EL LIMONAR 3.....	161

ANEXO B.78. EL LIMONAR 4.	162
ANEXO B.79. EL LIMONAR 5.	163
ANEXO B.80. PRADO VERDE.	164
ANEXO B.81. VEGAS DE ALCALA 1.	165
ANEXO B.82. VEGAS DE ALCALA 2.	166
ANEXO B.83. ARROYO DE LOS BERNAL.	167
ANEXO B.84. CALASANZ AZUL 1.	168
ANEXO B.85. CALASANZ AZUL 2.	169
ANEXO B.86. CALASANZ AZUL 3.	170
ANEXO B.87. COLINAS DEL RODEO 1.	171
ANEXO B.88. COLINAS DEL RODEO 2.	172
ANEXO B.89. FRONTERA DE LOS BERNAL.	173
ANEXO B.90. NEW YORK 1.	174
ANEXO B.91. NEW YORK 2.	175
ANEXO B.92. BALCONES DE BELEN.	176
ANEXO B.93. PORTAL DE LA COLINA.	177
ANEXO B.94. LOS ROBLES 1.	178
ANEXO B.95. LOS ROBLES 2.	179
ANEXO B.96. BALUARTE DE SAN DIEGO ZONA 2.	180
ANEXO B.97. BALCONES DE PANORAMA ZONA 1.	181
ANEXO B.98. BALCONES DE PANORAMA ZONA 2.	182
ANEXO B.99. BALCONES DE PANORAMA ZONA 3.	183
ANEXO B.100. GUAYACANES DE SAN DIEGO ZONA 1.	184
ANEXO B.101. GUAYACANES DE SAN DIEGO ZONA 2.	185
ANEXO B.102. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 1.	186
ANEXO B.103. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 2.	187
ANEXO B.104. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 3.	188
ANEXO B.105. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 4.	189
ANEXO B.106. VILLA SURAMERICANA 1.	190
ANEXO B.107. VILLA SURAMERICANA 2.	191
ANEXO B.108. VILLA SURAMERICANA 3.	192
ANEXO B.109. COLORES DE CALASANIA 1.	193
ANEXO B.110. COLORES DE CALASANIA 2.	194
ANEXO B.111. COLORES DE CALASANIA 3.	195
ANEXO B.112. ATALAYA DE LA MOTA.	196
ANEXO B.113. EL CHAGUALÓN T3.	197
ANEXO B.114. EL CHAGUALÓN T4.	198
ANEXO B.115. BOSQUES ETERNA PRIMAVERA T2.	199
ANEXO B.116. BOSQUES ETERNA PRIMAVERA T 6 Y 7.	200
ANEXO B.117. BOSQUES DE SAN BARTOLOMÉ.	201
ANEXO B.118. TORRE GUALANDAY.	202
ANEXO B.119. ARBOLEDA DEL SEMINARIO T 3 Y 11.	203
ANEXO B.120. ARBOLEDA DEL SEMINARIO T5.	204

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Perdas sofridas em termos de vidas humanas e de imóveis afetados, por ameaças naturais no Valle de Aburrá 1880 – 2007 (Adaptada de Aristizábal & Gómez, 2007).	2
Figura 2.1. Sobreposição de curvas de distribuição de capacidade e demanda (Modificado Whitman, 1984).	10
Figura 2.2. Curva de distribuição do fator de segurança (Modificado Whitman, 1984).	11
Figura 2.3. Modelo conceptual de investigação (Modificado Botero-Fernández, 2009).	21
Figura 2.4. Árvore de decisão para estruturas tipo 0 e 1 (Modificado Botero-Fernández, 2009).	25
Figura 2.5. Árvore de decisão para estruturas tipo 2 e 3 (Modificado Botero-Fernández, 2009).	25
Figura 2.6. Nível de destruição dos movimentos de massa na cidade de Medellín, (a) e (c) UNAL, (1987) e (b) El Espectador, (2008).	32
Figura 2.7. Carta <i>F-N</i> mostrando o risco médio anual para uma variedade de obras civis tradicionais e outros projetos de grande porte (Baecher & Christian, 2003).	35
Figura 2.8. Resumo da metodologia para o calculo do risco total.	36
Figura 2.9. Diretrizes do risco social aceitável para Hong Kong, Departamento de Planejamento (Modificado Beacher et al, 2003).	37
Figura 2.10. Governo da Holanda, critério do grupo de risco (Modificado Versteeg, 1987).	38
Figura 3.1 Localização da área de estudo (Pueblos 2.0, 2011).	39
Figura 3.2 Vista parcial da cidade de Medellín (Flickr, 2011).	40
Figura 3.3. Localização dos projetos no mapa de ameaça da cidade de Medellín.	48
Figura 3.4. Modelo de interação SIG-RNA (Modificado AMVA, 2008).	49
Figura 3.5. Geometria do talude analisado do projeto “Balcones de Miraflores”.	49
Figura 4.1. Perfil geotécnico para análise da ameaça em termos da probabilidade de ruptura do projeto “Balcones de Miraflores”.	52
Figura 4.2. Risco social aceitável segundo o Departamento de Planejamento de Hong Kong (Modificado Baecher & Christian, 2003).	55
Figura 4.3. Resultado total da probabilidade de ruptura (<i>PR</i>).	57

Figura 4.4. Histograma da probabilidade de ruptura (<i>PR</i>).	57
Figura 4.5. Área construída o de projeto (a), área de pânico (b).	59
Figura 4.6. Risco total aceito na cidade de Medellín em termos de perdas em custos (US\$).	64
Figura 4.7. Risco total aceito na cidade de Medellín em termos de perdas de vidas (hab).	65
Figura 4.8. Histograma do nível risco total aceito na cidade de Medellín para custos e pessoas.	65
Figura 5.1. Proposta para avaliação do risco tolerável para a cidade de Medellín.	71
ANEXO A.1. Geologia (Carta A-1) (García, 2004).	80
ANEXO A.2. Geomorfologia (Carta A-2) (García, 2004).	81
ANEXO A.3. Mapa de ameaça.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Magnitude das perdas causadas por deslizamentos na cidade de Medellín.	3
Tabela 2.1. Custo comercial das estruturas segundo a localização (D_s em $\$/m^2$ peso colombiano) (Modificado AMVA, 2006).	18
Tabela 2.2. Indicadores a serem considerados para o desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade (Modificado Botero-Fernández, 2009).	22
Tabela 2.3. Valores do fator ζ_{AGE} segundo a idade da população.	29
Tabela 2.4. Eventos trágicos na historia de Medellín, produzidos por deslizamentos de massa (Modificado Aristizábal, 2006).	31
Tabela 3.1 Perfil de meteorização segundo Anon (1981) citado por Garcia (2004).	41
Tabela 3.2. Dados gerais do projeto “Balcones de Miraflores”.	50
Tabela 4.1. Aplicação do método de Rosenblueth.	53
Tabela 4.2. Cálculo do valor médio de ζ_{AGE} .	59
Tabela 4.3. Avaliação do risco total dos 120 projetos selecionados na cidade de Medellín.	61
Tabela 5.1. Eventos trágicos na historia da Medellín, produzidos por deslizamentos de massa (Modificado Aristizábal, 2006).	67
Tabela 5.2. Resumo das recomendações para estudos de solos e ocupação de diferentes áreas, em Medellín, em conformidade com a qualificação da ameaça por movimentos de massa (Modificado AMVA, 2008).	74
ANEXO B.1. Balcones de Miraflores.	85
ANEXO B.2. Bosques de San Diego T1.	86
ANEXO B.3. Bosques de San Diego Etapa 2.	87
ANEXO B.4. Torreones de Cataluña.	88
ANEXO B.5. Hungria T1.	89
ANEXO B.6. Hungria T2.	90
ANEXO B.7. Hungria T3.	91
ANEXO B.8. Plaza Pilarica.	92
ANEXO B.9. Reserva de San Diego Torre 1.	93
ANEXO B.10. Reserva de San Diego Torre 2.	94
ANEXO B.11. Reserva de San Diego Parqueadero.	95
ANEXO B.12. San Diego Campestre T1.	96
ANEXO B.13. San Diego Campestre T2.	97

ANEXO B.14. Villa Francisca.	98
ANEXO B.15. Cantares T2.	99
ANEXO B.16. Cantares T3.	100
ANEXO B.17. Cantares T4.	101
ANEXO B.18. Cantares T5.	102
ANEXO B.19. Cantares T6.	103
ANEXO B.20. Mirador del Valle T4.	104
ANEXO B.21. Mirador del Valle T7.	105
ANEXO B.22. Mirador del Valle T10.	106
ANEXO B.23. Mirador del Valle T13.	107
ANEXO B.24. Mirador del Valle T15.	108
ANEXO B.25. Mirador del Valle T20.	109
ANEXO B.26. Mirador del Valle T25.	110
ANEXO B.27. Nazareth B1.	111
ANEXO B.28. Nazareth B2.	112
ANEXO B.29. Nazareth B3.	113
ANEXO B.30. Nazareth B4.	114
ANEXO B.31. La Montaña Perfil 1.	115
ANEXO B.32. La Montaña Perfil 2.	116
ANEXO B.33. La Montaña Perfil 4.	117
ANEXO B.34. Urbanización Curazao Z1.	118
ANEXO B.35. Urbanización Curazao Z2.	119
ANEXO B.36. Urbanización Curazao Z3.	120
ANEXO B.37. Villa Campiña Z1.	121
ANEXO B.38. Villa Campiña Z2.	122
ANEXO B.39. Villa Campiña Z3.	123
ANEXO B.40. Villa Campiña Z4.	124
ANEXO B.41. Robledo Real.	125
ANEXO B.42. Monterrobles Z1.	126
ANEXO B.43. Monterrobles Z2.	127
ANEXO B.44. Monterrobles Z3.	128
ANEXO B.45. Urbanización La Huerta Z1.	129
ANEXO B.46. Urbanización La Huerta Z2.	130

ANEXO B.47. Urbanización La Huerta Z3.	131
ANEXO B.48. Urbanización La Huerta Z4.	132
ANEXO B.49. Urbanización La Huerta Z5.	133
ANEXO B.50. Puerta del Sol Z1.	134
ANEXO B.51. Puerta del Sol Z2.	135
ANEXO B.52. Puerta del Sol Z3.	136
ANEXO B.53. Puerta del Sol Z4.	137
ANEXO B.54. La Aurora Z1.	138
ANEXO B.55. La Aurora Z2.	139
ANEXO B.56. La Aurora Z3.	140
ANEXO B.57. La Aurora Z4.	141
ANEXO B.58. Las Flores Z1.	142
ANEXO B.59. Las Flores Z2.	143
ANEXO B.60. Las Flores Z3.	144
ANEXO B.61. Las Flores Z4.	145
ANEXO B.62. Santa Catalina Z1.	146
ANEXO B.63. Santa Catalina Z2.	147
ANEXO B.64. Santa Catalina Z3.	148
ANEXO B.65. Entrepalmas de San Diego 1.	149
ANEXO B.66. Entrepalmas de San Diego 2.	150
ANEXO B.67. Colinas del Viento Z1.	151
ANEXO B.68. Colinas del Viento Z2.	152
ANEXO B.69. Colinas del Viento Z3.	153
ANEXO B.70. Poblado de Veracruz Z1.	154
ANEXO B.71. Poblado de Veracruz Z2.	155
ANEXO B.72. Poblado de Veracruz Z3.	156
ANEXO B.73. Poblado de Veracruz Z4.	157
ANEXO B.74. Santa Maria Del Buen Aire.	158
ANEXO B.75. El Limonar 1.	159
ANEXO B.76. El limonar 2.	160
ANEXO B.77. El Limonar 3.	161
ANEXO B.78. El Limonar 4.	162
ANEXO B.79. El Limonar 5.	163

ANEXO B.80. Prado Verde.	164
ANEXO B.81. Vegas de Alcala 1.	165
ANEXO B.82. Vegas de Alcala 2.	166
ANEXO B.83. Arroyo De Los Bernal.	167
ANEXO B.84. Calasanz Azul 1.	168
ANEXO B.85. Calasanz Azul 2.	169
ANEXO B.86. Calasanz Azul 3.	170
ANEXO B.87. Colinas Del Rodeo 1.	171
ANEXO B.88. Colinas Del Rodeo 2.	172
ANEXO B.89. Frontera de los Bernal.	173
ANEXO B.90. New York 1.	174
ANEXO B.91. New York 2.	175
ANEXO B.92. Balcones de Belen.	176
ANEXO B.93. Portal de La Colina.	177
ANEXO B.94. Los Robles 1.	178
ANEXO B.95. Los Robles 2.	179
ANEXO B.96. Baluarte de San Diego Zona 2.	180
ANEXO B.97. Balcones de Panorama Zona 1.	181
ANEXO B.98. Balcones de Panorama Zona 2.	182
ANEXO B.99. Balcones de Panorama Zona 3.	183
ANEXO B.100. Guayacanes de San Diego Zona 1.	184
ANEXO B.101. Guayacanes de San Diego Zona 2.	185
ANEXO B.102. Mirador de Calasanz Zona 1.	186
ANEXO B.103. Mirador de Calasanz Zona 2.	187
ANEXO B.104. Mirador de Calasanz Zona 3.	188
ANEXO B.105. Mirador de Calasanz Zona 4.	189
ANEXO B.106. Villa Suramericana 1.	190
ANEXO B.107. Villa Suramericana 2.	191
ANEXO B.108. Villa Suramericana 3.	192
ANEXO B.109. Colores de Calasania 1.	193
ANEXO B.110. Colores de Calasania 2.	194
ANEXO B.111. Colores de Calasania 3.	195
ANEXO B.112. Atalaya De La Mota.	196

ANEXO B.113. El Chagualón T3.	197
ANEXO B.114. El Chagualón T4.	198
ANEXO B.115. Bosques Eterna Primavera T2.	199
ANEXO B.116. Bosques Eterna Primavera T 6 Y 7.	200
ANEXO B.117. Bosques de san bartolomé.	201
ANEXO B.118. Torre Gualanday.	202
ANEXO B.119. Arboleda del Seminario T 3 Y 11.	203
ANEXO B.120. Arboleda del Seminario T5.	204

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E NOMENCLATURA

A_E : Área da estrutura ou construída (m^2)

A_i : Área afetada pelo deslizamento de terra pertencente à categoria

A_i : Ameaça do evento de intensidade i

$A_{Pânico}$: Área de geração de caos urbano em torno da estrutura (km^2)

$A_{projeto}$: Área do projeto

A_t : Área total pertencente à categoria

β : Confiabilidade

BSF: Valor da fragilidade ou susceptibilidade das estruturas

c : Coesão

C : Vetor de atributos

ξ_{PDN} : Fator adimensional da densidade da população

ξ_{PIB} : Fator adimensional do ingresso populacional

ξ_{AGE} : Fator adimensional da média da idade

$D_{\$}$: Custo comercial da estrutura ($\$/m^2$)

D_V : Densidade de ocupação por vivenda. Para Medellín este valor é 3,7pessoas/vivenda (DANE, 2005)

D_P : Densidade da população da cidade. Para Medellín este valor é 6542 habitantes/ km^2

D_{P_i} : Densidade populacional na área de interesse (habitantes/ km^2)

$D_{P_{projeto}}$: Densidade populacional na zona de impacto o projeto

D_P : Densidade na zona de pânico

∂F : Derivada das variáveis dependentes

∂X_i : Derivada das variáveis independentes

$E(FS)$: Esperança do FS ou valor médio do fator de segurança

φ : Ângulo de fricção

F : Função do fator de segurança

$\Phi(\beta)$: é a área sob a curva de densidade de probabilidade à direita do valor de $FS = 1$.

FOSM: first Order Second Moment

FS: Fator de segurança

f_x : Função de densidade de probabilidade das variáveis relevantes

g : Função de estado limite

I : Intensidade do deslizamento

I_K : Parâmetro intensidade cinética da categoria
 I_M : Parâmetro de intensidade cinemática da categoria
 k_s : Razão do impacto espacial
 K_{ce} : stock Las Estancias
 K_{da} : stock Altavista -baixo
 K_{da} : stock de Altavista
 K_{dm} : dunitas
 K_{gd} : stock San Diego
 K_{gr} : gabros de Romeral
 K_{mp} : metagabro Picacho
 K_{ur} : peridotitas
 K_{vqg} : membro vulcânico Quebrada Grande
 K_{sqg} : membro sedimentário Quebrada Grande
 K_{pni} : gneiss La Iguaná
 λ : probabilidade temporal do evento,
 MP : Media pesada
 N_V : Número de unidades de vivenda dentro da estrutura
 Pam : anfibolitos
 Pes : xistos
 P_f : Probabilidade de falha
 PIB_C : Rendimento médio per capita dos habitantes
 PR : Probabilidade de ruptura
 $P[T]$: Produto da probabilidade de ocorrência de um evento catastrófico, ou seja, a ameaça
 $P(x>0)$ = probabilidade do evento x acontecer (numero positivo)
 $Q_{ft V}$: fluxos de terra V
 $Q_{at I -II}$: aluvio-torrenciais I - II
 Q_{al} : aluvial
 $Q_{ft/e II}$: fluxo de terra e detritos II
 $Q_{ft/e IV}$: fluxo de terra e detritos IV
 $Q_{at I}$: aluvio-torrenciais I
 r : Resistência
 R_{i_e} : Risco associado a o elemento e , o qual pode ocorrer danos quando se produza um evento de intensidade i
 r_M : Fator de relevância cinemática da categoria

r_K : Fator de relevância cinética da categoria

γ : Peso específico do solo

$\sigma(\text{FS})$: Desvio padrão do FS

s : Solicitação

S : Fragilidade dos elementos em risco

S_{PST} : Fragilidade das pessoas dentro das estruturas ou em espaços fechados.

S_{PSN} : Fragilidade das pessoas em espaços abertos e em veículos nas vizinhanças da estrutura

t : Tempo de exposição

t : período de tempo a considerar.

$u(\text{C})$: Custo das perdas ou seja a vulnerabilidade

V : Índice de vulnerabilidade

$V(\text{F})$: Variância da variável dependente

$V(\text{X}_i)$: Variância das variáveis independentes

VE : Vulnerabilidade estrutural (\$)

V_E ou PVII : Índice de vulnerabilidade física

VP : Vulnerabilidade das pessoas (# vítimas)

V_{PE} : Índice de vulnerabilidade das pessoas dentro da estrutura

V_{PF} : Índice de vulnerabilidade das pessoas fora da estrutura

V_e : Vulnerabilidade do elemento e

W_{BSF} : Peso do indicador da fragilidade das estruturas

X : Vetor de variáveis relevantes

X_i : Valores médios das variáveis independentes

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A caracterização das incertezas e os riscos inerentes das obras de engenharia estão associados a eventos danosos de cunho geológico e/ou geotécnico. Dessa forma, nos últimos anos as análises de confiabilidade e métodos probabilísticos têm sido amplamente aplicadas na engenharia geotécnica e áreas relacionadas. Os modelos analíticos são amplamente disponíveis para aplicações geotécnicas. Entretanto, a confiabilidade dos fatores de segurança ainda é muito pouco explorada nos projetos de obras civis (Christian, J. T., 2004).

A estabilidade de taludes é um problema antigo e conhecido da engenharia geotécnica, como todos os projetos geotécnicos, a análise de estabilidade de taludes e encostas requer como insumo básico fundamental um banco de dados espácio/temporal, principalmente sobre a localização das solicitações ou carregamentos impostos, as características geométricas e geológicas do local e sobre as propriedades de resistência e deformabilidade dos geomateriais envolvidos. Estes dados geralmente são incompletos, insuficientes ou meramente aproximados; sendo que na maioria dos casos são estimados a partir de experiências anteriores do projetista. Assim a baixa qualidade e quantidade dos dados de projeto podem promover um aumento considerável das incertezas associada a cada parâmetro e variáveis envolvidas (Phoon, 2008). As observações anteriores justificam a utilização de análises baseadas no conceito de confiabilidade cuja fundamentação está no fato de poder avaliar o efeito das incertezas sobre o fator de segurança e, dependendo do tipo de análise, determinar a influencia de cada parâmetro ou variável na estabilidade global do talude ou encosta (Whitman, 1984).

Embora os terremotos, inundações, tufões e outros desastres naturais sejam considerados os eventos mais catastróficos, os movimentos de massa e as inundações constituem-se nas ameaças naturais mais severas responsáveis por consideráveis perdas sócio-econômicas e de vidas (García, 2004). Sua prevenção tornou-se prioritária para administrações públicas que convivem com ciclos de fenômenos de movimento de massa e inundações. No entanto, a falta de um desenvolvimento urbano ordenado com delimitações das zonas susceptíveis a movimentos de massa promove a ocupação em áreas de elevado risco à vida humana e aos bens materiais (Vélez et al., 1993).

Os riscos para a vida e a infra-estrutura devido a deslizamentos de terra têm aumentado em todas as áreas urbanas da Colômbia nas últimas décadas. Na Colômbia dos 46 milhões de habitantes 62% vivem em áreas urbanas de relevo montanhoso. Isso pode ser atribuído em parte à crescente migração da população para as cidades, devido à pobreza, segurança e razões políticas (Ojeda & Donnelly, 2006).

Diante da ocupação desordenada no território em áreas de risco de deslizamentos de terra têm sido recorrentes os movimentos de massa e inundações no Vale de Aburrá (Aristizabal et al, 2006). Contudo, nas últimas décadas, esses fenômenos causaram centenas de mortes e milhões de dólares em prejuízos econômicos. A avaliação dos danos e prejuízos ainda representa um ponto fraco na cidade e até mesmo na Colômbia. A Figura 1.1 mostra alguns dados preliminares, que permitem uma maior sensibilização para a dimensão das perdas humanas e imóveis afetados que ocorreram entre 1880 e 2007, mas, certamente, estão longe de ser o verdadeiro valor dos prejuízos sofridos (Aristizabal & Gómez, 2007). Nessa Figura nota-se que os movimentos de massa são responsáveis por 74,1% das vítimas humanas em relação às demais ameaças naturais que provocaram acidentes. Em termos de prejuízos econômicos aos imóveis afetados, as inundações foram responsáveis por 53,6% das perdas totais, enquanto que os escorregamentos foram responsáveis por 33,2% das perdas.

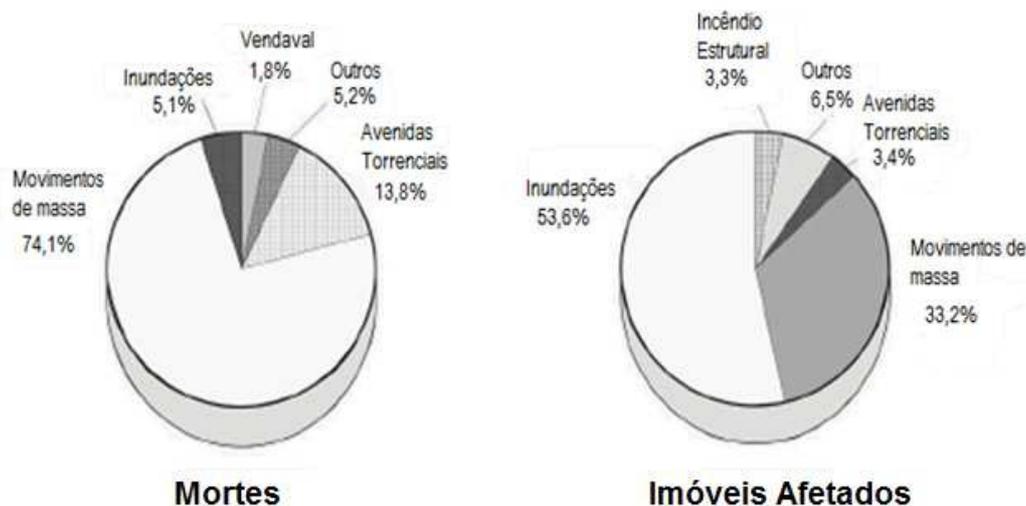


Figura 1.1. Perdas sofridas em termos de vidas humanas e de imóveis afetados, por ameaças naturais no Valle de Aburrá 1880 - 2007 (Adaptada de Aristizabal & Gómez, 2007).

Neste contexto, percebe-se a necessidade de realizar o estudo de novas metodologias ou adaptação das existentes para compreender melhor as condições que provocam deslizamentos

de terra nas regiões montanhosas e à criação de ferramentas de planejamento que permitam aos governantes do território gerenciar melhor a ocupação das encostas.

Durante a última década e especialmente nos últimos dois anos, a cidade de Medellín, tem sofrido uma série de movimentos de massa de magnitude considerável (Tabela 1.1), os quais geraram preocupação sobre o verdadeiro nível de ameaça e risco das encostas da cidade. Em resposta a esta preocupação diversos estudos regionais foram realizados como: Garcia, (2004), AMVA, (2006), AMVA, (2008) e UNAL, (2010), com o intuito de avaliar o nível de ameaça, vulnerabilidade e risco geotécnico da cidade.

Um dos pontos importantes a serem investigados é determinação do nível de risco total que uma determinada sociedade considera aceitável e a sua comparação com o risco real que está sendo inconscientemente aceito. Esta determinação tem sido tradicionalmente, delegada ao engenheiro geotécnico, mas nem sempre são claros quais são os valores limites para o risco de uma dada obra. (Hidalgo-Montoya, 2009)

Pelo explicitado anteriormente o presente trabalho desenvolveu uma metodologia que permite fazer a avaliação local do risco total em termos de perdas de vidas e custos, utilizando metodologias como a confiabilidade, para o cálculo da ameaça. Para o cálculo da vulnerabilidade estrutural usou-se a metodologia de Verónica Botero Fernández (2009) e Marco Uzielli et al. (2008). Por último, para o cálculo do risco total aceito na cidade de Medellín utilizou-se uma abordagem quantitativa.

Tabela 1.1. Magnitude das perdas causadas por deslizamentos na cidade de Medellín.

Movimentos de massa	Ano	Bairro	Perdas	
			Mortes	Afetados
Deslizamento de detritos	31/05/08	El Socorro	27	>60
Deslizamento de terras	16/11/08	Alto Verde (Poblado)	12	>12
Fluxo de terras	05/12/10	La Gabriela (Bello)	85	>130

1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo geral da pesquisa foi a avaliação do risco geotécnico em 120 locais críticos das encostas de Medellín, a partir das bases de dados geradas pelos estudos de solos, registros

pluviométricos, bases de dados geotécnicos e informação dos projetos como tipo estrutural, habitantes, valor da propriedade e informação socioeconômica da população.

Os objetivos específicos são:

- Analisar a qualidade técnica dos estudos geotécnicos e de solos na cidade de Medellín, Colômbia.
- Propor uma metodologia para a avaliação do risco geotécnico associado a escorregamentos de encostas na cidade de Medellín.
- Quantificar a ameaça por escorregamentos de encostas e taludes em diferentes áreas da cidade de Medellín.
- Quantificar a vulnerabilidade estrutural de alguns projetos de urbanismo para moradia na cidade de Medellín.
- Quantificar a vulnerabilidade das pessoas dentro e fora das estruturas considerando a possível ocorrência de ruptura de taludes ou encostas na cidade de Medellín.
- Elaborar um gráfico de risco total aceito na cidade de Medellín.
- Propor um nível de risco aceitável para a cidade de Medellín como ponto de partida para um código geotécnico de encostas na região.

1.2 METODOLOGIA DO TRABALHO

Antes de iniciar com a apresentação da metodologia utilizada deve se deixar claro que será desenvolvida na cidade de Medellín e toda a informação necessária como geologia, geomorfologia e especificações, para o conhecimento da área de estudo serão apresentadas no capítulo 3 da pesquisa.

Como é usual neste tipo de pesquisas, a metodologia baseia-se numa sequência de passos ou etapas, que visam levar o conhecimento adquirido desde os níveis mais gerais até os mais específicos. Em relação aos recursos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa temos as bases de dados da informação coletada da cidade de Medellín e os recursos relacionados com a logística necessária para o processamento da informação. As etapas propostas para o desenvolvimento desta tese são descritas a seguir:

1.2.1 Coleta da Informação

A coleta da informação necessária para o desenvolvimento da pesquisa foi realizada na cidade de Medellín. Iniciam com um censo das empresas e entidades governamentais ou não

governamentais onde possivelmente encontra-se a informação. Esta coleta de informação se complementou com as visitas de campo que permitiram a identificação dos diferentes projetos a serem avaliados e desta forma foi possível identificar quais entidades eram as encarregadas de fornecer as informações para cada um dos projetos.

Na visita de campo realizava-se uma identificação holística dos possíveis taludes que apresentaram alguma ameaça para os habitantes e as estruturas. Para registrar esta informação utilizou-se a planilha de campo onde era necessário incluir informação geral do projeto (Nome, localização, coordenadas GPS, etc.), informação geológica, geotécnica, estrutural e socioeconômica, também foi registrado manualmente um desenho do perfil do talude onde se incluem características como cargas, estruturas de contenção, obras de drenagem entre outras.

Quanto às informações das entidades estas são relacionadas com os estudos de solo, informação geológica-geotécnica, projetos (informação estrutural), planos, mapas e informação técnica que complementa a obtenção de dados como a informação socioeconômica. Entre as entidades encarregadas de subministrar à informação estão à área Metropolitana do vale de Aburra, Município de Medellín (PND, prefeitura, cadastro), empresas encarregadas de emitir a licença de construção para o caso da cidade de Medellín são as Curadurias, também encontramos as universidades e as empresas consultoras.

1.2.2 Análise da ameaça

Com a informação das planilhas da visita de campo e das diferentes entidades obtêm-se informação fundamental para elaborar perfis geológico-geotécnicos típicos do solo. Dentre os dados obtidos selecionam-se parâmetros como ângulo de atrito (ϕ), coesão (c) e peso específico (γ) do solo direto dos ensaios de laboratório ou de campo registrados no estudo de solo, ou fazendo uso das diferentes correlações disponíveis na literatura.

Com a informação anterior disponível é possível realizar a análise de estabilidade de taludes fazendo uso de algum método convencional da literatura. Acompanhando esta informação encontramos dois métodos probabilísticos que permite calcular a ameaça produzida pelo talude, o método de Primeira Ordem Segundo Momento e das Estimativas Pontuais, que são alimentados com os diferentes parâmetros de cada uma das camadas do perfil do solo e desta maneira é possível utilizar a metodologia de confiabilidade para obter, em termos da probabilidade de ruptura (PR), a ameaça.

1.2.3 Análise da Vulnerabilidade

Para a obtenção dos parâmetros necessários para a avaliação da vulnerabilidade das estruturas foi utilizada a informação estrutural e os planos do projeto com os quais foi possível obter as diferentes áreas, tipos de estrutura, idade e estado de manutenção das estruturas e o estrato socioeconômico, estes parâmetros são os utilizados na metodologia apresentada por Botero-Fernández (2009) para o cálculo do índice de vulnerabilidade, já o cálculo direto da vulnerabilidade é afetado pelos custos das perdas relacionadas com a possível ocorrência de um determinado evento perigoso.

Com respeito à vulnerabilidade das pessoas é adotada a metodologia de Uzielli et al. (2009), que utiliza parâmetros como densidade populacional, quantidade de habitantes por moradia, áreas das moradias, idade da população relacionada com os projetos entre outras que serão descritas no capítulo seguinte.

1.2.4 Análise do Risco

O risco pode ser avaliado usando diferentes abordagens holísticas, qualitativas e quantitativas, mas para esta pesquisa foi utilizada a abordagem quantitativa com o intuito de obter um número que permita quantificar o risco em termos de perdas de vidas ou econômicas. As variáveis que são necessárias para o cálculo foram descritas anteriormente, referem-se à ameaça e à vulnerabilidade, que ao serem multiplicadas calculam o risco total.

O risco pode ser expresso ou apresentado nas curvas F-N (F a frequência de acidentes, N representa o número de vítimas mortais), que como características especiais têm a possibilidade de combinar a probabilidade de ruptura, neste caso do talude ou encosta, com as perdas em vidas ou custos além de informar para a cidade de Medellín o risco total que esta sendo aceito na cidade.

1.2.5 Conclusões

Finalmente, foram obtidas conclusões específicas dos resultados obtidos na pesquisa e outras conclusões gerais relacionadas com a cidade de Medellín, além de apresentar propostas e sugestões para pesquisas futuras e para a gestão da cidade, surgidas das dificuldades encontradas e de novas necessidades detectadas durante o trabalho.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

A dissertação está dividida em 5 capítulos acrescidos das referências bibliográficas e os anexos. No primeiro capítulo apresenta-se uma motivação para a realização da pesquisa baseado nas inumeráveis perdas econômicas e de vidas apresentadas na cidade de Medellín derivadas dos movimentos de massa.

As definições básicas da área, as metodologias de avaliação da ameaça, vulnerabilidade incluindo os diferentes tipos de vulnerabilidade possíveis a ter em conta e risco total, assim como o fluxograma que explica passo a passo a metodologia são apresentadas no capítulo 2. No capítulo 3 encontram-se algumas informações básicas da cidade de Medellín além de um resumo da geologia e geomorfologia. Também é tomado um dos 120 projetos como caso de estudo com o intuito de exemplificar a metodologia de cálculo do risco total.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e análises da ameaça, vulnerabilidade e risco obtidos da avaliação dos 120 projetos selecionados em Medellín. Dentro dos resultados podem-se observar os gráficos do risco total para pessoas e estruturas como também possíveis comparações com outras metodologias de risco desenvolvidas no mundo.

Para finalizar, as conclusões, umas relacionadas à metodologia da pesquisa e, outras com a cidade de Medellín; algumas recomendações gerais do trabalho e da cidade de Medellín encontram se no capítulo 5.

CAPÍTULO 2

MARCO TEORICO

Neste capítulo são apresentadas as definições comuns na área de riscos naturais e as metodologias escolhidas para o cálculo da ameaça, vulnerabilidade e o risco.

2.1 AMEAÇA

A definição de ameaça incorpora os conceitos de magnitude, localização geográfica e tempo de recorrência (Guzzetti et al., 1999). O primeiro conceito refere-se à dimensão ou intensidade do fenômeno natural; o segundo implica na capacidade de identificar o lugar onde o evento pode ocorrer; o terceiro refere-se à frequência temporal do fenômeno.

Tradicionalmente, modelos de previsão de terremotos definem a ameaça em termos de magnitude (energia liberada pelo evento sísmico) e tempo de recorrência. Contudo, a localização exata de ocorrência de eventos sísmicos é de difícil previsão (García 2004).

Ao avaliar a probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra dentro de um determinado período de tempo e numa determinada área, as causas, que favorecem a instabilidade de taludes e os processos que desencadeiam o movimento de massa é de suma importância. Os fatores que determinam a probabilidade de recorrência de deslizamentos em encostas podem ser agrupados em duas categorias: (1) as variáveis de preparação que tornam o talude suscetível à ruptura, portanto, tendem a definir a inclinação da encosta em um estado marginalmente estável, tais como a geologia, declividade, altitude, as propriedades geotécnicas do solo, cobertura vegetal, padrões de drenagem e, ao longo prazo, o intemperismo e; (2) as variáveis de ativação que mudam o talude de uma condição marginalmente estável a instável, iniciando a ruptura numa área de suscetibilidade determinada, são as chuvas ou terremotos. Obviamente, a probabilidade de ocorrência de deslizamentos de terra depende das variáveis de preparação e das variáveis de ativação. No entanto, as variáveis de ativação podem mudar em pouco tempo, e geralmente são de difícil abordagem quantitativa (Dai et al, 2002).

É geralmente aceito que os parâmetros geotécnicos dos materiais apresentam variações dentro de uma faixa de atuação consideráveis, de modo que certo grau de incerteza é incorporado em qualquer análise, caso os parâmetros sejam tratados como valores determinísticos. Não há consenso sobre qual o melhor método para quantificar essas incertezas, especialmente na

prática geotécnica em que normalmente não há dados suficientes para uma análise estocástica rigorosa, devido às fortes restrições nas campanhas de campo e de laboratório por questões de orçamento e tempo. É possível usar métodos probabilísticos na resolução destes problemas, fazendo suposições aceitáveis, pelo menos dentro de certos limites, das estatísticas das incertezas envolvidas, combinando diferentes fontes de informação. No entanto, os valores numéricos obtidos a partir da análise probabilística (probabilidade de falha, por exemplo) são sensíveis às mudanças nas distribuições de parâmetros de entrada, mas elas desempenham um papel importante em estudos comparativos qualitativos e quantitativos (Peschl & Schweiger, 2003).

2.1.1 Análise da Confiabilidade

Os fatores de segurança utilizados na prática geotécnica convencional são baseados na experiência. No entanto, é comum usar o mesmo valor do fator de segurança para um determinado tipo de aplicação, tais como estabilidade de taludes em longo prazo, independentemente do grau de incerteza no seu cálculo. Além disso, por meio da regulamentação ou da tradição, o mesmo valor do fator de segurança é muitas vezes aplicado às condições que envolvem diversos graus de incerteza (Duncan, 2000).

Os cálculos de confiabilidade fornecem um meio para avaliar os efeitos combinados das incertezas, e um meio para distinguir as condições em que as incertezas são particularmente altas ou baixas. Apesar do fato de que ela tem um valor potencial, a teoria de confiabilidade não tem sido amplamente utilizada na prática geotécnica de rotina. Há duas razões para isso. Primeiro, a teoria de confiabilidade implica em termos e conceitos que são desconhecidos para a maioria dos engenheiros geotécnicos. Em segundo lugar, popularmente se acredita que o uso da teoria da confiabilidade requer mais dados, tempo e esforço do que estão disponíveis na maioria das circunstâncias (Duncan, 2000).

Christian et al. (1994), Tang et al. (1999) e outros descreveram excelentes exemplos da utilização da teoria da confiabilidade na engenharia geotécnica. O objetivo desta metodologia é mostrar que o conceito de confiabilidade pode ser aplicado facilmente, sem mais dados, tempo ou esforço dos que estão normalmente disponíveis na prática da engenharia geotécnica. Trabalhando com a mesma quantidade e tipos de dados e os mesmos tipos de avaliações técnicas utilizadas na análise convencional, é possível fazer avaliações próximas, mas úteis da confiabilidade (Duncan, 2000).

O resultado de uma simples análise de confiabilidade, como as que serão descritas, não será nem mais nem menos precisa que as análises convencionais deterministas, usando os mesmos dados, critérios e aproximações. Embora, nenhuma das análises deterministas ou de confiabilidade sejam precisas, ambos têm um valor e cada um deles melhora ou aumenta o valor do outro. (Duncan, 2000).

Basicamente, a análise de confiabilidade calcula a probabilidade de falha, P_f , de um sistema (equação 2.1) caracterizado por um vetor $X=(x_1, \dots, x_N)$ de variáveis relevantes em X . A resistência, r , do sistema pode ser expressa como $r=gr(x)$ e a solicitação, s , como $s=gs(x)$. A probabilidade de falha, P_f , é a probabilidade p de que $r \leq s$. Na equação 2.1 g é chamada “função de estado limite” e f_x é a função de densidade de probabilidade das variáveis relevantes (Shweiger & Peschl, 2005).

$$P_f = p(g(x) \leq 0) = \int_{g(x) \leq 0} f_x(x) dx \quad (2.1)$$

A resistência (r) e a solicitação (s) estão implícitas no X . Para taludes a probabilidade de ruptura é considerada como a probabilidade de que o fator de segurança (FS) seja inferior a unidade. Segundo Whitman (1984) a resistência, também chamada “função de capacidade”, e a solicitação, chamada “função da demanda”, são comparadas para definir os critérios da confiabilidade em termos do tamanho da área comum e da relação da capacidade com um valor limite aceitável (Figura 2.1).

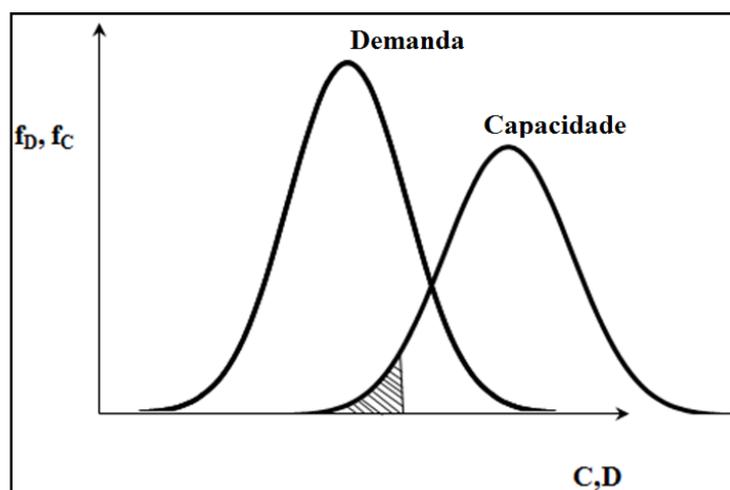


Figura 2.1. Sobreposição de curvas de distribuição de capacidade e demanda (Modificado Whitman, 1984).

A informação das curvas de distribuição da capacidade e da demanda também pode ser usada para calcular uma curva de distribuição do FS , como é mostrado na Figura 2.2, em que a área sombreada à esquerda do $FS = 1$ é a probabilidade de ruptura (PR).

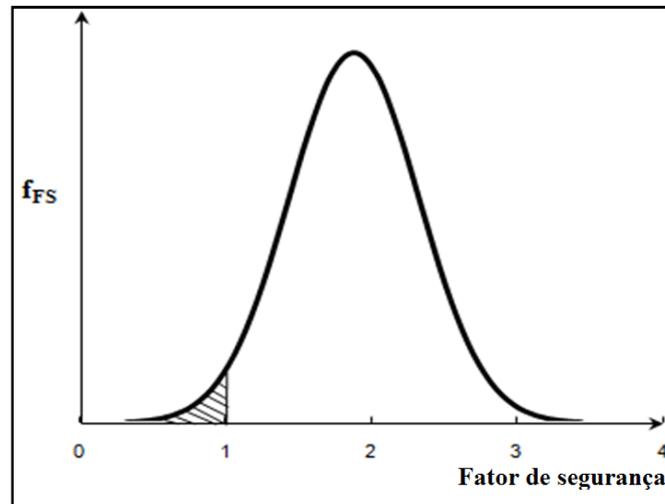


Figura 2.2. Curva de distribuição do fator de segurança (Modificado Whitman, 1984).

Segundo Phoon (2008), quando a distribuição é normal, a confiabilidade (β) e a probabilidade de ruptura (PR) podem ser calculadas como é mostrado nas equações 2.2 e 2.3.

$$\beta = \frac{E(FS) - 1}{\sigma(FS)} \quad (2.2)$$

$$PR = 1 - \Phi(\beta) \quad (2.3)$$

Onde $E(FS)$ é a média do FS , $\sigma(FS)$ é o desvio padrão do FS , PR é a probabilidade de ruptura e $\Phi(\beta)$ é a área sob a curva de densidade de probabilidade à direita do valor de $FS = 1$.

2.1.2 Métodos de Análise da Confiabilidade

O caminho para chegar à função de densidade de probabilidade do fator de segurança de uma encosta ou talude passa pela aplicação de um método convencional, geralmente um método de análise de equilíbrio limite.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado o método de Morgenstern & Price, que considera as forças de cisalhamento e normal entre as fatias, com a possibilidade de analisar qualquer tipo de superfície de falha, tornando-se num método muito preciso e praticamente aplicável para todas as geometrias e os perfis do solo (Smith, 2009). Uma vez definido o método de análise de confiabilidade, podem-se aplicar diferentes técnicas para

realizar a análise probabilística. No próximo item será descrita duas técnicas mais utilizadas para determinar a análise probabilística.

2.1.2.1 Método da Primeira Ordem Segundo Momento (FOSM)

Descreve a primeira ordem aproximando-se da média, a variância e o desvio padrão de uma função F qualquer, com base nos primeiros termos da série de Taylor relacionado à expansão da função F . A função F pode ser qualquer função relevante, mas para nossos propósitos faz referência ao fator de segurança calculado por qualquer método numérico adequado, como já foi discutido acima. Uma vez que a média e a variância são calculados passa a ser uma questão simples calcular o índice de confiabilidade β usando a equação 2.2.

Farias & Assis (1998) aprovam a definição de Christian et al. (1994), onde o valor médio da variável dependente, $E(F)$ é calculado a partir dos valores médios das variáveis independentes (X_i) (equação 2.4). A variância da variável dependente, $V(F)$ é calculada a partir da variação dos parâmetros de entrada, $V(X_i)$ e das derivadas da variável dependente em relação a cada variável independente (equação 2.5). Estas derivadas nem sempre são fáceis de determinar, por derivação direta faz-se necessário aplicar aproximações numéricas.

$$E[FS] = F(\overline{X}_1, \overline{X}_2, \overline{X}_3, \dots, \overline{X}_n) \quad (2.4)$$

$$V[FS] = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial F}{\partial X_i} \right)^2 V(X_i) \quad (2.5)$$

Onde:

$E(FS)$: Média do FS ou valor médio do fator de segurança

$V(F)$: Variância da variável dependente

$V(X_i)$: Variância das variáveis independentes

X_i : Valores médios das variáveis independentes

A prática usual é, então, assumir que o fator de segurança tem uma distribuição normal apresentada na figura 2.2, com a qual para que se possa calcular a probabilidade de ruptura se usa a teoria da confiabilidade (β).

Segundo Beacher & Christian (2003), há seis etapas para o cálculo:

1. Identificar todas as variáveis que afetam a estabilidade do talude, tais como geometria, peso específico, coesão, ângulo de atrito, entre outros. Essas variáveis para o caso dos

projetos estudados em Medellín foram obtidas a partir dos estudos de solos de cada projeto.

2. Determinar o melhor valor (geralmente o valor médio) de cada variável, $E[X_i]$, depois introduzir esse valor de cada variável no método das fatias para calcular a melhor estimativa do fator de segurança.
3. Estimação da incerteza de cada variável e, em particular, a sua variância, $V[X_i]$, com base nas incertezas das propriedades do solo.
4. Realizar análise de sensibilidade através do cálculo das derivadas parciais de F em relação a cada uma das variáveis incertas, ou através de uma aproximação de cada derivada da diferença de F/X_i .
5. Utilizar a equação 2.5 para calcular $V[F]$.
6. O cálculo do índice de confiabilidade (β) é obtido a partir da equação 2.2.

A seguir se apresentam dois tipos de incertezas muito comuns nas metodologias probabilísticas. A primeira destas incertezas se encontra relacionada com os parâmetros geotécnicos e a segunda com o fator de segurança.

- Com relação aos parâmetros geotécnicos a incerteza na estabilidade de uma encosta ou talude é o resultado de muitos fatores. Alguns, como o desconhecimento de detalhes geológicos são difíceis de tratar formalmente, enquanto outros, como estimativas das propriedades do solo são mais suscetíveis à análise estatística.
Segundo Beacher & Christian (2003), as incertezas nas propriedades do solo são obtidas de duas fontes: dispersão nos dados e erros sistemáticos na estimativa das propriedades. A primeira consiste na variabilidade espacial inerente dos solos e erros aleatórios das medidas. A última consiste em erros estatísticos sistemáticos devido a processos de amostragem e tendências (dados tendenciosos) no próprio processo de mensuração.
- O cálculo do fator de segurança usando o método das fatias para a geometria atual é um exemplo de um caso em que a diferenciação direta pode não ser viável e os métodos numéricos para avaliar a variância podem ser mais atraentes. A abordagem consiste em avaliar o fator de segurança (F) para os valores dos parâmetros na condição de interesse e, em seguida, mudar cada parâmetro, por sua vez, por uma quantidade menor e re-avaliar o fator de segurança (F). As diferenças, divididas pelos aumentos nos parâmetros, fornecem estimativas das derivadas. Como em qualquer trabalho numérico, o usuário deve ter

cuidado para não extrapolar uma análise linear para além da região onde os resultados reais existem. (Beacher & Christian, 2003)

2.1.2.2 Método das Estimativas Pontuais (Rosenblueth)

O método também conhecido como o método de Rosenblueth requer estimar a média e o desvio-padrão da variável dependente em função das variáveis aleatórias independentes para as quais são conhecidas a média e desvio padrão, também, não é necessário o conhecimento das funções de distribuição das variáveis independentes, utilizando apenas seus valores calculados nos pontos chamados estimativas pontuais. A variável dependente é calculada para todas as combinações de estimativas pontuais mínimas e máximas do desvio padrão gerando $2n$ análise, separados, para cada um dos quais é feita uma área de pesquisa. É preciso, entretanto, assumir uma distribuição para o fator de segurança (geralmente normal) e supor que a distribuição de cada variável independente é simétrica. As equações 2.6 e 2.7 são usadas para os cálculos correspondentes (Farias& Assis, 1998).

$$E[FS] = \sum_{i=1}^n \frac{FS_i}{n} \quad (2.6)$$

$$V[FS] = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(FS_i)^2}{n} - \sum_{i=1}^n \frac{(FS_i)}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Onde $E(FS)$ é o valor médio da variável dependente ou seja do fator de segurança, n é o número de combinações das variáveis e $V(FS)$ é a variância do fator de segurança.

Uma vez que a média e a variância são calculados por qualquer método acima explicado, é uma questão simples calcular o índice de confiabilidade e a probabilidade de ruptura por meio das equações 2.2 e 2.3.

2.2 VULNERABILIDADE

O processo de desenvolvimento humano leva o homem a conceituar adequadamente os elementos ligados ao seu hábitat, meio ambiente e as oportunidades de interação entre eles. Embora, no início, houvesse uma percepção confusa sobre a definição da vulnerabilidade, esta aceção tem contribuído para dar maior clareza aos conceitos de risco e catástrofe ou desastre. Durante muito tempo estes dois conceitos têm sido equiparados a uma possibilidade e um fato, associados a uma única causa: o fenômeno, diante da qual não havia muito a fazer. No entanto, o quadro conceitual da vulnerabilidade surgiu a partir da experiência humana em

situações onde a vida diária normal era difícil de distinguir de um desastre. No geral a maioria das vezes as condições eram extremas fazendo com que o desempenho dos grupos sociais fosse muito frágil. Essas condições extremas dependem do nível de desenvolvimento dos grupos sociais e da planificação desse desenvolvimento. Embora, o processo de desenvolvimento já permitisse considerar como harmoniosa a relação entre o homem e o meio ambiente, começou-se a identificar a vulnerabilidade de grupos sociais, definida como a capacidade reduzida para ajustar ou adaptar-se a determinadas circunstâncias (Cardona, 2001).

A vulnerabilidade tem sido definida de diferentes maneiras. As seguintes são algumas das definições encontradas na literatura:

- De acordo com diferentes autores, a vulnerabilidade é a predisposição de um elemento a sofrer danos ou ser afetado diante da ocorrência de um evento de certa intensidade (Cardona, 2001).
- Para a Sociedade Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica (ISSMGE, 2004), a vulnerabilidade se define como o nível de perdas esperadas em um elemento ou sistema em relação a uma ameaça especificada.
- Wilchex-Chaux (1993) define vulnerabilidade como o grau de perda (que pode ser medido de 0-100 por cento) gerado como resultado da ação ou a presença de um fenômeno potencialmente prejudicial em um lugar específico. O risco é diretamente proporcional à vulnerabilidade, ou seja, quanto maior a vulnerabilidade, maior o risco que existe em uma determinada região ou população.

A abordagem da estimativa de vulnerabilidade, em que a vulnerabilidade é expressa num intervalo de 0 (sem perda) a 1 (perda total), é conhecida como vulnerabilidade "técnica" ou "física", a qual aborda os efeitos da interação do agente promotor do risco e o ambiente físico. Uma distinção importante entre as perspectivas sociais e físicas sobre a vulnerabilidade é que a vulnerabilidade física é um cenário específico, enquanto que a vulnerabilidade social não é (Fell, 1994).

No entanto, o termo vulnerabilidade tem sido utilizado por diversos autores para se referir ao risco e também foi usado para se referir às condições de desvantagem, particularmente nas disciplinas das ciências sociais. Entretanto, de acordo com descrito acima, deve existir uma ameaça para que se represente uma situação de risco. Sem nenhuma ameaça, não é possível ser vulnerável, em termos de um potencial dano ou perda, o que significa a ocorrência de um

desastre. Da mesma forma, não há uma situação de ameaça para um elemento ou sistema, se o elemento não está exposto a ela e se ele não é vulnerável à ação do fenômeno que representa um perigo ou uma ameaça (Cardona, 2001).

Segundo Parra-Pichardo (2004), ser vulnerável a um fenômeno natural é ser suscetível a sofrer prejuízos e ter dificuldade para se recuperar disso. Nem todas as situações em que se encontra o ser humano o fazem vulnerável, pois há situações em que realmente a população se encontra exposta aos prejuízos causados pelos eventos naturais perigosos (sismos, enchentes, furacões, tempestades, etc). No entanto, têm-se outras situações em que as pessoas estão cercadas por condições de segurança, pelo qual pode considerar-se protegido, e pouco vulnerável.

Segundo Parra-Pichardo (2004), considera-se que a vulnerabilidade das populações é causada por:

- Povoação de áreas que não são boas para habitar pelos inconvenientes da localização e o tipo de solo.
- Construções muito frágeis sem boas fundações e de material que não seja apropriado para a resistência exigida na área.
- Desigualdades socioeconômicas que propiciam a ocupação em áreas inadequadas à habitação humana.

2.2.1 Tipos de Vulnerabilidades

A vulnerabilidade global é dividida em várias vulnerabilidades que são interligadas e pode-se notar que estas divisões são apenas perspectivas diferentes para avaliar a vulnerabilidade como um fenômeno global, entre elas está: (Parra-Pichardo, 2004):

- Vulnerabilidade natural: É a vulnerabilidade intrínseca à que estão expostos todos os seres vivos, determinada pelos limites ambientais dentro dos quais a vida é possível.
- Vulnerabilidade física: Refere-se diretamente à localização dos assentamentos humanos em áreas de perigo, e as deficiências em sua infra-estrutura para absorver os efeitos desses perigos.
- Vulnerabilidade social: Refere-se ao nível de coesão interna que tem uma comunidade. Quanto melhor sejam os relacionamentos dentro da comunidade, ou seja, entre seus membros e também com a sociedade, menor a vulnerabilidade nela. A diversificação e

fortalecimento das organizações responsáveis de representar os interesses da coletividade podem ser considerados um bom indicador de vulnerabilidade social.

- Vulnerabilidade política: É o valor recíproco do nível de autonomia que tem uma comunidade para tomar decisões que podem afetar os indivíduos da comunidade, ou seja, quanto maior a autonomia, maior a vulnerabilidade política da comunidade.
- Vulnerabilidade técnica: É dada pela presença ou ausência de infra-estrutura ou projetos de edifícios resistentes e adaptáveis à diversidade de eventos ou ameaças a que a comunidade está exposta.
- Vulnerabilidade educativa: É representado, principalmente, pela formação acadêmica em vários níveis, que permite aos cidadãos aplicar esses conhecimentos em suas vidas diárias como um instrumento válido para enfrentar os riscos presentes no território que habitam.
- Vulnerabilidade ecológica: É definida pelas condições ambientais e ecológicas presentes na área, isto é, quanto maior a degradação ambiental e quanto menos sustentável seja o uso dado aos recursos naturais, maior a vulnerabilidade ecológica.
- Vulnerabilidade econômica: É dada, diretamente pelos indicadores de desenvolvimento econômicos presentes em uma população, podendo se, afirmar que quanto mais depreciado seja um setor, maior é a vulnerabilidade ante aos desastres.
- Vulnerabilidade institucional: É representado pela presença ou ausência de organizações e comitês para assegurar uma boa gestão e coordenação das situações de emergência presentes, como consequência de um evento ou uma catástrofe, isto se traduz na capacidade de responder a essas emergências.

No presente trabalho será considerada unicamente a vulnerabilidade física, ou seja, aquela que faz referência à condição estrutural das edificações localizadas nas áreas que apresentarem algum tipo de ameaça.

Segundo a AMVA (2006) a avaliação da vulnerabilidade física do ambiente urbano requer um inventário dos edifícios classificados de acordo com as seguintes variáveis: uso, sistema estrutural, idade da construção, status socioeconômico e declividade topográfica. Caso o grau de perda seja avaliado em termos do número provável de vítimas humanas, é necessário dispor de informações sobre o nível de ocupação de cada edifício.

Como a Colômbia é um Estado Social de Direito Fundado, entre outros princípios constitucionais, da solidariedade e da redistribuição de renda de pessoas que a compõem, é

forçado a fazer uma estratificação sócio-econômica em todo o país para orientar o planejamento dos investimentos públicos, conduzirem programas sociais, tais como a expansão da infra-estrutura e melhoria dos serviços públicos e das rodovias, saúde e saneamento, educação e recreação na maioria das áreas que necessitam além de servir para cobrar taxas relativas aos impostos sobre a propriedade como predial unificado (IPTU) diferencialmente por estrato. Esta tarefa foi desenvolvida pelo Departamento Nacional de Planejamento (DNP), que no Programa de Renovação da Administração Pública (PRAP) cedeu à função de desenvolver a metodologia de estratificação sócio-econômica para o Departamento Administrativo Nacional de Estatística (DANE). De acordo com a estratificação do país foram estabelecidos historicamente seis estratos identificados de acordo com as características da habitação e meio ambiente, como indicador direto da capacidade econômica das pessoas que nelas habitam.

Para o caso da cidade de Medellín o valor econômico das estruturas se encontra dado para cada um dos estratos socioeconômicos identificados na cidade que são mostrados na tabela 2.1. Tal tabela contém informação do custo comercial por metro quadrado (D_s) de construção de estruturas de acordo com o estrato e a localização na cidade de Medellín; este parâmetro forma parte fundamental do cálculo da vulnerabilidade estrutural indicando o custo das perdas possíveis a obter.

Agora, os dados relacionados com a densidade de ocupação humana são obtidos a partir dos bancos de dados cadastrais ou dos censos populacionais. Para o caso da cidade de Medellín, estas informações são coletadas e classificadas por duas entidades municipais chamadas Cadastro Municipal e DANE. Salienta-se que essas informações estão disponíveis para consulta pública.

Tabela 2.1. Custo comercial das estruturas segundo a localização (D_s em \$/m² peso colombiano) (Modificado AMVA, 2006).

Estrato	Residencial (US\$)	Comercial (US\$)	Setor de Abastecimentos (US\$)	Setor Industrial (US\$)
1	223,33	223,33	388,60	670,00
2	276,94	276,94	388,60	670,00
3	414,73	414,73	388,60	670,00

Estrato	Residencial (US\$)	Comercial (US\$)	Setor de Abastecimentos (US\$)	Setor Industrial (US\$)
4	672,24	884,41	388,60	670,00
5	844,21	1.109,97	388,60	670,00
6	1.065,31	1.384,68	388,60	670,00

Nota. Cotação do dólar para dezembro de 2006, COL\$2.238,79 = 1US\$ (Dolar Gratis, 2011).

Para o cálculo da vulnerabilidade física podem ser usadas as equações 2.8 e 2.9, que foram desenvolvidas no decurso da pesquisa para a cidade de Medellín. A primeira, para calcular a vulnerabilidade estrutural em termos de perdas econômicas prováveis. A segunda, para calcular a vulnerabilidade das pessoas tanto dentro quanto fora da estrutura, é medida em termos do número provável de vítimas.

$$VE = V_E \times A_E \times D_{\$} \quad (2.8)$$

Onde: VE = Vulnerabilidade estrutural (\$).

V_E = Índice de vulnerabilidade estrutural.

A_E = Área da estrutura ou área construída (m^2).

$D_{\$}$ = Custo comercial da estrutura ($\$/m^2$).

$$VP = (V_{PE} \times N_V \times D_V) + (V_{PF} \times D_P \times A_{pânico}) \quad (2.9)$$

Onde: VP = Vulnerabilidade das pessoas (# vítimas)

V_{PE} = Índice de vulnerabilidade das pessoas dentro da estrutura.

N_V = Número de imóveis ou apartamentos dentro da estrutura.

D_V = Densidade de ocupação por vivenda. Para Medellín este valor é 3,7 pessoas/vivenda (DANE, 2005).

V_{PF} = Índice de vulnerabilidade das pessoas fora da estrutura.

D_P = Densidade da população da cidade. Para Medellín este valor é 6542 habitantes/ km^2 .

$A_{pânico}$ = Área provável de geração de caos em torno da estrutura (km^2).

Nas expressões acima os índices de vulnerabilidade são adimensionais. A área de pânico é a área de influência em torno da estrutura vulnerável, em que o caos urbano pode ser gerado

caso um evento perigoso ocorresse. Esta área foi definida para a cidade de Medellín durante o decurso da pesquisa, a partir de critérios qualitativos baseado principalmente na análise da rede de ruas e avenidas, à distância aos centros de pronto socorro, bombeiros, defesa civil, policia, e hospitais, entrevistas com funcionários da administração da cidade e, também, da experiência observada em eventos anteriores acontecidos na cidade.

Com relação a densidade de população das diferentes áreas utilizadas seria mejor utilizar a densidade populacional do censo da cidade correspondente a comuna ou barrio no qual se encontre localizado cada um dos projetos, com o intuito de o calculo da vulnerabilidade das pessoas dentro das estruturas e fora delas.

2.2.2 Metodologias utilizadas para o calculo do índice de vulnerabilidade

Uma das características mais importante dos estudos de risco em nível urbano é que a metodologia utilizada na avaliação da vulnerabilidade física tem que ser algo simples, que possa ser aplicado em grandes áreas ou para um grande conjunto de estruturas. Obviamente, qualquer metodologia pode ser aplicada, porém podem gerar altos custos para o desenvolvimento, o que pode ser completamente inaceitável quando trata-se de grandes cidades. Por esta razão, temos de encontrar a metodologia que melhor se adéqua aos objetivos traçados no estudo de risco, mas acima de tudo, com aquisição de informações de baixo custo para realizar as investigações nas estruturas (edifícios, pontes, casas, estradas entre outros).

2.2.2.1 Metodologia Baseada em Indicadores e Avaliadores (Botero-Fernández, 2009)

A metodologia baseada em indicadores de vulnerabilidade tem sido usada amplamente para estudos de caráter regional com o intuito de quantificar o grau provável de perdas decorrentes de ameaças naturais. Um caso particular de aplicação desta metodologia é apresentado por Botero-Fernández (2009) como uma aplicação para a cidade de Medellín (Colômbia) considerando a ameaça sísmica. A forma de aplicação desta metodologia para o caso dos escorregamentos sofre algumas modificações que serão explicadas neste capítulo.

O principal problema na análise da vulnerabilidade das populações dos centros urbanos com os riscos naturais são as informações necessárias como uma ferramenta para prevenir, remediar uma possível situação de desastre. Neste contexto, é essencial saber a disponibilidade, qualidade e quantidade de dados, bem como as possibilidades de analisar de forma contínua e oportuna o processamento desses dados.

O modelo de avaliação da vulnerabilidade encontra-se explicado na figura 2.3.

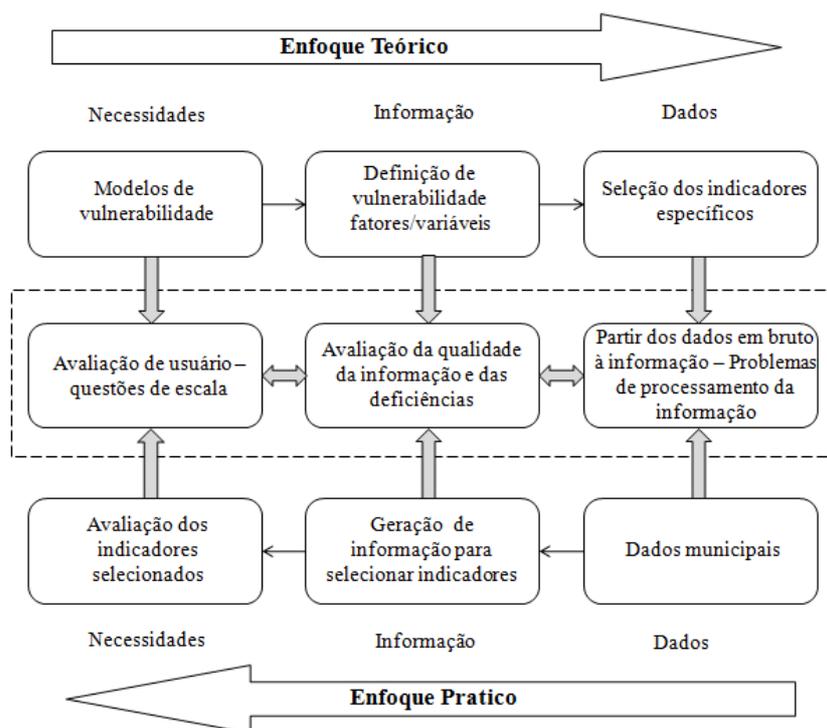


Figura 2.3. Modelo conceitual de investigação (Modificado Botero-Fernández, 2009).

Primeiramente o enfoque teórico fornece uma idéia da informação baseada nos modelos de vulnerabilidade existentes. Em seguida qual informação é necessária (os indicadores), e por ultimo quais dados são necessários para avaliar os indicadores. Em segundo lugar o enfoque prático toma como base os dados da informação que foi coletada na cidade para diferentes fins, esta informação é processada e convertida numa nova informação e por ultimo é apresentada à comunidade para que sirva de elemento para tomada de decisões favoráveis a redução da vulnerabilidade.

A principal proposta do modelo de análise geral é a análise da vulnerabilidade de uma região para as três etapas do deslizamento avaliadas nesta metodologia, impacto, mitigação e recuperação, as quais acontecem em tempos diversos e precisam de diferentes estratégias para ser enfrentadas. Tendo em conta, a disponibilidade de dados para o analise da vulnerabilidade em cada fase. Tendo como inicio a identificação da informação requerida, ou seja, os indicadores e seus atributos específicos.

Foi criado um modelo geral para a análise da informação requerida para cada uma das três fases: de impacto, de mitigação e recuperação da ocorrência e da resposta ante o desastre. Isso nos permite medir a vulnerabilidade de uma cidade e a possibilidade de planejar e gerenciar, a fim de reduzir ou aumentar o conhecimento sobre a vulnerabilidade de uma região com base na informação.

O exercício analítico requer três elementos:

- Participação interdisciplinar de especialistas.
- Avaliação das informações com indicadores homogêneos (atendendo à natureza diferente das informações).
- Seleção dos avaliadores ou indicadores do valor dos elementos homogêneos.

Um projeto metodológico leva em conta estas considerações, iniciando com o projeto das pesquisas, capacitações com especialistas e o processamento da informação com base na qualidade dos dados espaciais e da conveniência do uso de avaliadores.

Para cada uma das fases ou etapas foi definido um conjunto de indicadores trazendo uma revisão da literatura e das metodologias existentes. A Tabela 2.2 mostra os indicadores avaliados, o peso de cada indicador que se refere à importância de cada indicador e se encontra avaliado de 1/3 para o menos importante, 1 para importante e 3 para o mais importante, e por último as características ou atributos de cada indicador para o cálculo do índice de vulnerabilidade física, a qual é objeto de estudo desta pesquisa.

Tabela 2.2. Indicadores a serem considerados para o desenvolvimento de um índice de vulnerabilidade (Modificado Botero-Fernandez, 2009).

ETAPA	INDICADOR	PESO	AVALIADOR
IMPACTO	Fragilidade das estruturas* • Atributos: Idade, Estado de manutenção, Número de pavimentos e Tipo de estrutura.	0,14	4,50
	Fragilidade cultural e de Patrimônio Histórico	0,03	4,67
	Fragilidade das Comunicações de Emergência	0,08	3,50
	Capacidade dos Serviços de Emergência	0,10	2,83
	Fragilidade dos Ativos Ambientais	0,03	1,30
	Lei e Política de Cumprimento	0,10	0,00
	Fragilidade Econômica Local	0,06	3,17
	Minorias / Grupos Especiais	0,03	2,83
	Capacidade da População	0,09	2,20
	Distribuição da População	0,14	4,6
	Fragilidade da População	0,05	2,93
	Fragilidade da Infra-estrutura de Transporte	0,07	3,67
	Fragilidade da Utilidade da Infra-estrutura	0,08	3,83
	Peso Ponderado		

ETAPA	INDICADOR	PESO	AVALIADOR	
MITIGAÇÃO	Capacidade das Comunicações de Emergência	0,10	4,92	
	Fragilidade dos Ativos Ambientais	0,03	1,30	
	Governança	0,09	4,62	
	Capacidade das Instalações de Saúde	0,13	3,72	
	Fragilidade económica das famílias	0,06	0,00	
	Minorias / Grupos Especiais	0,03	2,83	
	Preparação Municipal	0,11	4,00	
	Organizações e a capacidade administrativa	0,09	5,00	
	Estruturas comunitárias	0,06	0,00	
	Instalações de Abrigo	0,11	3,67	
	Coesão Social e Organização	0,07	2,40	
	Peso Ponderado			2,90
	RECUPERAÇÃO	Capacidade de Recuperação das Construções	0,11	0,00
Capacidade de Recuperação cultural e de Patrimônio Histórico		0,07	0,00	
Capacidade de Recuperação das Comunicações de Emergência		0,05	0,00	
Capacidade de Recuperação dos Ativos Ambientais		0,03	0,00	
Capacidade de Recuperação das Instalações		0,07	0,00	
Governança		0,05	4,17	
Capacidade de Recuperação económica das famílias		0,08	2,93	
Capacidade Económica Local		0,12	0,00	
Estruturas comunitárias		0,04	5,00	
Capacidade da População		0,06	0,73	
Fragilidade da População		0,07	3,67	
Instalações de Abrigo		0,07	3,89	
Coesão Social e Organização		0,06	0,87	
Capacidade de Recuperação da Infra-estrutura de Transporte		0,10	0,00	
Capacidade de Recuperação da Utilidade da Infra-estrutura		0,10	0,00	
Peso Ponderado			1,37	

*Os outros indicadores para efeitos da pesquisa não serão utilizados por tanto não precisam dos atributos.

O ideal seria que o município de Medellín tivesse todas as informações necessárias para a avaliação da vulnerabilidade, mas também é claro que nem todos os requisitos de informação são igualmente importantes quando são confrontadas com dados de má qualidade ou do estado do recurso limitado. Ante esta situação, os analistas podem, no entanto, realizar avaliações aceitáveis com algumas das informações, otimizando recursos e trabalhando progressivamente em avaliações de vulnerabilidade e principalmente sobre as estratégias para melhorar a informação de forma incremental ao longo do tempo. Neste caso, a medição dos

resultados de avaliação de vulnerabilidade com informação limitada ou pobre é muito importante, portanto, o uso dos avaliadores dos dados disponíveis, que são amostrados na última coluna da tabela 2.2.

A avaliação também foi realizada para cada indicador, que rendeu à conclusão de que os valores dos avaliadores inferiores a dois (2) indicam que, não se recomenda o uso das informações coletadas nas fontes do município, no caso de Medellín, para tomar decisões e algumas melhorias devem ser feitas; para valores entre dois (2) e três (3), as informações podem ser utilizadas para tomada de decisões, projetos estratégicos e diretrizes gerais e, finalmente, para valores entre quatro (4) e cinco (5), a informação resultante é adequada para a tomada de decisão, intervenção direta e definição do projeto. Com o acima exposto, e o resultado do avaliador indicado na Tabela 2.2 obtido para o indicador relacionado à vulnerabilidade física, o projeto para o caso de Medellín pode usar a informação coletada na municipalidade para calcular a vulnerabilidade física das estruturas. A fonte de informações sobre a cidade de Medellín, usada para obter os dados foi o banco de dados cadastrais da prefeitura da cidade.

Para cálculo do índice de vulnerabilidade física na fase de impacto foram normalizados os indicadores e os atributos através do método de máximos e mínimos para garantir que as unidades de medida sejam as mesmas. Com essa normalização, e o peso para cada indicador e a fragilidade das estruturas, é possível calcular o índice de vulnerabilidade física num intervalo de 0 (sem perda) para 1 (perda total) de acordo com a Equação 2.10:

$$V_E = PVII = BSF \times W_{BSF} \quad (2.10)$$

Onde V_E ou $PVII$ é o índice de vulnerabilidade física, BSF é um valor da fragilidade ou susceptibilidade das estruturas e W_{BSF} refere-se ao peso do indicador da fragilidade das estruturas. A abreviatura VE é utilizada para ter uma concordância na nomenclatura dos índices de vulnerabilidade que serão calculados, agora o $PVII$ é a nomenclatura original usada pelo autor.

Sendo coerentes com a equação 2.10, para calcular o índice de vulnerabilidade física é necessário o peso do indicador (W_{BSF}) que se obtém da tabela 2.2 para a etapa de impacto e um indicador da fragilidade das estruturas. O valor da fragilidade ou suscetibilidade das estruturas (BSF), que é obtido diretamente das árvores de decisão apresentados pelo autor para cada um dos tipos de estruturas nas figuras 2.4 e 2.5, reflete a interação complexa do tipo de estrutura, localização e as instalações. O valor deste indicador BSF inclui quatro atributos

que são a idade, estado de manutenção, o número de pavimentos e tipo de estrutura. Para atribuir o valor de manutenção foi usado o pior valor (mínimo) para o pior estado de conservação. Os tipos de estruturas predominantes nos projetos a serem avaliados na cidade de Medellín são a alvenaria estrutural (tipo 2) e estruturas de concreto armado (tipo 3). Segundo Botero-Fernández (2009) o valor obtido das árvores para o fator *BSF* encontra-se numa faixa de 1 até 5, sendo 1 o valor que indica menor fragilidade da estrutura e 5 o maior valor de fragilidade para a estrutura.

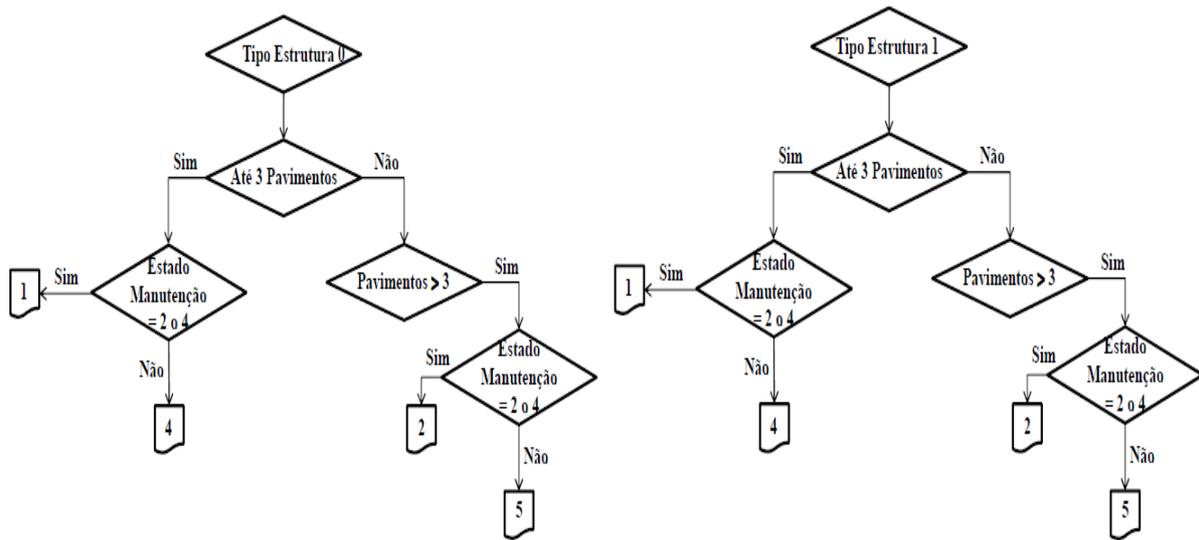


Figura 2.4. Árvore de decisão para estruturas tipo 0 e 1 (Modificado Botero-Fernández, 2009).

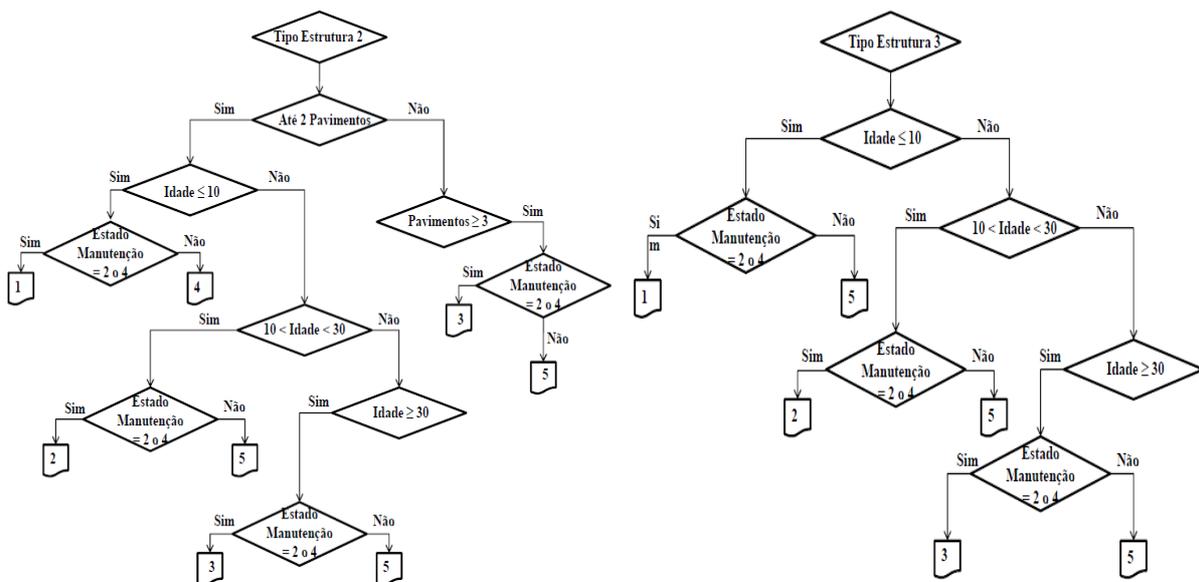


Figura 2.5. Árvore de decisão para avaliação do fator de susceptibilidade estrutural (*BSF*) para estruturas tipo 2 e 3 (Modificado Botero-Fernández, 2009).

O método utilizado para o cálculo dos fatores que influenciam a metodologia apresentada por Botero-Fernández (2009) pode ser usado para outras cidades, no entanto, este método não é único, pode haver outros métodos que se adaptem melhor aos dados disponíveis em cada cidade.

2.2.2.2 Metodologia de Marco Uzielli et al. (2008)

O método aqui proposto é a derivação de uma abordagem probabilística para a estimativa da vulnerabilidade regional de Uzielli et al. (2006), que fornece um quadro que permite a quantificação das incertezas nas avaliações da vulnerabilidade.

A definição de vulnerabilidade segundo ISSMGE depende tanto da ameaça que atua como do elemento vulnerável. Em consonância com esta abordagem, Uzielli et al. (2008) propõe um modelo quantitativo baseado na equação 2.11 que combina a severidade da ação do deslizamento e a capacidade dos elementos vulneráveis para resistir à ação de certo grau de severidade:

$$V = I \cdot S \tag{2.11}$$

Onde V significa índice de vulnerabilidade; I indica a intensidade do deslizamento e S indica a fragilidade dos elementos em risco. A intensidade e a fragilidade são expressas em termos adimensionais, com valores entre 0 e 1. Assim, em consonância com a definição de ISSMGE, o parâmetro definido pela equação 2.11 varia entre 0 a 1.

Nesta metodologia o autor usa extensivamente dois conceitos considerados fundamentais, a saber: fragilidade e intensidade. O primeiro faz referência à capacidade intrínseca dos elementos sob investigação para preservar sua integridade física e funcionalidade no curso da interação física com um deslizamento. O segundo tem a ver com a energia mobilizada pelo escorregamento a qual é função das seguintes variáveis: velocidade máxima, deslocamento total, deslocamento diferencial, espessura da massa em movimento, espessura dos depósitos após a cessação do movimento, a erosão, entre outros. A seguir, serão explicados em detalhe estes conceitos e será apresentada a metodologia para sua quantificação.

- **Fragilidade (S)**

Refere-se à fragilidade como a falta de capacidade intrínseca dos elementos sob investigação para preservar sua integridade física e funcionalidade no curso da interação física com um

deslizamento. Deve-se esclarecer que a fragilidade aqui conceituada é independente das características do seu agente, ou seja, do deslizamento (Uzielli et al., 2008).

O marco proposto por Uzielli et al. (2008) é capaz de se adaptar a qualquer modelo de fatores de fragilidade, desde que se encontre definido no intervalo de 0 (não frágil) até 1 (muito frágil). Modelos provisórios são propostos para o cálculo da susceptibilidade de uma série de categorias de elementos em risco. Estes modelos deverão ser considerados apenas como propostas iniciais as quais deverão ser melhoradas, calibradas e aperfeiçoadas, quando se dispuser de dados qualitativa e quantitativamente mais significativos ou quando da atuação como especialistas. A aplicação metodológica desses modelos ainda encontra-se a nível de pesquisas.

O primeiro passo é a avaliação das respectivas fragilidades como se observa nas equações 2.12 e 2.13.

$$S_{PST} = (V_E)^{3.2} \quad (2.12)$$

Onde: S_{PST} = Fragilidade das pessoas dentro das estruturas.

V_E = Índice de vulnerabilidade da estrutura (equação 2.10)

$$S_{PSN} = 1 - (1 - \xi_{PDN})(1 - \xi_{PIB})(1 - \xi_{AGE}) \quad (2.13)$$

Onde: S_{PSN} = Fragilidade das pessoas em espaços abertos e em veículos nas vizinhanças da estrutura.

ξ_{PDN} = Fator da densidade populacional. Presume-se que uma maior densidade populacional pode impedir a capacidade do indivíduo para escapar de um evento perigoso como os deslizamentos de terra (por exemplo, congestionamento das rotas de fuga, perigo causado pelo pânico geral, escapar de prédios altos, etc.). Este fator é relevante para deslizamentos de terra rápidos.

ξ_{PIB} = Fator renda populacional onde PIB per capita é o valor monetário total dos bens e serviços em um ano, dividido pelo número de pessoas no país. O modelo a seguir, encontra se baseado na referência do PIB per capita calculado pelo Banco Mundial de Desenvolvimento Humano em 2005 (<http://econ.worldbank.org/wdr/>).

ξ_{AGE} = Fator da idade. É essencialmente um fator de redução, que expressa a capacidade de resistência reduzida das categorias de idade amostradas na tabela 2.3, em comparação com uma faixa etária de referência (20-50 anos) em que a resistência máxima pode ser esperada.

Estes fatores são adimensionais e podem ser calculados de acordo com as equações 2.14, 2.15 e a tabela 2.3.

$$\xi_{PDN} = \begin{cases} 0.1 \cdot D_{Pi}^{0.25} & D_{Pi} \leq 10000 \\ 1.00 & D_{Pi} > 10000 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\xi_{PIB} = \begin{cases} 0.95 - 0.90 \left(\frac{PIB_C}{10000} \right)^{1.4} & PIB_C \leq 10000 \\ 0.05 & PIB_C > 10000 \end{cases} \quad (2.15)$$

Onde D_{Pi} corresponde à densidade populacional na área de interesse (habitantes/km²), segundo a equação 2.16. Este parâmetro foi desenvolvido no decurso da pesquisa, onde se observou que é necessário levar em conta a combinação da densidade populacional na zona de impacto. A densidade populacional da área de interesse (D_{Pi}) pode ser considerada como a soma da densidade populacional área do projeto ou condomínio ($D_{Pprojeto}$) com a densidade populacional da zona de pânico (D_p). A combinação dessas duas expressões resulta na equação 2.16.

$$D_{Pi} = \frac{(A_{panico} \times D_p) + (A_{projeto} \times D_{Pprojeto})}{A_{panico} + A_{projeto}} \quad (2.16)$$

O PIB_C é a renda média per capita dos habitantes e representa, junto com a densidade populacional, um indicador adequado para quantificar a vulnerabilidade das pessoas. Quanto maior a densidade populacional e menor PIB_C maior a tendência para que a fragilidade das pessoas aumente e, portanto, sua vulnerabilidade. O terceiro fator considerado, ξ_{AGE} , tem a ver com a capacidade de enfrentar e escapar de um deslizamento de terra e é proporcional à maturidade intelectual e a capacidade física da pessoa. Isto é um fator de redução que representa a menor resistência de diferentes faixas etárias em relação a um grupo de referência (20-50 anos), considerado de maior resistência. Este fator é muito importante em casos de deslizamentos rápidos (Uzielli et al., 2008). A Tabela 2.3 mostra tanto os valores do fator ξ_{AGE} como a distribuição percentual da população de Medellín em 2005.

Tabela 2.3. Valores do fator ξ_{AGE} segundo a idade da população.

Média da idade da população (anos)	ξ_{AGE}	Distribuição percentual da população*
0 – 5	1,00	9,12
5 – 10	0,90	9,76
10 – 15	0,70	10,20
15 – 20	0,30	9,48
20 – 50	0,00	43,60
50 – 55	0,10	4,81
55 – 60	0,30	3,74
60 – 65	0,50	2,81
65 – 70	0,70	2,28
70 – 75	0,90	1,78
≥ 75	0,95	2,42

*Dados para Medellín segundo DANE, 2005

Segundo o censo geral (DANE, 2005), a cidade de Medellín apresenta participação de cada uma das faixas etárias da tabela 2.3. Esse comportamento também foi observado nos 120 projetos estudados na cidade para esta pesquisa. Portanto, para esta pesquisa foi necessário buscar ou desenvolver uma fórmula que permitisse realizar uma média do fator idade (ξ_{AGE}) onde todas as faixas tivessem seu aporte correspondente com a percentagem de participação na população da cidade. Desse modo a média ponderada (MP) tornou se a melhor escolha, como se observa na equação 2.17.

$$\xi_{AGE} = MP = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_{AGE} \cdot \% \text{população}}{\sum_{i=1}^n \% \text{população}} \quad (2.17)$$

Onde: MP é a média ponderada. O numerador corresponde à soma total das multiplicações do fator idade (ξ_{AGE}) com seu respectivo percentual da população ($\% \text{população}$) e o denominador é a soma total do percentual da população ($\% \text{população}$).

- **Intensidade (I)**

A intensidade de deslizamentos de terra tem sido tratada quantitativamente usando-se uma variedade de parâmetros como velocidade máxima, deslocamento total, deslocamento

diferencial, espessura da massa em movimento, espessura dos depósitos após a cessação do movimento, erosão, entre outros (Uzielli et al., 2008).

Hungr (1997) definiu de forma concisa e eficaz a intensidade como "um conjunto de parâmetros espacialmente distribuídos que descrevem a destruição de um deslizamento de terra". Embora a definição qualitativa da intensidade possa ser facilmente aceita, uma definição unívoca quantitativa ainda não está disponível no momento. A intensidade do deslizamento de terra foi abordada e definida quantitativamente, usando uma variedade de parâmetros. Hungr (1997) também relata o uso da velocidade máxima, do deslocamento total, do deslocamento diferencial (em relação aos pontos adjacentes ao ponto em questão), da profundidade da massa em movimento, da espessura dos depósitos após a cessação do movimento, da profundidade da erosão, da descarga da unidade, da energia cinética por unidade de área, da pressão máxima, da pressão de impacto e da tensão normal ou cisalhante máxima na ou sob a superfície do solo.

Propõe-se a definição de um parâmetro para medir a intensidade das características cinética e cinemática da interação entre a massa deslizante e a área de referência. As características cinéticas estão relacionadas com a energia cinética da massa deslizante, ou seja, os danos causados pelo impacto sobre os elementos vulneráveis. A intensidade cinemática depende dos efeitos consequentes do tamanho do deslizamento de terra. O modelo geral proposto para a intensidade de um deslizamento de terra que atua em qualquer uma das categorias vulneráveis seja para pessoas ou estruturas, é apresentado na equação 2.18:

$$I = k_s \cdot [r_K \cdot I_K + r_M \cdot I_M] \quad (2.18)$$

Neste modelo k_s é a razão do impacto espacial; r_K é o fator de relevância cinética da categoria; r_M é o fator de relevância cinemática da categoria ; I_K é o parâmetro intensidade cinética (características da velocidade do deslizamento) da categoria e I_M é o parâmetro de intensidade cinemática (características de tamanho do deslizamento) da categoria. O fator k_s é a relação das áreas A_i que corresponde à área afetada pelo deslizamento de terra pertencente à categoria (pessoas ou estruturas) e A_t é a área total pertencente à categoria (pessoas ou estruturas).

Considerando-se os dados da Tabela 2.4 verifica-se que a maioria dos deslizamentos na cidade de Medellín apresenta movimentos de massa tipo deslizamento de detritos, que segundo Cruden & Varnes (1996) caracterizam-se por serem movimentos rápidos de altas velocidades (3-5 m/s), com grande poder de destruição total como pode ser observado na

figura 2.6. Verifica-se que além da quantidade de mortes e afetados pelos eventos, foi assumido para as estruturas que a intensidade tem o seu valor máximo (1) na área de impacto dos casos analisados.

Tabela 2.4. Eventos trágicos na historia de Medellín, produzidos por deslizamentos de massa (Modificado Aristizábal, 2006).

Movimento de massa (Classificação segundo Cruden & Varnes (1996))	Data	Localização	Prejuízos	
			Mortos	Afetados
Fluxo de lama	18 de Jun. 1927	<i>Rosellón (Envigado)</i>	18	25
Fluxo de lama	12 de Jul. 1954	<i>Media Luna (Santa Elena)</i>	>100	67
Deslizamento de detritos	25 de Jun. 1973	<i>La Manguala (S.A. Prado)</i>	13	24
Fluxo de lama	29 de Sep. 1974	<i>Santo Domingo (Medellín)</i>	>70	1.500
Fluxo de detritos	20 de Out. 1980	<i>San Antonio (Medellín)</i>	>18	250
Deslizamento de detritos	23 de Nov. 1984	<i>Santa María (Itaguí)</i>	10	200
Deslizamento de terra	26 de Sep. 1985	<i>Popular 2 (Medellín)</i>	6	60
Deslizamento de terra	27 de Sep. 1987	<i>Villatina (Medellín)</i>	>500	3.000
Fluxo de lama	4 de Feb. 2005	<i>El Barro (Bello)</i>	42	60
Deslizamento rotacional complexo	28 de Mai. 2007	<i>La Cruz</i>	8	>60
Deslizamento de detritos	31 de Mai. 2008	<i>EL Socorro (Medellín)</i>	27	>60
Deslizamento de terras	16 de Nov. 2008	<i>Alto Verde (Poblado)</i>	12	>12
Fluxo de terra	5 de Dez. 2010	<i>La Gabriela (Bello)</i>	85	>130

Por outro lado para se estudar a intensidade do deslizamento, relacionado com as pessoas fora das estruturas são necessários estudos sistemáticos para se determinar o fator de redução do nível de vulnerabilidade adequado. Isto porque as pessoas que se encontram fora das estruturas têm uma possibilidade maior de saírem ilesas do deslizamento. O fator é produto da relação entre as áreas A_i e A_t como se observa na equação 2.19 e que correspondem ao k_s da equação 2.18. Nesta as variáveis dentro do parêntesis pela intensidade e velocidade do deslizamento somam um (1).

$$I = \frac{A_{projecto}}{A_{panico}} \quad (2.19)$$

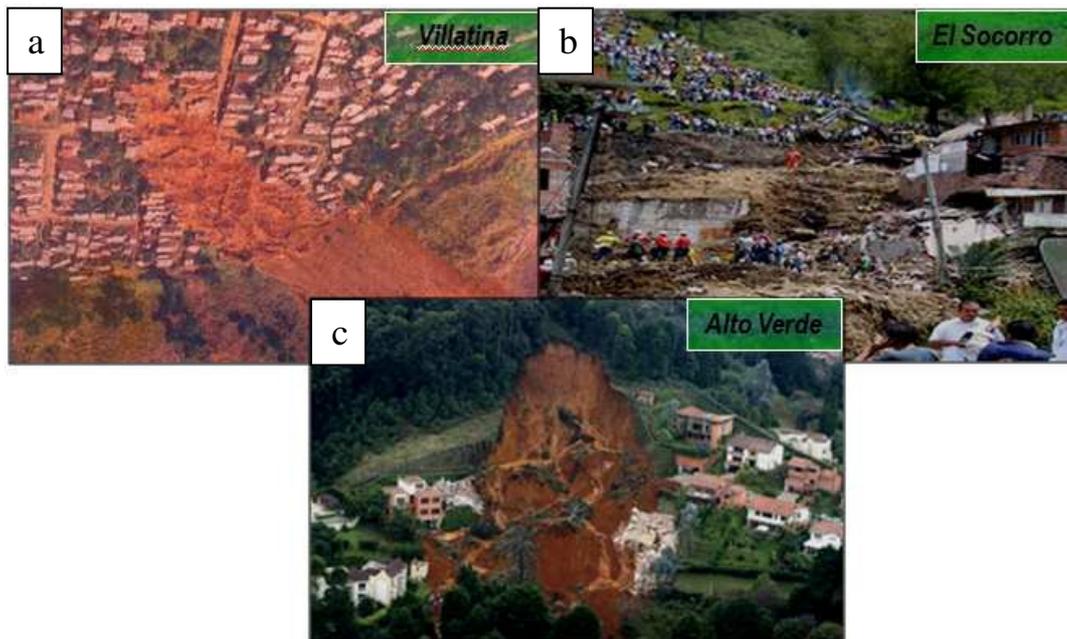


Figura 2.6. Nível de destruição dos movimentos de massa na cidade de Medellín, (a) e (c) UNAL, (1987) e (b) El Espectador, (2008).

A metodologia leva a uma análise profunda da informação geográfica específica no domínio espacial do município, objetivando a utilização adequada do uso do solo no âmbito de cada cidade.

Segundo Zhihong et al. (2010), o enfoque que os autores apresentam no trabalho obedece mais a projetos pontuais nos quais tenha acontecido o deslizamento de terra. Além disso, alguns dados, como a velocidade e a distância percorrida pelo deslizamento e as especificações das estruturas necessárias para o cálculo da vulnerabilidade nem sempre se encontram disponíveis. Portanto, deve se inferir os dados como, por exemplo, aqueles relacionados com a cinética e cinemática do deslizamento. Em cidades como Medellín a falta de dados é muito comum porque não se têm uma boa base de dados históricos que permitam inferir de uma maneira mais adequada as informações necessários relacionadas com o deslizamento (deslocamento, volume, velocidade, etc.), para a aplicação da nova metodologia proposta nesta pesquisa.

2.3 RISCO

Conforme discussão anterior não há vulnerabilidade sem ameaça. Também não há ameaça para um elemento, pessoa ou sistema se eles não estão expostos ao potencial campo de ação da ameaça. Em outras palavras, a ameaça e a vulnerabilidade são interdependentes, mutuamente condicionantes, embora tratadas, conceitualmente, de forma independente. Tal

tratamento só encontra justificativa nos propósitos metodológicos, tendo em vista uma melhor compreensão do risco. Por tanto o risco pode ser definido de forma quantitativa, como a probabilidade de que um evento adverso ocorra multiplicado pelas consequências da ocorrência do evento (ISSMGE, 2004).

Assim, quando se altera um ou ambos os componentes do risco, altera-se, automaticamente, o próprio risco. No entanto, existem muitos casos, onde não é possível intervir na ameaça para reduzir o risco, mais existem alternativas para se alterar a vulnerabilidade dos elementos expostos. Esta é a razão pela qual muitas vezes na literatura se enfatiza o estudo da vulnerabilidade e a necessidade de reduzi-la através da prevenção e mitigação, mas o que realmente se almeja é a redução do risco.

Desde o ponto de vista físico, o “risco específico” é a perda esperada durante um período de tempo e pode ser expresso como uma percentagem do valor ou custo de reposição do elemento em risco. Normalmente, o risco específico é representado em termos de perda de vidas, número de pessoas afetadas ou perdas econômicas. (Cardona, 2001)

Historicamente, tem sido comum que o risco seja avaliado apenas em termos físicos, dado que a vulnerabilidade social é difícil de ser avaliada em termos quantitativos. Além disso, tem sido aceita como válida a estimativa do risco mediante três etapas, a saber: (1) estimativa da ameaça ou perigo; (2) avaliação da vulnerabilidade; e (3) aplicação de estimativas de risco como resultado da ligação dos dois parâmetros acima. (Cardona, 2001)

Existem várias abordagens para a avaliação do risco e particularmente o risco geotécnico, conforme abordam Cardona (2001), Einstein & Souza (2006), entre outros. Porém, ainda não existe um método completamente aceito, estando este tema em permanente atualização. Podem ser destacadas abordagens qualitativas, holísticas e quantitativas. (Hidalgo-Montoya, 2009)

Como abordagem holística é aqui citada, Cardona (2001), que discute em profundidade os conceitos de ameaça, vulnerabilidade e risco, considerando aspectos filosóficos e históricos. De acordo com a discussão do autor, a definição matemática do risco é dada pela equação 2.20, na qual R_{ie} é o risco associado ao elemento e , no qual podem ocorrer prejuízos quando se produza um evento de intensidade i durante um tempo de exposição t . Na mesma equação 2.20 V_e é a vulnerabilidade do elemento e e A_i é a ameaça do evento de intensidade i .

$$Ri_e | _t = f(A_i, V_e) | _t \quad (2.20)$$

Com relação aos métodos quantitativos se destaca a proposta de Einstein & Souza (2006), conforme a qual esse risco pode ser definido (equação 2.21) como o produto da probabilidade de ocorrência de um evento catastrófico ($P[T]$), ou seja, a ameaça, pelo custo das perdas $u(C)$, isto é, a vulnerabilidade, observando-se que C é um vetor de atributos quando se utilizam uma abordagem multi-critérios para sua determinação.

$$R = P[T] \times u(C) \quad (2.21)$$

Tanto as avaliações qualitativas como as quantitativas são apropriadas, dependendo da precisão desejada, da natureza do problema e da compatibilidade entre a qualidade e a quantidade dos dados disponíveis. Geralmente, para uma grande área onde a qualidade e a quantidade de dados são pobres, uma avaliação qualitativa do risco pode ser mais aplicável, enquanto que para um talude de um lugar específico a análise pode ser feita pelo método convencional de equilíbrio limite; uma avaliação quantitativa do risco será a melhor escolha (Dai et al, 2002). A última abordagem representa o caso da presente pesquisa, na qual, tal como já foi mencionado, são avaliados individualmente diferentes taludes de projetos urbanísticos reais na cidade de Medellín, sendo que cada um deles é um caso particular, bem documentado, específico e que pode ser analisado usando métodos convencionais de equilíbrio limite.

Em quaisquer das abordagens a variabilidade dos parâmetros e as incertezas nos processos fazem com que na avaliação do risco seja indispensável o gerenciamento da informação, de modo que seja reduzido o grau de incerteza. (Hidalgo-Montoya, 2009)

2.3.1 Elaboração de gráficos de avaliação do risco

O termo risco social refere-se à sociedade em geral, empresas ou instituições responsáveis por alguma atividade específica onde os prejuízos totais devido a um determinado risco são primordiais. Para a compreensão do conceito é necessário introduzir o termo risco coletivo que também é conhecido como o risco total na avaliação de risco de deslizamentos de terra (Fell, 1994). Em relação aos riscos de mortalidade, o risco coletivo corresponde ao número anual de mortes esperado. Isto depende da probabilidade de ocorrência do evento perigoso, bem como do tamanho ou intensidade do evento (Diamantidis et al, 2006). Na maioria dos estudos práticos, o risco social de uma instalação é concebido sob a forma de uma curva numérica chamada cartas $F-N$ (F a frequência de acidentes, N representa o número de vítimas

mortais) nas quais se plota a probabilidade de ocorrência de uma falha em função das consequências da mesma.

A figura 2.7 representa um gráfico típico $F-N$, apresentado inicialmente por Baecher (1982) e que tem sido referenciado posteriormente por Whitman (1984, 2000) no qual se apresenta a probabilidade anual de falha das diferentes atividades em função das consequências quantificadas como custos (milhões de dólares) e em perdas de vidas.

Observa-se nesta figura que existe um limiar de aceitação e outro de aceitação marginal e que na medida em que se incrementa a capacidade de causar consequências econômicas ou de perdas de vidas, a probabilidade de ocorrência tende a se reduzir. (Hidalgo-Montoya, 2009)

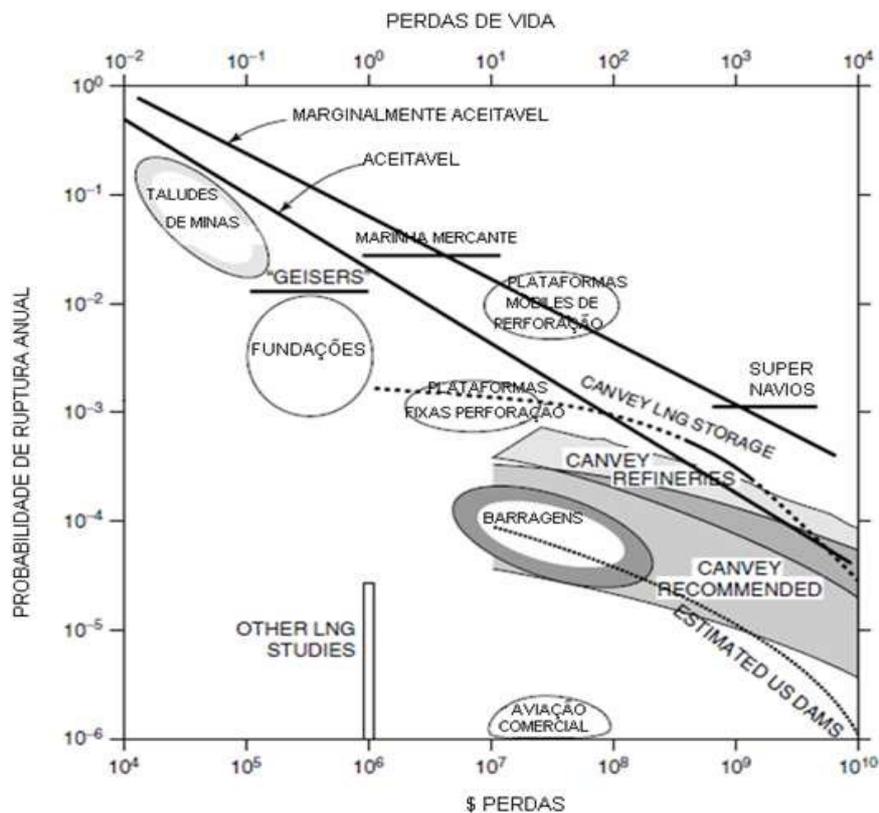


Figura 2.7. Carta $F-N$ mostrando o risco médio anual para uma variedade de obras civis tradicionais e outros projetos de grande porte (Adaptado de Baecher & Christian, 2003).

Segundo Diamantidis et al. (2006) as curvas $F-N$ constituem a base para o desenvolvimento dos critérios de aceitabilidade social e dos níveis de tolerância do risco. Entende-se por risco aceitável, aquele nível de risco que um indivíduo ou comunidade estão dispostos a aceitar sem investir nenhum recurso na diminuição do mesmo. Já o risco admissível ou tolerável, é o nível de risco até o qual o indivíduo ou comunidade estão dispostos a aceitar com certa quantidade

de investimento (Hidalgo-Montoya, 2009). No entanto, deve-se notar que as curvas $F-N$ são frequentemente obtidas com base em dados históricos, e, portanto, representam a situação atual da sociedade, ou seja, o risco aceito na comunidade. Conseqüentemente poderia ser de maior utilidade a obtenção de curvas $F-N$ mostrando os níveis de risco aceitáveis para as construções ou empreendimentos futuros das cidades.

Como resumo da metodologia explicada no presente capítulo, foi elaborado um fluxograma que mostra o seu passo a passo (Figura 2.8):

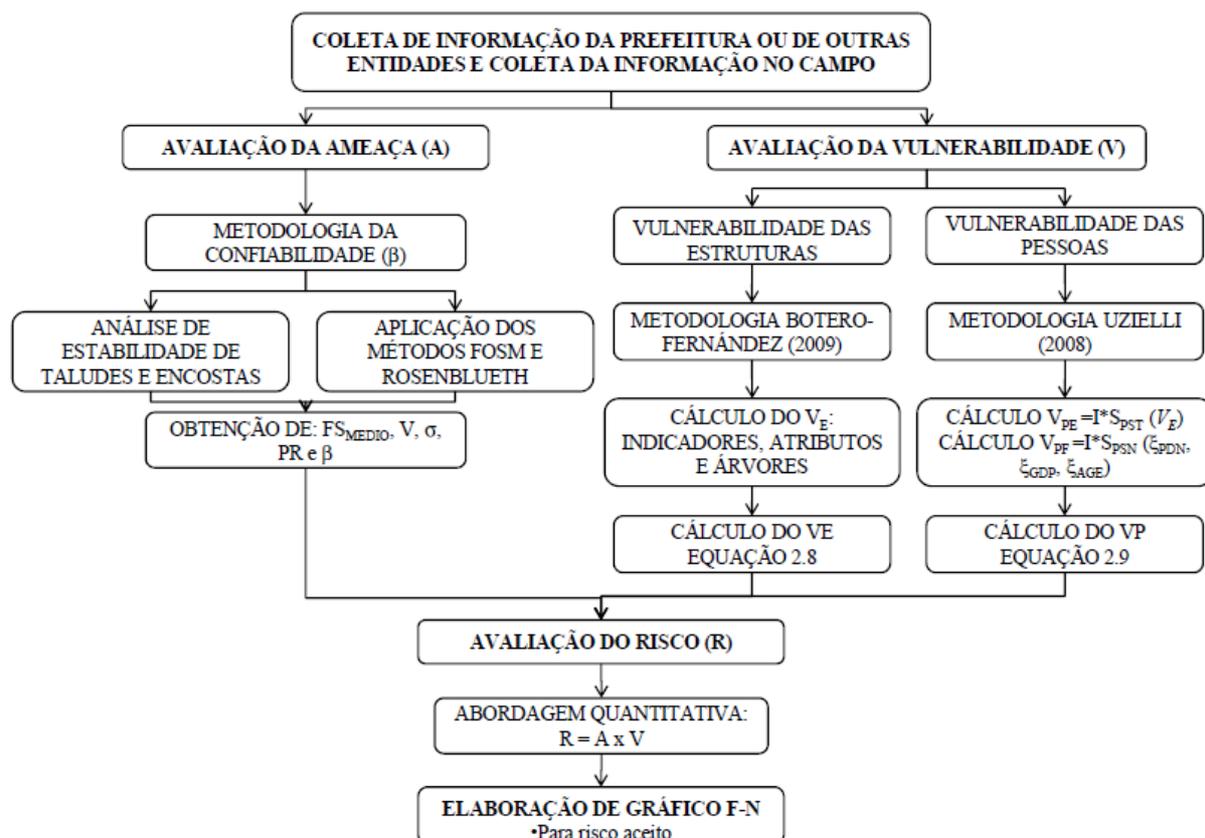


Figura 2.8. Resumo da metodologia para o cálculo do risco total.

2.4 COMPARAÇÕES ENTRE O RISCO TOLERADO E OS CÓDIGOS INTERNACIONAIS

Na engenharia, como em outros aspectos da vida, diminuir o risco geralmente significa custos mais elevados ou maiores investimentos por parte das entidades governamentais. Portanto, a sociedade encontra-se enfrentando serias perguntas, tais como: O quanto seguro é o que se considera suficientemente seguro? O que é risco aceitável? Starr e Whipple (1980) indicam que existe implícita, na expressão “risco aceitável” outra pergunta, aceitável para quem?

A aprovação do Governo é geralmente necessária para estabelecer a legitimidade dos métodos utilizados para fazer análises de risco, mas o consenso público é necessário para que sejam satisfatórios. Nos Estados Unidos, por exemplo, o governo não tem definido diretamente os níveis de risco aceitáveis para os diferentes projetos de infra-estrutura civil, ou mesmo para a maioria das atividades reguladas. O ajuste dos níveis de risco "razoável" é obrigação das agências reguladoras, como a Agência de Proteção Ambiental, a Comissão Reguladora Nuclear, entre outras. Os procedimentos das agências reguladoras para separar os riscos razoáveis de riscos excessivos variam desde altamente analíticos até procedimentos qualitativos.

As agências de segurança do governo europeu têm trabalhado intensamente no desenvolvimento de guias de risco quantitativo para obras públicas. Na Grã Bretanha o poder executivo para segurança e saúde publicou as diretrizes para o risco aceitável em 1982 (HSE, 1982). Estas foram publicadas como diretrizes quantificadas em meados da década de 1990 (HSE 1991, HSE 1992) e, posteriormente, foram modificadas e aprovadas pelo Departamento de Planejamento do Governo de Hong Kong (1994), como é mostrado na figura 2.9. Da mesma forma, o governo holandês publicou algumas diretrizes de risco no final de 1980 (Figura 2.10) (Versteeg, 1987).

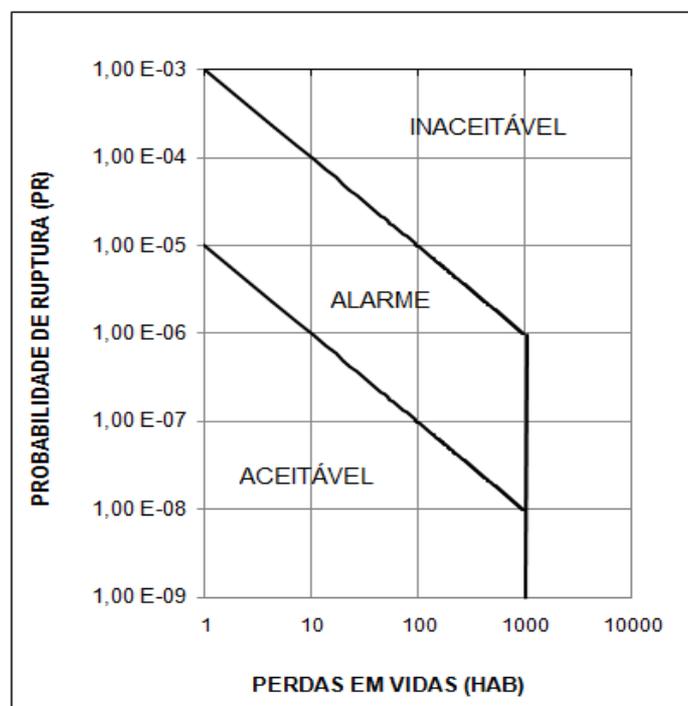


Figura 2.9. Diretrizes do risco social aceitável para Hong Kong, Departamento de Planejamento (Modificado Beacher et al, 2003).

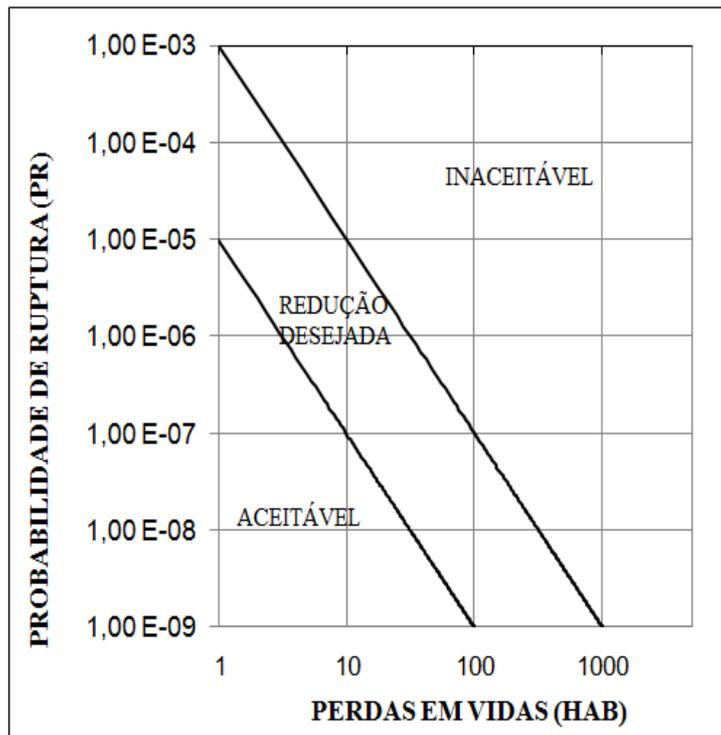


Figura 2.10. Governo da Holanda, critério do grupo de risco (Modificado Versteeg, 1987).

A inclinação das linhas de fronteira entre as diferentes zonas de aceitação de risco expressa um critério de decisão que se encontra entre um risco do tipo baixa probabilidade/alta consequência e um risco do tipo alta probabilidade/baixa consequência. A inclinação da linha de fronteira está relacionada com a rigorosidade do critério de tomada de decisões sobre o risco. Nota-se que a inclinação das fronteiras na carta de Hong Kong é duas vezes menor que a inclinação (na escala log-log) da carta da Holanda. Note-se adicionalmente que, no caso de Hong Kong existe uma fronteira adicional (linha vertical na carta da Figura 2,9) que limita em um valor de 1000 o número máximo de mortes, independentemente do valor da probabilidade de ruptura.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DO RISCO TOTAL EXEMPLO BALCONES DE MIRAFLORES

Neste capítulo são apresentadas as generalidades sobre a área de aplicação (Município de Medellín, Colômbia), além da descrição geral de um dos 120 projetos avaliados, que serve para exemplificar a metodologia apresentada no capítulo 2.

3.1 GENERALIDADES SOBRE A CIDADE DE MEDELLÍN

O Município de Medellín encontra-se localizado na zona noroeste da Colômbia aproximadamente a 1550 m de altitude, na chamada Cordilheira Central, nos Andes Colombianos (Figura 3.1). Com uma população de mais de 2.214.494 habitantes é considerada a segunda maior cidade do país (CENSO, 2005).

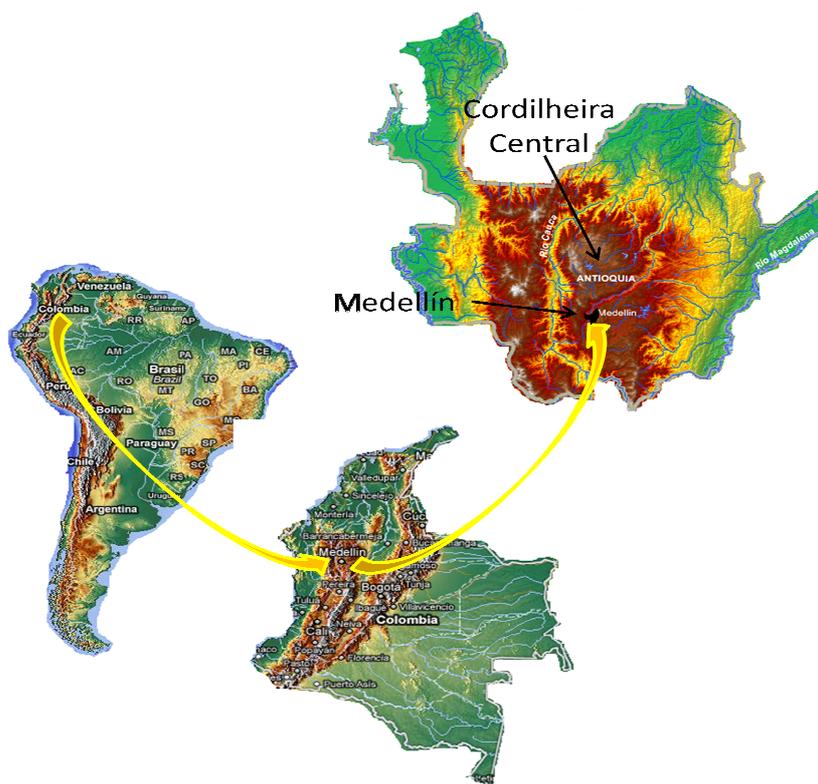


Figura 3.1 Localização da área de estudo (Pueblos 2.0, 2011).

A área urbana (110 km²) ocupa grande parte da área total do município. Encontra-se no chamado Vale de Aburrá, que é cruzado pelo rio Medellín em sentido S-N. O desenvolvimento urbano foi concentrado na zona baixa e mais plana do vale, porém o alto

crescimento da cidade nas últimas décadas induziu os estratos populacionais de baixa renda a impulsionarem a expansão da cidade na direção das encostas. (Ver Figura 3.2) (García, 2004).



Figura 3.2 Vista parcial da cidade de Medellín (Flickr, 2011).

No Vale de Aburrá, além de Medellín, estão localizadas mais nove cidades, que conformam a chamada Área Metropolitana do Vale de Aburrá.

O vale drena todas as suas águas em direção ao rio Medellín que nasce ao sul da cidade, continua numa direção aproximada Sul-Norte e desemboca no rio Porce. O rio nasce na cota 3000 m e termina na cota 1150 m. Vale salientar que a área geográfica conformada pela bacia de drenagem não coincide totalmente com a divisão político-administrativa do Município de Medellín (e as demais cidades próximas), mas a maior parte do território está na bacia, incluindo a área urbana (García 2004).

3.1.1 Geologia

Segundo Garcia (2004), embora a área estudada seja relativamente pequena em termos geológicos, a grande variedade geológica, geotécnica e geomorfológica fazem a caracterização complexa. Para definir as propriedades geológicas foi elaborada uma base de dados com a informação de 940 perfurações maiores de 10 m anteriores ao projeto. Interpretaram-se fotografias aéreas existentes na escala média 1:60000 e foram feitas visitas de campo. Como parte do projeto de microzoneamento foram executadas 32 perfurações e ensaios tipo SPT , assim como ensaios de laboratório com as amostras recuperadas (SINPAD,

1999). O mapa de geologia disponível é o resultado da avaliação de toda essa informação (García, 2004). O mesmo pode ser observado no anexo A (mapa A-1).

Na área estudada ocorrem diferentes litologias que incluem rochas metamórficas como xistos, anfibolitos e gnaisses; rochas ígneas como granodioritos, gabros e basaltos; rochas vulcanossedimentares e depósitos recentes de origem aluvial e coluvial. Foram estudados a rocha fresca e os perfis de meteorização. Para definir o perfil de meteorização foi utilizada a classificação proposta por Anon (1981), citado por Dearman (1991) e modificado por García, (2004) (Tabela 3.1). Esta classificação foi usada na descrição de campo dos perfis locais de cada projeto analisado nesta pesquisa, cujos resultados são apresentados em um capítulo posterior.

Tabela 3.1. Perfil de meteorização da área de Medellín segundo Anon (1981) citado por García (2004).

Grau	Crítério Limite	Descrição
VI	Textura Ausente	A rocha esta descolorida e transformada completamente em solo. O solo perdeu a estrutura original da rocha. Existe grande mudança no volume.
V	Textura original presente e núcleos ausentes	A rocha esta transformada em solo, mas conserva a textura original. É possível encontrar blocos de rocha. As propriedades do solo dependem da natureza da rocha original. Pode ser escavada sem equipamento pesado.
IV	Núcleos de rocha presentes	Rocha descolorida, as descontinuidades podem estar abertas. Menos de 50% do material é rocha. A recuperação varia entre 10% e 50%, o RQD entre 10% e 30%.
III	Relação Solo / Rocha 50/50. Solo Presente.	Rocha descolorida, as descontinuidades podem estar abertas e as superfícies descoloridas. A percentagem de rocha varia entre 50% e 90%, a recuperação varia entre 50% e 100%, o RQD varia entre 30% e 90%.
II	Solo e Descoloração Presentes	A rocha está ligeiramente descolorida perto das descontinuidades, mais de 90% é rocha, a recuperação é de 100%, RQD de 90%.
I	Descoloração Ausente	A rocha não apresenta descoloração, recuperação 100%, RQD de 95%.

De acordo com Garcia (2004) dentre as rochas metamórficas presentes na região podem-se citar:

- Xistos (Pes): dentro desta classe se agrupam xistos quartzo-sericíticos, cloríticos, grafitosos e moscovíticos. As rochas mais abundantes são os xistos quartzo-sericíticos. Microscopicamente apresentam textura foliada indicada por orientação paralela em lamelas micáceas. Desenvolve perfis de solo residual de grão fino, localmente arenoso com 5m de espessura média;
- Anfibolitos (Pam): os anfibolitos do lado ocidental do vale apresentam textura isotrópica e bandeada. Constituem as colinas isoladas existentes neste lado. Os anfibolitos do lado oriental apresentam textura gnáissica bem formada. Geralmente apresentam solos residuais silte argilosos de cor amarelo a vermelho. Com espessura de solo de 30 m;
- Gnaisse da Iguaná (Kpni): gnaisse feldespático com quartzo. Apresenta clara orientação. Desenvolve perfis de meteorização de solos residuais silto-argilosos de cores claras entre 15 m e 40 m de espessura.

De acordo com Garcia (2004) dentre as rochas ígneas tem-se:

- Dunitos de Medellín (Kdm): de cor negra a verde escura ou marrom. Quando meteorizadas apresentam intenso fraturamento que é mais forte perto das falhas. A espessura do solo residual depende do grau de fraturamento, a declividade e as condições hidrológicas locais, variam entre 10 e 40 m;
- Metagabros del Picacho (Kmp): são rochas que sofreram efeitos metamórficos, dinâmicos e térmicos, sem chegar a converter-se em anfibolito. Afloram na região NW em pequenas áreas. Apresentam uma composição de hornblenda (65%) e plagioclasio (35%). Normalmente afloram muito meteorizados;
- Stock de Altavista (Kda): aflora em grande parte da região W do rio Medellín. Sua composição é variável desde andesítica até granodiorítica e encontra-se altamente meteorizado atingindo espessuras de até 45 m;
- Stock de gabroico de San Diego (Kgd): está constituído por rochas ígneas plutônicas com variações em composição e textura. Apresenta espessuras de até 50 m de solo residual silte argiloso;
- Stock de Las Estancias (Kce): formado por rochas ígneas plutônicas ácidas a intermediárias, principalmente quartzodioritos, com textura fanerítica de granulometria de

média a grossa. Encontra-se fortemente meteorizado com desenvolvimento de solos residuais siltearenosos que podem alcançar até 30 – 35 m de espessura.

- Gabros de Romeral (Kgr): formam um corpo alargado de direção norte-sul, limitado por contatos em falha com as unidades adjacentes. Em nível microscópico contem plagioclásios, piroxênios-anfibólios e minerais acessórios. Grande parte da superfície aflorante encontra-se em estado saprolítico, que atinge até 40 m de profundidade.
- Peridotitos (Kur): incluem-se serpentinitos e dunitos serpentinizados fortemente fraturados em contato por falha com unidades adjacentes. Apresentam-se em regiões de alta declividade, atingindo pouca espessura de solo residual.

Dentre as rochas vulcânicas sedimentares do Cretáceo temos as do Complexo de Quebradagrande que se divide em dois membros: o vulcânico e o sedimentar. O membro vulcânico (Kvqg) litologicamente corresponde a espilitos, basaltos e andesitos. Por efeitos do falhamento se encontram muito fraturadas e, em ocasiões, com estruturas xistosas. Os solos são silte-argilosos de cor avermelhada a amarela. Apresentam espessuras de solo residual de até 30 m (García, 2004).

No membro sedimentar (Ksqg) estão os xistos silíceos negros compostos por cristais de quartzo angular, em uma massa silícea com muito material orgânico e manganês. São de origem marinha (García, 2004).

De acordo com Garcia (2004) dentre os depósitos recentes temos:

- Depósitos de fluxo de solo e/ou detritos (Qft/e): aparecem dispersos sobre grandes extensões no Vale de Aburrá, depositados sobre uma base ígnea – metamórfica ou sobre depósitos mais antigos. Estão constituídos por blocos de diferentes tamanhos com um grau de meteorização entre moderado a alto. A matriz é argilos-siltosa ou silto-argilosa de cores claras como o pardo, cinza ou amarelo. Sua gênese se encontra associada à desestabilização das encostas afetadas pela fratura das rochas, sismos e alta pluviosidade que ajudaram a deslocar os materiais saprolíticos encosta abaixo.

A diferença entre o fluxo de solo e o de detritos é a relação matriz / blocos. (mais de 50% matriz = fluxo de solos). Estão acompanhados de um número romano entre I a VI que indica o estado de meteorização segundo a classificação da Tabela 3.1, mas não necessariamente todos

os perfis de meteorização estão presentes. Quando o fluxo é de solos unicamente se denomina Qft (García, 2004);

- Depósitos Aluviais (Qal). Depósitos de fundo de vale gerados pela evolução do rio Medellín e alguns dos seus afluentes. A espessura é muito variável (15 m a mais de 200 m), o que reflete a irregularidade topográfica da base rochosa do vale. Estão compostos por argilas, siltes, areias e seixos grossos em pacotes de continuidade horizontal variável. A graduação passa normalmente dos mais finos em superfície aos mais grossos em profundidade;
- Depósitos Aluvio-torrenciais (Qat). São depósitos gerados por algumas correntes de água durante inundações torrenciais, nas quais a alta energia da água transporta materiais de granulometria heterogênea. Os blocos de diferentes tamanhos estão dispostos de maneira caótica com uma matriz silte-arenosa úmida e solta. A espessura varia de 10 até 20 m.

Os depósitos alúvio-torrenciais estão acompanhados de um número romano entre I a VI que indica o estado de meteorização segundo a classificação da Tabela 3.1, mas não necessariamente todos os perfis de meteorização estão presentes (García, 2004).

No mapa de geologia estão incluídas as estruturas mapeadas na região estudada. Correspondem a falhas e lineamentos das rochas. Possivelmente não foi mapeada uma maior quantidade de estruturas porque os solos residuais e depósitos escondem as ditas feições (Anexo A-1) (García, 2004).

3.1.2 Geomorfologia

Segundo García (2004) o vale de Aburrá é uma das feições geomorfológicas mais destacadas da parte norte da cordilheira central colombiana. Trata-se de uma depressão relativamente larga, com um pouco mais de 1000 m de profundidade com respeito a um sistema de altiplanos que lhe limitam pelos lados oriental e ocidental. Alguns pesquisadores acreditam que o vale foi formado por processos de erosão, tectonismo, outros que é o produto do fluxo de um vale antigo. No vale foram reconhecidos quatro grandes conjuntos de unidades geomorfológicas, algumas delas foram divididas em sub- unidades:

- Escarpas principais;
- Sistema de cristas e colinas;
- Superfícies suaves em depósitos de encosta principalmente;

- Superfícies desenvolvidas em depósitos fluviais.

A definição das unidades geomorfológicas foi feita segundo a declividade, a morfologia, a existência de mudanças ou rupturas do conjunto e o grau de incisão da drenagem. A cartografia geomorfológica foi realizada na escala 1:25000. Foram utilizadas fotografias aéreas (1:60.000) mas não se utilizaram mapas de declividade nem perfis sistemáticos. A definição das unidades foi feita no campo e os limites foram traçados por fotointerpretação (AREA, 2002).

- Escarpas principais e secundárias (Ep e Es): são superfícies de forte inclinação, igual ou maior a 45°, localizadas sempre no limite entre o sistema de altiplanos e o vale;
- Sistema de cristas e colinas desenvolvidas em materiais saprolíticos como resultado da dissecação dos depósitos de encosta e fluviais. A forma das cristas desta unidade pode variar bastante. Predominam as cristas estreitas, de topo agudo a ligeiramente convexo. As encostas associadas são de ângulo forte (maior que 30°) e planos. O grau de incisão das drenagens é moderado a baixo. Neste grupo se diferenciam as subunidades apresentadas a seguir:
- Cristas altas (Fa): é um conjunto de cristas alongadas, preferentemente em direção ao eixo fluvial, que começam na base da escarpa principal ou nos altiplanos. Limitam na parte inferior com as cristas médias, ou com colinas;
- Cristas médias (Fm): constituem um conjunto de cristas alongadas e estreitas, preferentemente em direção ao eixo fluvial, embora nem sempre. Limitam-se com a unidade de cristas altas ou na base de algumas escarpas secundárias. Limitam na parte inferior como cristas baixas ou com colinas;
- Cristas baixas (Fb): são cristas de comprimento bem menor do que as das categorias anteriores; com orientação variável sem tendência preferencial. São predominantemente agudos e o grau de dissecação das drenagens é considerado moderado a baixo;
- Cristas agudas (Ch): o nome é referente ao agrupamento de um conjunto de cristas alongadas que se diferenciam das anteriores por estenderem-se desde a parte alta até o centro do vale;
- Colinas médias (Cm): esta unidade se localiza nas partes inferiores do vale, comumente entre a terminação das cristas e o início das unidades fluviais ou de superfícies suaves em depósito. Diferenciam-se das cristas por terem forma arredondada em planta e o topo convexo a ligeiramente plano;

- Colinas baixas (Cb): similares às anteriores mas estabelecem contanto direto com as superfícies suaves de depósitos de encostas e os depósitos aluviais;
- Colinas isoladas (Cr): agrupa colinas que se destacam sobressaindo na paisagem do vale, de formas diversas e provavelmente com gêneses diferentes;
- Depósitos de encosta suaves (Vsd). São superfícies bastante contínuas, de inclinação suave a moderada, que têm sido modeladas em depósitos de encosta. Alguns depósitos produto de inundações torrenciais e leques aluviais que estão acumuladas nas encostas do vale em diferentes épocas e com diferentes graus de meteorização. Estão caracterizadas por declividades retilíneas a ligeiramente côncavas que ocupam zonas de média a baixa encosta do vale. O grau de dissecação é de leve a moderado e as drenagens podem ser fortemente encaixadas. Na parte inferior se limitam com unidades aluviais ou com o eixo fluvial;
- Superfícies aluviais (Al). É uma unidade extensa, presente ao longo de todo o vale, variando na largura. É formado por depósitos aluviais do rio Medellín e seus afluentes principais. Comumente é plana ou com declividade suave no mesmo sentido da correnteza.

O mapa geomorfológico (A-2) é apresentado no anexo A-2 (García, 2004).

3.2 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO EXEMPLO: CONDOMÍNIO BALCONES DE MIRAFLORES

Os projetos analisados, um total de 120, relativamente novos, a idade da estrutura esta entre 10 e 20 anos, portanto, a manutenção realizada a os prédios é mínima. Os projetos encontram-se no uso de solo residencial, os taludes a serem avaliados são artificiais, ou seja, intervindos pelo home, realizados no momento da construção das estruturas ou do projeto, também, estão localizados dentro das áreas críticas de estabilidade de taludes de acordo com as informações obtidas a partir de estudos locais de ameaça realizados pela municipalidade na cidade de Medellín (UNAL, 2008), estes 120 projetos se encontram localizados na figura 3.3 sobre a carta de ameaça.

A metodologia geral usada para a elaboração do mapa de ameaça é baseada na ferramenta computacional chamada redes neurais artificiais (RNA), que pode ser vista como uma abordagem especial da estatística fundamentada, que é uma análise das relações funcionais entre os fatores predisponentes e a distribuição dos movimentos massa (AMVA, 2008).

As diferentes etapas da metodologia utilizada para a obtenção do mapa estão descritas abaixo:

- Coleta da Informação de fatores predisponentes, detonantes e movimentos de massa;
- Criação de um banco de dados para modelagem com redes neurais artificiais (RNA);
- Criação, preparação e validação do modelo neural.

Finalmente, a informação foi obtida a partir do RNA. O sistema de informações geográficas (SIG) produz um mapa de ameaça de deslizamento de massa, sujeito a vários níveis de validação antes de ser aceito. A Figura 3.4 mostra um esquema de como é a combinação do SIG com o RNA, dando uma idéia mais clara de qual é função de cada uma das partes. O SIG organiza, distribui, apresenta, e compila toda a informação temática disponível e gera novos mapas com a informação produzida. O RNA revela as conexões entre todas as variáveis envolvidas para cada uma das células do território, a fim de determinar a probabilidade de ocorrência de um fenômeno particular, neste caso os movimentos de massa.

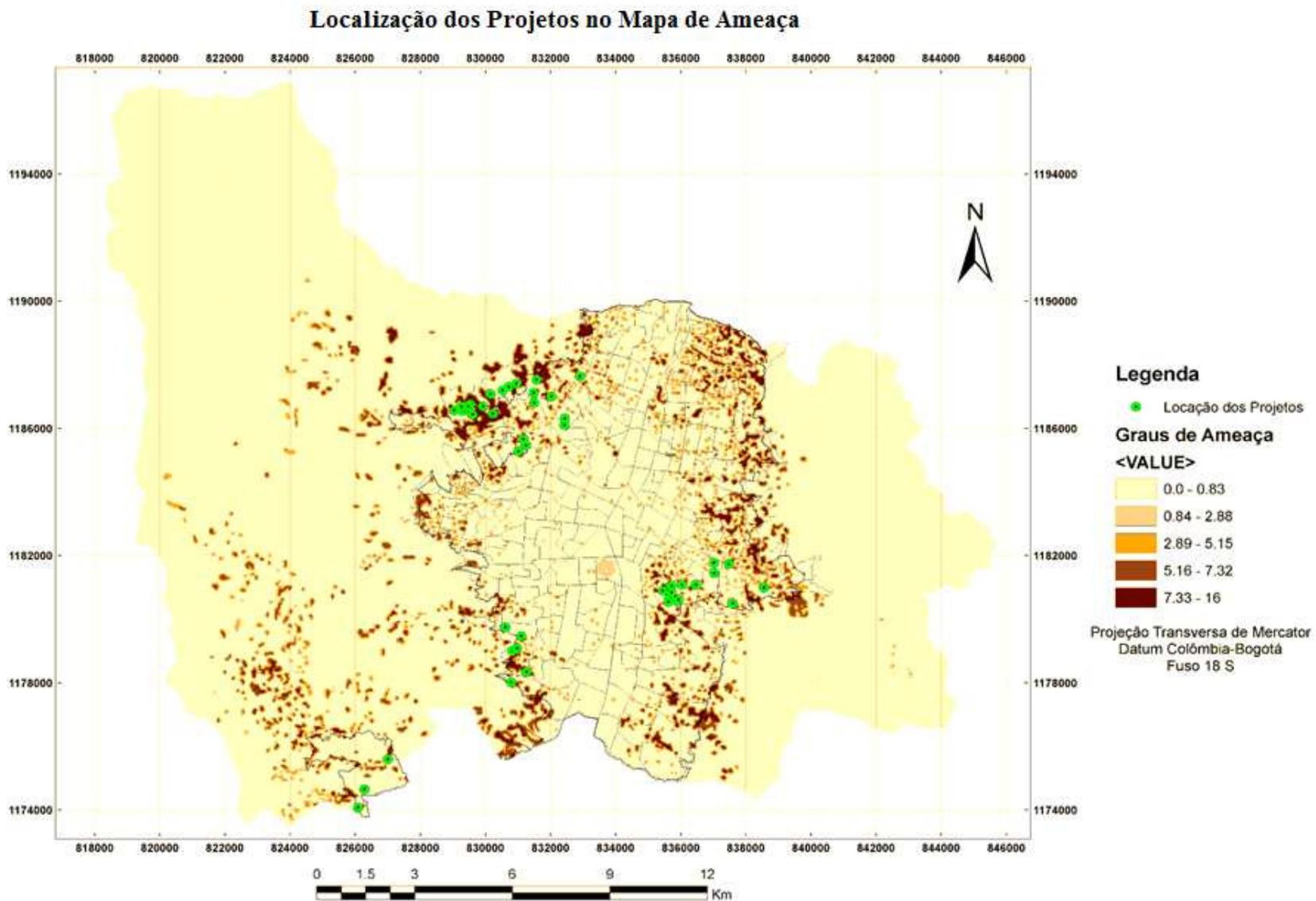


Figura 3.3. Localização dos projetos no mapa de ameaça da cidade de Medellín.

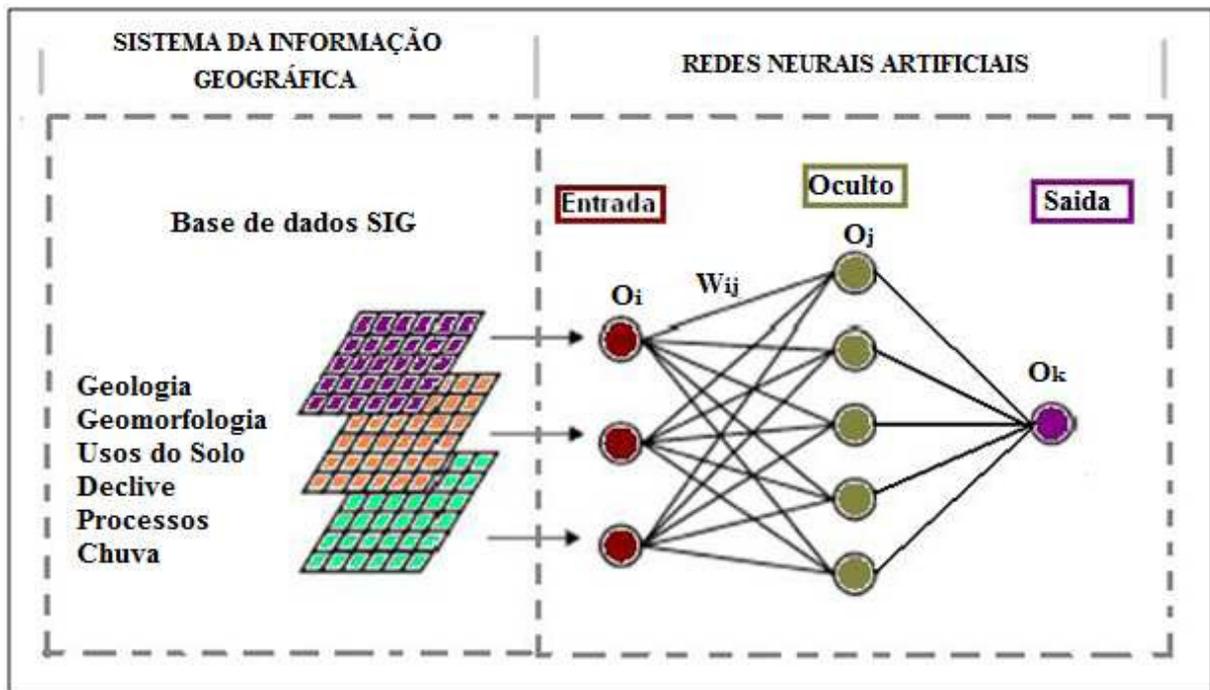


Figura 3.4. Modelo de interação SIG-RNA (Modificado AMVA, 2008).

Para ilustrar a metodologia do cálculo do risco total será discutido em detalhe um dos projetos selecionados, usando-se dados reais. O projeto de exemplo é o condomínio “Balcones de Miraflores”. O terreno onde se encontra localizado conta com as seguintes características in situ: inclinação de 45° , comprimento na base de talude de 30 m e uma altura de 7 m (figura 3.5). O perfil geológico-geotécnico local é composto por uma camada superficial de solo argila com uma espessura de 10,5 m. A seguir encontra-se uma camada de solo antropico. Na tabela 3.2 se apresentam os dados gerais a serem usados para os cálculos os quais foram obtidos do estudo de solos, além do projeto estrutural incluindo os planos.

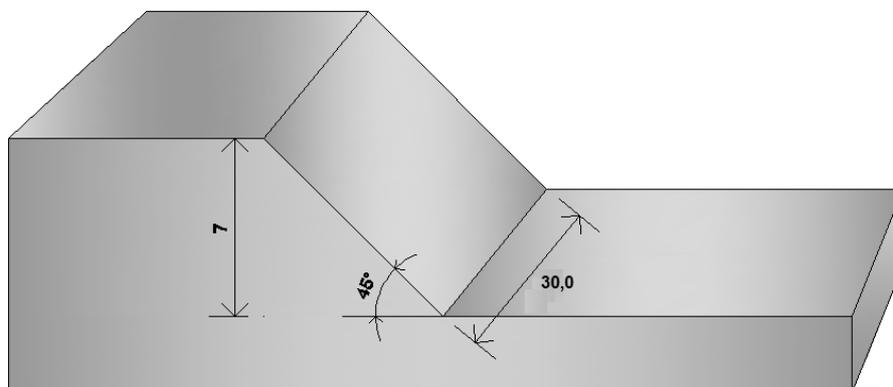


Figura 3.5. Geometria do talude analisado do projeto “Balcones de Miraflores”.

Para todos os projetos foi calculada a ameaça como a probabilidade de ruptura (PR) do talude em causa, a vulnerabilidade em termos de perdas de vidas e custos e por último se calculou o risco total fazendo uso da metodologia descrita no capítulo 2.

Tabela 3.2. Dados gerais do projeto “Balcones de Miraflores”.

PARÂMETRO	VALOR
Angulo de atrito (ϕ)	32°
Coesão 1 (C)	9 kN/m ²
Coesão 2 (C)	18 kN/m ²
Peso específico (γ)	20 kN/m ²
Área da estrutura ou construída (A_E)	3988,5 m ²
Área projeto ($A_{projeto}$)	720 m ²
Área pânico (A_{panico})	0,09508 km ²
Número de pavimentos	10
Número de vivendas (N_V)	76 vivendas
Número de habitantes por vivenda (D_V)	3,7 hab/viv

3.2.1 Geologia Local do Projeto Balcones de Miraflores

O perfil geológico da área do projeto mostra três principais unidades geológicas associadas ao projeto, como as rochas ígneas do Stock de Sandiego, as metamórficas como as anfibolitos da margem direita do rio Medellín do lado oriental formando solos silte-argilosos e depósitos de vertente, principalmente depósitos de fluxos de lama e detritos que se encontram em grandes extensões no vale de Aburra.

Os anfibolitos apresentam estrutura gnáissica; formam vertentes saprolíticas; desenvolvem solos residuais de grande espessura, que retêm a textura e estrutura da rocha-mãe, desenvolvendo solos de caráter silteoso e, em alguns casos, argilos-silteoso.

O Stock de Sandiego é um corpo ígneo de composição variada, desde dioritos até gabros olivínicos, localizado no setor centro-leste do Valle de Aburra. Esta unidade apresenta um processo avançado de intemperismo, o que permite o desenvolvimento de solos residuais, que se caracterizam principalmente pela textura silte-argilosa.

Os depósitos de lama e detritos são compostos principalmente de solo residual, contendo muitos blocos rochosos de diferentes tamanhos e disposições diferentes, que são principalmente de anfibolitos e do Stock de San Diego.

A geomorfologia da região é caracterizada pela unidade de encostas suaves e declividades baixas. As encostas suaves têm inclinações situadas aproximadamente entre 5° a 15°.

CAPÍTULO 4

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DO PROJETO DE BALCONES DE MIRAFLORES

4.1 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA AMEAÇA

A metodologia utilizada para o cálculo da probabilidade de ruptura (PR) foi a descrita no subtítulo 2.1. A tabela 3.2 mostra os valores dos diferentes parâmetros c , ϕ e γ a serem utilizados para calcular a média do fator de segurança fazendo uso da tabela 4.1 onde se observam as diferentes combinações possíveis que foram feitas utilizando o método de Rosenblueth tratado anteriormente. Depois de obter a média do fator de segurança é possível calcular a variância pela equação 2.7, o desvio padrão além da confiabilidade e por ultimo a probabilidade de ruptura por meio das equações 2.2 e 2.3 respectivamente. A Figura 4.1 mostra o perfil da superfície de ruptura e o resumo dos resultados obtidos com a metodologia da confiabilidade.

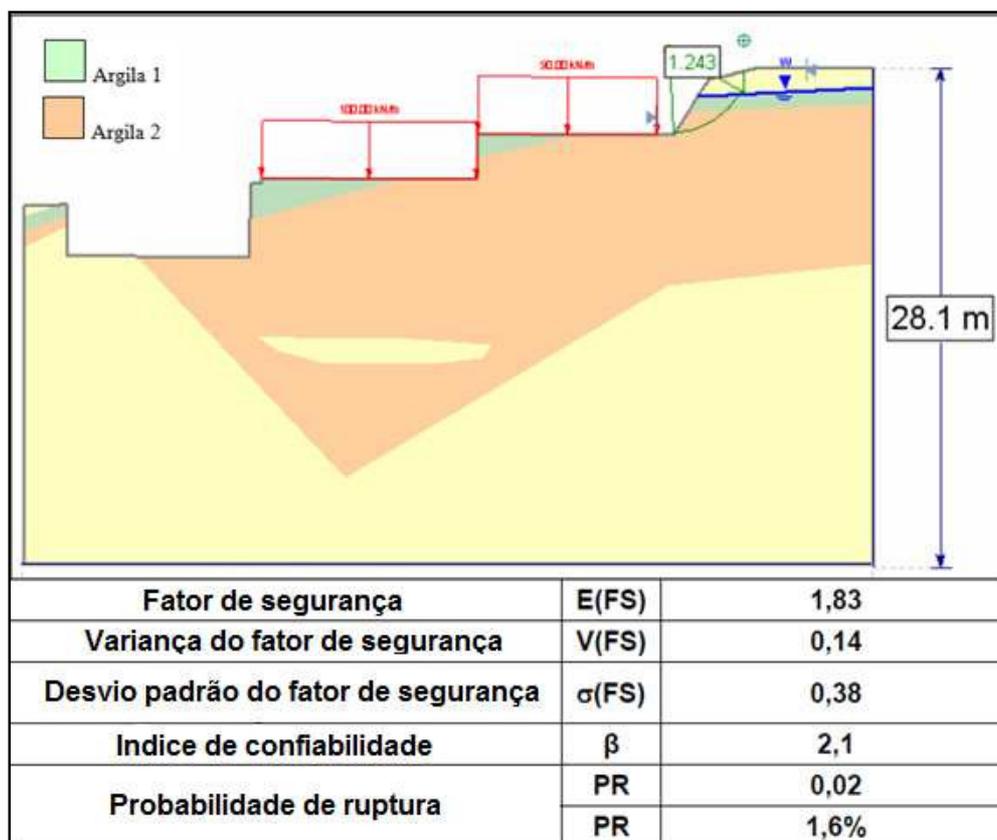


Figura 4.1. Perfil geotécnico para análise da ameaça em termos da probabilidade de ruptura do projeto “Balcones de Miraflores”.

Tabela 4.1. Aplicação do método de Rosenblueth

#	NA (m)	γ (kN/m ³)	C1(kPa)	C2(kPa)	ϕ (°)	Fator de Segurança
1	3.3	20.0	9.0	18.1	32.0	1.958
2	5.6	22.0	12.6	25.3	33.6	2.36
3	5.6	22.0	12.6	25.3	30.4	2.234
4	5.6	22.0	12.6	10.9	33.6	1.701
5	5.6	22.0	12.6	10.9	30.4	1.58
6	5.6	22.0	5.4	25.3	33.6	2.258
7	5.6	22.0	5.4	25.3	30.4	2.131
8	5.6	22.0	5.4	10.9	33.6	1.604
9	5.6	22.0	5.4	10.9	30.4	1.483
10	5.6	18.0	12.6	25.3	33.6	2.469
11	5.6	18.0	12.6	25.3	30.4	2.344
12	5.6	18.0	12.6	10.9	33.6	1.746
13	5.6	18.0	12.6	10.9	30.4	1.629
14	5.6	18.0	5.4	25.3	33.6	2.35
15	5.6	18.0	5.4	25.3	30.4	2.23
16	5.6	18.0	5.4	10.9	33.6	1.638
17	5.6	18.0	5.4	10.9	30.4	1.52
18	1.1	22.0	12.6	25.3	33.6	2.07
19	1.1	22.0	12.6	25.3	30.4	1.98
20	1.1	22.0	12.6	10.9	33.6	1.41
21	1.1	22.0	12.6	10.9	30.4	1.33
22	1.1	22.0	5.4	25.3	33.6	1.98
23	1.1	22.0	5.4	25.3	30.4	1.88
24	1.1	22.0	5.4	10.9	33.6	1.32
25	1.1	22.0	5.4	10.9	30.4	1.24
26	1.1	18.0	12.6	25.3	33.6	2.15
27	1.1	18.0	12.6	25.3	30.4	2.06
28	1.1	18.0	12.6	10.9	33.6	1.43
29	1.1	18.0	12.6	10.9	30.4	1.35
30	1.1	18.0	5.4	25.3	33.6	2.03
31	1.1	18.0	5.4	25.3	30.4	1.94
32	1.1	18.0	5.4	10.9	33.6	1.32
33	1.1	18.0	5.4	10.9	30.4	1.24

4.1.1 Análise dos Resultados

De acordo com AMVA (2008) a probabilidade anual de ruptura (PR) máxima aceitável proposta para taludes e encostas na cidade de Medellín é de 2% considerando um risco máximo em termos de vidas humanas da ordem de 10. Isso significa que o evento natural, no caso de um escorregamento, tem um período de recorrência de 50 anos (1/0,02). Para escorregamentos, segundo o histórico mais recente para a cidade de Medellín, ocorreram

aproximadamente 300 escorregamentos no período compreendido entre 1998 e 2008 ($300/10 = 30$ escorregamentos por ano), sendo a maioria sem vítimas fatais. Com relação aos escorregamentos trágicos, também para cidade de Medellín, no período compreendido entre 1927 e 2010 foram registrados 12 ($12/80 = 0,15$ tragédias por ano), sendo tais eventos marcados pelo grande número de perdas humanas e econômicas (ver Tabela 2.4).

Considerando válida a probabilidade anual de ruptura (PR anual) de 2%, tempo de vida útil de 30 anos (tempo médio necessário para a renovação da estrutura ou a substituição por outra) e a distribuição de Poisson (ver equação 4.1) pode-se calcular a probabilidade de ocorrência de um evento para um período de tempo especificado. Verifica-se que a probabilidade do evento acontecer (no período de 30 anos) é de 0,45 resultando em 45% de probabilidade de ocorrência do escorregamento. Tal valor visto pode ser considerado demasiadamente alto para ser aceito por uma pessoa, mesmo que tenha pouco conhecimento técnico.

$$P(x > 0) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.1)$$

Onde: λ = probabilidade temporal do evento,

t = período de tempo a considerar.

$P(x > 0)$ = probabilidade do evento x acontecer (número positivo).

Com relação ao número de escorregamentos apresentados no recente histórico anteriormente demonstrado para a cidade de Medellín, percebe-se que na realidade a maior quantidade dos escorregamentos é de pequena intensidade e não geram perdas humanas. Isso sugere a necessidade de considerar qual seria a probabilidade de que o escorregamento seja de fato uma tragédia. Levando em consideração os números apresentados, nota-se que em Medellín ocorrem em média 0,15 tragédias por escorregamentos ao ano. Sendo que, em média, a cidade apresenta 30 escorregamentos por ano, e a probabilidade histórica de que algum desses escorregamentos seja uma tragédia é de 0,005 ($0,15/30$).

Considerando as condições anteriormente estabelecidas para a ocorrência de um evento, com período de vida útil de 30 anos, PR anual de 2% e probabilidade de ocorrência de 45%, a probabilidade encontrada para que o escorregamento seja trágico é de apenas 0,002 ($0,45 * 0,005$). O valor anterior, na casa do 10^{-3} , encontra-se ligeiramente acima do limite máximo tolerável pelo Departamento de Planejamento de Hong Kong para tomada de decisões sobre riscos sociais máximos em projetos civis (ver Figura 4.2). Isso explica porque foi sugerido como limite máximo tolerável para Medellín o valor de 2% de probabilidade anual de ruptura para taludes urbanos (AMVA, 2006).

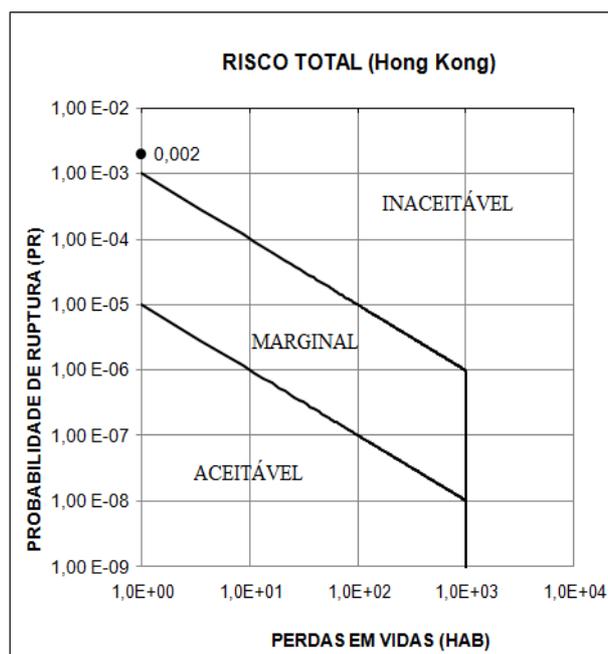


Figura 4.2. Risco social aceitável segundo o Departamento de Planejamento de Hong Kong (Modificado Baecher & Christian, 2003).

Uma diminuição da frequência de acidentes trágicos para um valor dentro da casa do 10^{-5} (limite máximo do risco social aceito em Hong Kong) implica necessariamente numa diminuição do valor da probabilidade anual de ruptura de 2% para 0,01%. Desse modo, essa situação para uma cidade como Medellín, traria como consequência imediata um desaceleração drástica do processo de ocupação das encostas, uma depressão econômica no setor da construção e aumento dos custos de edificação para atender as medidas necessárias para manter as encostas dentro desse padrão de segurança.

Atualmente, por razões econômicas e políticas, tais consequências não são passíveis de serem absorvidas pela cidade. O maior valor da construção seria repassado para o comprador, em sua maioria de classe média e média baixa. Nessas condições esse comprador teria que se abster da compra ou diminuir despesas, como as familiares, para poder adquirir a sua moradia, essa situação geraria consequências políticas negativas para o administrador em turno.

Aplicando o raciocínio anteriormente demonstrado, para o caso do condomínio “Balcones de Miraflores”, foi calculada uma $PR=1,6\%$ que, representa uma probabilidade de 0,2% (exatamente $1,95E-3$) de ser trágica (entre 1 e 10 vítimas fatais) num período de 30 anos. Essa probabilidade de ser tragédia localiza o talude do condomínio em questão dentro da área de risco inaceitável caso fosse aplicado o código de Hong Kong.

Uma variável adicional, sobre a qual não foram realizadas observações, o tempo de vida útil da estrutura. É certo que cada sociedade escolhe livremente, conscientemente ou não o seu nível de risco tolerável, também é verdade que alguns limites máximos toleráveis deveriam estar considerados pelas entidades de planejamento como parte das suas ferramentas de tomada de decisões. No caso do exemplo analisado foi considerado um tempo de vida útil de 30 anos para o projeto em questão. Não obstante, tal valor não parece, a priori, ser melhor nem pior do que qualquer outro valor adotado arbitrariamente.

Considerando o valor adotado para a variável referente ao tempo de vida útil da estrutura, que foi de 30 anos, não percebeu-se, a priori, que esse valor seja mais ou menos vantajoso que outro valor adotado arbitrariamente. Essa consideração pode ser justificada pelo fato de que cada sociedade escolhe conscientemente ou não o seu nível de risco tolerável. Entretanto, é certo que alguns limites máximos toleráveis deveriam ser considerados pelas entidades de planejamento como parte das suas ferramentas na tomada de decisões.

Para o caso de ajuste de seguros poderia ser razoável considerar que um bem de capital como uma casa possa ser completamente depreciado num tempo de 30 anos, mas também não seria problema para a mesma companhia de seguros calcular o valor da nova apólice considerando um período menor, da ordem de 10 anos por exemplo. Finalmente, o valor do ajuste será repassado para o proprietário.

No exemplo analisado, se fosse necessário transferir a totalidade do risco econômico envolvido (considerando um número mínimo de prováveis vítimas fatais, o correspondente a uma morte) mantendo-se dentro do limite tolerável (frequência máxima de acidentes menor que 10^{-3}) indicado nas figuras 4.3 e 4.4, seria necessário depreciar o imóvel num período de apenas 15 anos. Isso dobraria o valor da apólice correspondente fazendo-a difícil ou impossível de ser adquirida por muitos dos potenciais moradores. Mantendo o valor da apólice, as companhias de seguro não assumiriam a totalidade da perda caso ocorra uma tragédia. A percentagem do risco transferido dependeria de muitos outros fatores, mas seria, certamente, pequena. O proprietário não poderia se recuperar do impacto econômico caso a sua casa fosse destruída pelo acidente.

Na Figura 4.3 e 4.4 são apresentados os valores da *PR* de cada um dos projetos analisados, incluindo o valor limite recomendável para a cidade de Medellín de acordo com as informações apresentadas anteriormente.

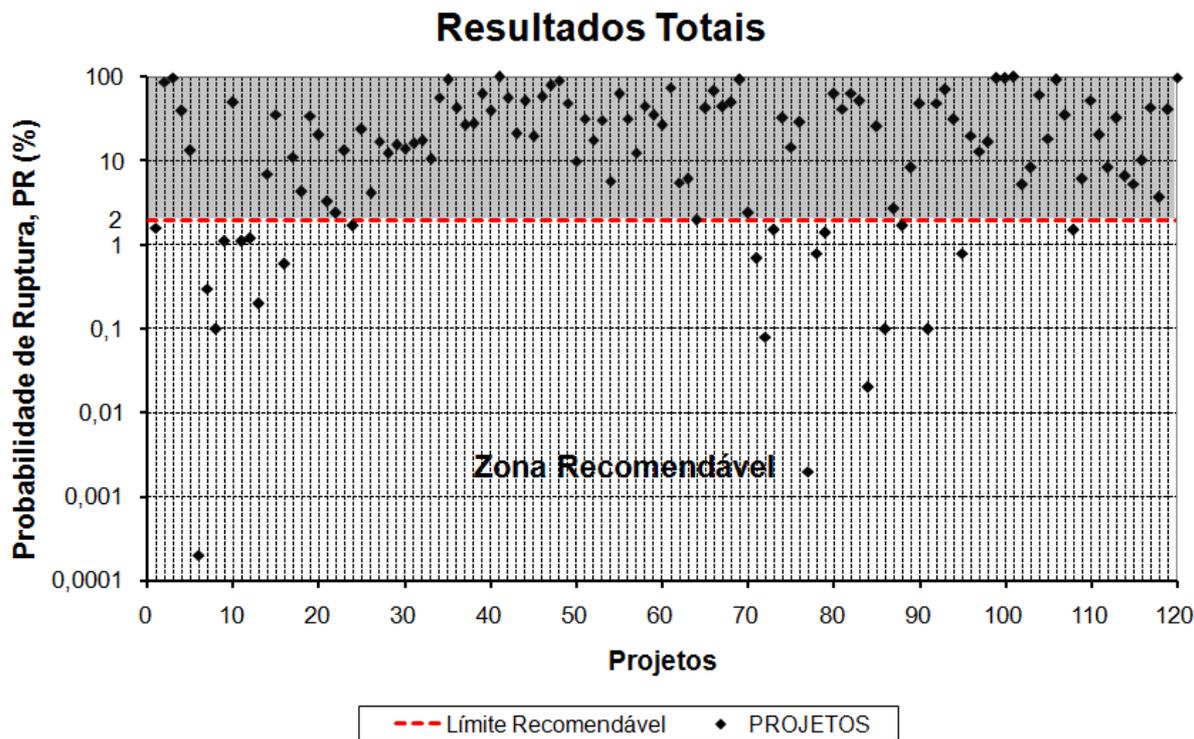


Figura 4.3. Resultado total da probabilidade de ruptura (*PR*).

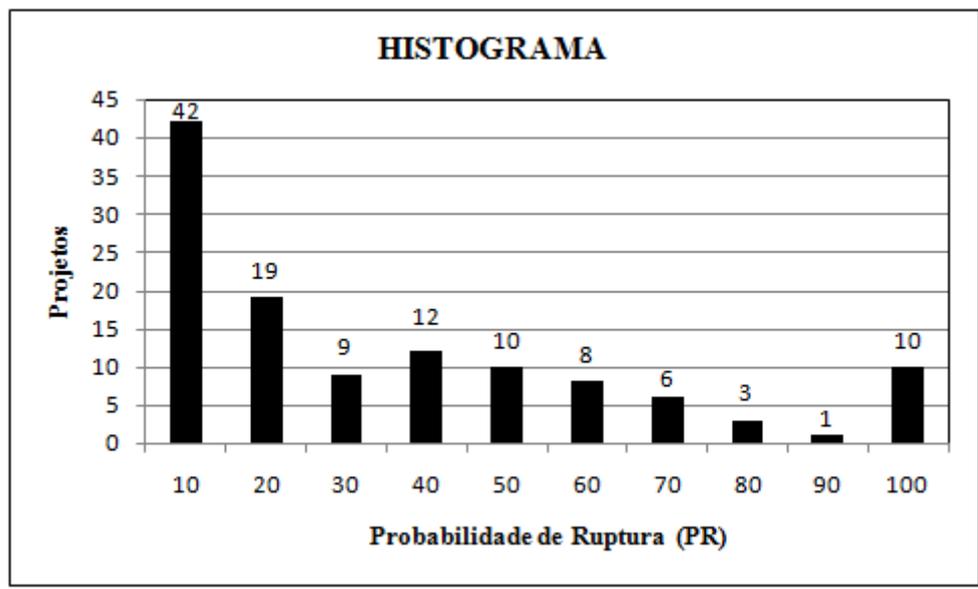


Figura 4.4. Histograma da probabilidade de ruptura (*PR*).

4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE

O cálculo da vulnerabilidade foi realizado por meio da combinação de duas metodologias explicadas no subtítulo 2.3, Botero-Fernández (2009) para estruturas e Uzielli et al. (2008) para pessoas dentro e fora da estrutura. A seguir se apresenta o desenvolvimento da sequência de cálculo passo a passo:

1. Índice de vulnerabilidade estrutural (V_E): Se calcula a partir do fator BSF, ou seja, o valor da fragilidade das estruturas. Usa-se a figura 2.5, que mostra a árvore de decisões para estruturas tipo 3 e conta com as seguintes características: estrutura de concreto armado, mais de três andares e um estado de manutenção entre 2 e 4 (prédio novo). O valor obtido é $BSF=1$. O fator W_{BSF} é 0,14 segundo a tabela 2.2, portanto, o V_E está de acordo com a equação 2.10 que é igual a 0,14.
2. A vulnerabilidade estrutural (VE) é calculada com uso da equação 2.8 onde são necessários os seguintes dados: $A_E = 3988,48 \text{ m}^2$, além da tabela 2.1 para obter o valor do metro quadrado construído na cidade (D_S). Para a tabela precisamos saber qual é o estrato socioeconômico e a atividade do setor que para o exemplo é residencial.

$$VE = V_E \times A_E \times D_S = 0,14 \times 3.988,48 \text{ m}^2 \times 490 \frac{\text{US\$}}{\text{m}^2} = \text{US\$}272.875 \quad (4.2)$$

3. Índice de vulnerabilidade das pessoas dentro da estrutura (V_{PE}): Utilizando a equação 2.12 mais o V_E , e considerando uma intensidade $I = 1$ como se explico no subtítulo 2.2, se aplica a metodologia de Uzielli et al. por meio da equação 2.11, tem-se que:

$$V_{PE} = I \cdot S_{PST} = 1 \cdot (V_E)^{3.2} = 1 \times (0,14)^{3.2} = 0,00185 \quad (4.3)$$

4. Índice de vulnerabilidade das pessoas fora das estruturas (V_{PF}): Se requerem os fatores ζ_{PDN} , ζ_{PIB} e ζ_{AGE} . O primeiro ζ_{PDN} é dependente do parâmetro DP_i que pode ser calculado com a equação 2.16.

$$D_{Pi} = \frac{(A_{panico} \times D_P) + (A_{projeto} \times D_{P_{projeto}})}{A_{panico} + A_{projeto}} = \frac{(0,09508 \times 6.542) + (0,00072 \times 390.555,56)}{(0,09508 + 0,00072)} = 9.499,51 \frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \quad (4.4)$$

5. Neste caso que $D_{Pi} = 9499,51 \text{ hab/km}^2$ é menor que 10.000 hab/km^2 usa-se a equação 2.14, obtendo $\zeta_{PDN} = 0,986$. O fator $\zeta_{PIB} = 0,187$ (equação 2.15), considerando um $PIB_C = 8891 \text{ US\$}$. Finalmente, o fator ζ_{AGE} é calculado com os dados da tabela 2.3 calculando a média pesada dos ζ_{AGE} segundo as percentagens da distribuição da população de Medellín, sendo o valor obtido de acordo com a tabela 4.2 e a equação 2.17 é $\zeta_{AGE} = 0,364$. Já, para o uso da equação 2.11 de Uzielli et al. (2008) se calculou o fator de intensidade de acordo à equação 2.19 que relaciona as áreas do projeto e de pânico que são calculadas fazendo uso dos planos do projeto e da localização do projeto na cidade respectivamente como exemplo tem-se a figura 4,5, onde $I = 0,008$. Como resultado final $V_{PF} = 0,008$.

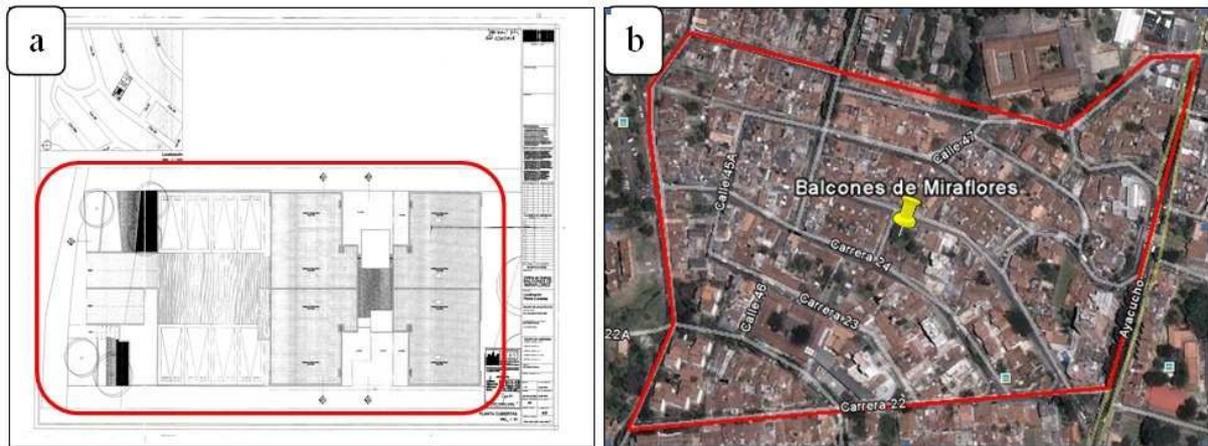


Figura 4.5. Área construída ou de projeto (a), área de pânico (b).

Tabela 4.2. Cálculo do valor médio de ξ_{AGE} .

Idade (anos)	ξ_{AGE}	% População	$\xi_{AGE} * População$
0 - 5	1	9,12	9,1200
5 - 10	0,9	9,76	8,7840
10 - 15	0,7	10,2	7,1400
15 - 20	0,3	9,48	2,8440
20 - 50	0	43,6	0,0000
50 - 55	0,1	4,81	0,4810
55 - 60	0,3	3,74	1,1220
60 - 65	0,5	2,81	1,4050
65 - 70	0,7	2,28	1,5960
70 - 75	0,9	1,78	1,6020
≥ 75	0,95	2,42	2,2990
	6,35	100	36,393

*Media ponderada

$$\xi_{AGE} = \frac{\xi_{AGE} * \% População}{\% População} = \frac{36,393}{100} = 0,363 \quad (4.5)$$

6. Agora a vulnerabilidade das pessoas (VP) se calcula utilizando a equação 2.9.

$$VP = (V_{PE} \times N_V \times D_V) + (V_{PF} \times D_P \times A_{panico}) = (0,00185 \times 76 \times 3,7) + (0,008 \times 6.542 \times 0,0944) = 5,2hab \quad (4.6)$$

4.2.1 Análise dos Resultados

Para o projeto, utilizado como exemplo nesta pesquisa, foram obtidos os seguintes valores de vulnerabilidade:

- Vulnerabilidade das estruturas (*VE*). O valor obtido é US\$272.875. O valor anterior representa a perda anual provável para o projeto estudado, caso a ameaça aconteça. Não obstante este valor ainda não serve para adotar decisões relacionadas com a viabilidade ou não do projeto, pois o *VE* encontrado não foi multiplicado com a ameaça que é o fator que leva em conta a probabilidade do evento acontecer.
- Vulnerabilidade das pessoas (*VP*). A situação é semelhante ao caso anterior. O valor obtido é de 5,2 pessoas. Tal valor deve ser interpretado como a perda máxima provável, caso, a ameaça venha acontecer. De novo, o elemento probabilístico é a probabilidade de ruptura da encosta que é levado em consideração na quantificação da ameaça.

4.3 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO RISCO

Para o cálculo do risco total das pessoas e as estruturas são necessários os valores da ameaça e da vulnerabilidade para fazer uso da equação 2.21.

$$RTE = PR \times VE = (1,6\%) \times (272.875 \text{ US \$}) = 4.366 \text{ US \$} \quad (4.7)$$

$$RTP = PR \times VP = (1,6\%) \times 5,2 \text{ pessoas} = 0,08 \text{ pessoas} \quad (4.8)$$

Para fins práticos o risco, em termos de perdas humanas, deve se aproximar ao valor mínimo realístico de 1 para o qual a probabilidade de ocorrência do evento, segundo calculado no subtítulo 4.1.1, equivale a uma frequência máxima de acidentes graves menor que 10^{-3} para um período de 30 anos.

Por outro lado, o risco em termos de perdas econômicas pode ser considerado, para efeitos de transferência, um valor aceitável. Dividindo pelo número de apartamentos é obtido o valor de US\$57,5/ano por unidade habitacional. O valor de uma apólice de cobertura completa por acidentes naturais para um apartamento padrão, como pode ser qualquer um deste projeto, está em aproximadamente US\$7,5/mês, equivalente a US\$90/ano, ou seja, aproximadamente 1,5 vezes o valor estimado. A divergência de valores, a priori, não pode ser avaliada de maneira justa, devido ao desconhecimento dos critérios de estimativa dos valores das apólices de seguro. Não obstante, muito provavelmente as companhias de seguros estão considerando tempos menores de depreciação dos imóveis assegurados. Tal consideração pode ser produto de fatores de segurança muito altos nos valores cobrados devido ao desconhecimento da situação real ou simples especulação.

4.3.1 Análise dos Resultados

A tabela 4.3 mostra um resumo dos valores da ameaça, vulnerabilidade e risco para a totalidade dos projetos analisados. Nesta tabela pode-se observar que as perdas em custos não são tão significativas, quando falamos da reposição das habitações ao custo do metro quadrado do mercado. Quanto às perdas em vidas, como mensurar o valor de uma vida?

Tabela 4.3. Avaliação do risco total dos 120 projetos selecionados na cidade de Medellín.

#	PROJETO	% PR	β	VP (hab)	RTP (hab)	VE (US\$)	RTE (US\$)
1	Balcones de Miraflores	1,6	2,10	5,2	0,1	272.875,0	4.366,0
2	Bosques de San Diego T1	88,1	2,10	55,4	48,8	809.643,6	713.296,0
3	Bosques de San Diego T2	99,9	-1,82	47,7	47,7	659.529,8	658.870,3
4	Torreones de Cataluña	39,7	-3,00	41,9	16,6	49.110,5	19.496,9
5	Hungria T1	13,3	0,30	61,9	8,2	652.335,2	86.760,6
6	Hungria T2	0,0002	1,10	61,9	0,0	253.959,4	0,5
7	Hungria T3	0,3	4,60	61,9	0,2	253.959,4	761,9
8	Plaza Pilarica	0,1	2,80	27,2	0,0	693.203,0	693,2
9	Reserva de San Diego Torre 1	1,1	3,30	35,4	0,4	1.155.993,4	12.715,9
10	Reserva de San Diego Torre 2	50,5	2,30	35,5	17,9	1.182.448,4	597.136,4
11	Reserva de San Diego Parqueadero	1,1	-0,01	27,7	0,3	1.092.829,9	12.021,1
12	San Diego Campestre T1	1,2	2,30	73,0	0,9	1.768.975,1	21.227,7
13	San Diego Campestre T2	0,2	2,30	73,0	0,1	1.778.503,2	3.557,0
14	Villa Francisca	7,0	2,90	18,3	1,3	527.210,7	36.904,7
15	Cantares T2	36,3	1,50	10,8	3,9	262.614,0	95.328,9
16	Cantares T3	0,6	0,40	24,7	0,1	254.547,8	1.527,3
17	Cantares T4	11,3	2,50	24,7	2,8	254.547,8	28.763,9
18	Cantares T5	4,3	1,20	24,7	1,1	254.547,8	10.945,6
19	Cantares T6	34,7	1,70	24,7	8,6	201.655,5	69.974,5
20	Mirador del Valle T4	20,6	0,40	62,6	12,9	235.350,3	48.482,2
21	Mirador del Valle T7	3,3	0,80	62,6	2,1	235.350,3	7.766,6
22	Mirador del Valle T10	2,4	1,80	62,6	1,5	235.350,3	5.648,4
23	Mirador del Valle T13	13,4	2,00	154,9	20,8	235.350,3	31.536,9
24	Mirador del Valle T15	1,7	0,10	154,9	2,6	235.350,3	4.001,0
25	Mirador del Valle T20	23,9	2,10	154,9	37,0	235.350,3	56.248,7
26	Mirador del Valle T25	4,2	0,70	154,9	6,5	235.350,3	9.884,7
27	Nazareth B1	17,1	1,70	121,3	20,7	181.986,0	31.119,6
28	Nazareth B2	12,5	0,90	128,0	16,0	373.885,4	46.735,7
29	Nazareth B3	15,6	1,10	128,0	20,0	386.001,9	60.216,3
30	Nazareth B4	14	0,20	128,0	17,9	368.473,8	51.586,3
31	La Montaña Perfil 1	16,3	1,10	140,9	23,0	325.520,1	53.059,8
32	La Montaña Perfil 2	17,4	1,00	132,5	23,1	178.442,5	31.049,0

#	PROYECTO	% PR	β	VP (hab)	RTP (hab)	VE (US\$)	RTE (US\$)
33	La Montaña Perfil 4	10,5	0,90	140,9	14,8	352.695,8	37.033,1
34	Urbanización Curazao Z1	57,8	1,20	4,2	2,4	104.160,0	60.204,5
35	Urbanización Curazao Z2	94,0	-0,20	12,1	11,4	291.648,0	274.149,1
36	Urbanización Curazao Z3	42,7	-1,56	9,5	4,0	229.152,0	97.847,9
37	Villa Campiña Z1	26,8	0,20	36,8	9,9	151.335,7	40.558,0
38	Villa Campiña Z2	28,3	0,60	38,4	10,9	224.403,8	63.506,3
39	Villa Campiña Z3	63,1	0,60	23,8	15,0	171.039,5	107.925,9
40	Villa Campiña Z4	39,9	-0,30	27,0	10,8	77.309,8	30.846,6
41	Robledo Real	100	0,30	13,2	13,2	20.557,9	20.557,9
42	Monterrobles Z1	56,8	-4,50	17,0	9,6	221.667,2	125.906,9
43	Monterrobles Z2	21,5	-0,20	37,5	8,1	314.028,5	67.516,1
44	Monterrobles Z3	52,5	0,80	26,8	14,0	221.667,2	116.375,3
45	Urbanización La Huerta Z1	19,88	-0,06	179,3	35,6	997.502,2	198.303,4
46	Urbanización La Huerta Z2	58,26	0,90	52,0	30,3	166.250,4	96.857,5
47	Urbanización La Huerta Z3	79,78	-0,20	73,1	58,3	166.250,4	132.634,5
48	Urbanización La Huerta Z4	91,85	-0,80	40,7	37,4	332.500,7	305.401,9
49	Urbanización La Huerta Z5	49,52	-1,40	108,4	53,7	166.250,4	82.327,2
50	Puerta del sol Z1	10	0,10	62,0	6,2	166.934,5	16.693,5
51	Puerta del sol Z2	32,3	1,30	41,0	13,3	105.360,3	34.031,4
52	Puerta del sol Z3	17,9	0,50	54,3	9,7	49.943,5	8.939,9
53	Puerta del sol Z4	30,8	0,90	53,5	16,5	130.674,2	40.247,6
54	La Aurora Z1	5,8	0,50	32,1	1,9	372.181,9	21.586,5
55	La Aurora Z2	63,9	1,60	39,3	25,1	372.181,9	237.824,2
56	La Aurora Z3	31,9	-0,40	24,7	7,9	273.663,2	87.298,5
57	La Aurora Z4	12,7	0,50	30,8	3,9	623.952,0	79.241,9
58	Las Flores Z1	45,3	1,10	35,4	16,0	175.884,2	79.675,5
59	Las Flores Z2	35,6	0,12	30,2	10,8	175.884,2	62.614,8
60	Las Flores Z3	26,7	0,40	85,3	22,8	351.768,4	93.922,2
61	Las Flores Z4	76	0,60	56,4	42,8	175.884,2	133.672,0
62	Santa Catalina Z1	5,6	-0,71	72,2	4,0	172.407,8	9.654,8
63	Santa Catalina Z2	6,2	1,60	72,1	4,5	158.505,7	9.827,4
64	Santa Catalina Z3	2	1,50	39,1	0,8	250.401,8	5.008,0
65	Entrepalmas de San Diego 1	42,6	2,10	36,9	15,7	830.972,0	353.994,1
66	Entrepalmas de San Diego 2	68,1	0,20	37,5	25,5	1.632.755,3	1.111.906,4
67	Colinas del Viento Z1	44,5	-0,50	38,7	17,2	221.789,5	98.696,3
68	Colinas del Viento Z2	50,6	0,11	30,0	15,2	221.789,5	112.225,5
69	Colinas del Viento Z3	92,5	-0,02	68,8	63,6	221.789,5	205.155,3
70	Poblado de Veracruz Z1	2,4	-1,40	22,3	0,5	69.896,8	1.677,5
71	Poblado de Veracruz Z2	0,7	2,00	6,3	0,0	69.896,8	489,3
72	Poblado de Veracruz Z3	0,08	2,40	27,0	0,0	69.896,8	55,9
73	Poblado de Veracruz Z4	1,5	3,20	16,8	0,3	69.896,8	1.048,5

#	PROJETO	% PR	β	VP (hab)	RTP (hab)	VE (US\$)	RTE (US\$)
74	Santa Maria del Buen Aire	32,5	2,10	20,7	6,7	456.880,6	148.486,2
75	El Limonar 1	14,8	0,50	40,1	5,9	108.956,8	16.125,6
76	El Limonar 2	29	1,04	52,7	15,3	137.326,7	39.824,8
77	El Limonar 3	0,002	0,55	51,1	0,0	108.956,8	2,2
78	El Limonar 4	0,8	4,07	75,0	0,6	108.956,8	871,7
79	El Limonar 5	1,4	2,41	53,4	0,7	137.326,7	1.922,6
80	Prado Verde	63	2,21	35,2	22,2	512.297,4	322.747,4
81	Vegas de Alcala 1	41,9	-0,33	37,0	15,5	45.154,4	18.919,7
82	Vegas de Alcala 2	64,2	0,20	28,8	18,5	82.098,9	52.707,5
83	Arroyo de los Bernal	51,8	-0,36	66,3	34,4	1.675.753,6	868.040,4
84	Calasanz Azul 1	0,02	-0,05	53,7	0,0	1.432.205,5	286,4
85	Calasanz Azul 2	25,9	3,49	34,9	9,0	1.432.205,5	370.941,2
86	Calasanz Azul 3	0,1	0,64	53,7	0,1	1.432.205,5	1.432,2
87	Colinas del rodeo 1	2,7	4,21	25,8	0,7	277.083,9	7.481,3
88	Colinas del rodeo 2	1,7	1,93	31,2	0,5	277.083,9	4.710,4
89	Frontera de los Bernal	8,3	2,13	29,8	2,5	1.579.244,2	131.077,3
90	New York 1	48,8	1,39	159,4	77,8	246.296,8	120.192,9
91	New York 2	0,1	0,03	159,4	0,2	246.296,8	246,3
92	Balcones de Belen	49,6	3,10	5,8	2,9	328.395,8	162.884,3
93	Portal de la Colina	71	0,10	3,7	2,6	171.039,5	121.438,0
94	Los Robles 1	31,6	-0,55	16,5	5,2	56.443,0	17.836,0
95	Los Robles 2	0,8	0,48	13,3	0,1	56.443,0	451,5
96	Baluarto de San Diego Zona 2	20	2,52	50,1	10,0	28.832,6	5.766,5
97	Balcones de Panorama Zona 1	13,1	0,80	27,2	3,6	297.175,8	38.930,0
98	Balcones de Panorama Zona 2	16,8	1,10	27,6	4,6	114.210,5	19.187,4
99	Balcones de Panorama Zona 3	96,8	1,00	72,8	70,4	753.104,2	729.004,9
100	Guayacanes de San Diego Zona 1	97,8	-1,86	54,1	52,9	1.559.747,4	1.525.432,9
101	Guayacanes de San Diego Zona 2	100	-2,00	63,1	63,1	1.559.747,4	1.559.747,4
102	Mirador de Calasanz Zona 1	5,3	-4,30	27,0	1,4	92.842,1	4.920,6
103	Mirador de Calasanz Zona 2	8,3	1,60	9,5	0,8	92.842,1	7.705,9
104	Mirador de Calasanz Zona 3	62,2	1,40	17,9	11,1	185.684,2	115.495,6
105	Mirador de Calasanz Zona 4	18,5	-0,30	9,1	1,7	92.842,1	17.175,8
106	Villa Suramericana 1	93,7	0,90	30,5	28,5	689.631,2	646.184,4
107	Villa Suramericana 2	35,5	-1,53	33,7	12,0	689.631,2	244.819,1
108	Villa Suramericana 3	1,5	0,37	9,3	0,1	344.815,6	5.172,2
109	Colores de Calasania 1	6,2	2,18	9,6	0,6	318.133,4	19.724,3
110	Colores de Calasania 2	53,3	1,53	8,9	4,7	318.133,4	169.565,1

#	PROJETO	% PR	β	VP (hab)	RTP (hab)	VE (US\$)	RTE (US\$)
111	Colores de Calasania 3	20,3	-0,09	8,5	1,7	318.133,4	64.581,1
112	Atalaya de la Mota	8,4	0,83	12,4	1,0	740.122,0	62.170,2
113	El Chagualón T3	32,4	1,38	13,0	4,2	447.712,9	145.059,0
114	El Chagualón T4	6,6	0,46	17,7	1,2	1.428.521,7	94.282,4
115	Bosques Eterna Primavera T2	5,4	1,50	18,0	1,0	268.189,9	14.482,3
116	Bosques Eterna Primavera T 6 y 7	10,3	1,60	17,2	1,8	134.094,9	13.811,8
117	Bosques de San Bartolomé	44	1,30	24,5	10,8	169.586,1	74.617,9
118	Torre Gualanday	3,7	0,20	12,3	0,5	27.366,3	1.012,6
119	Arboleda del Seminario T 3 y 11	41,5	1,80	54,1	22,4	115.178,0	47.798,9
120	Arboleda del Seminario T 5	99,1	0,20	41,4	41,1	115.178,0	114.141,4

Para mostrar os resultados finais foram usadas as curvas $F-N$ que permitem relacionar a probabilidade de ruptura (ameaça) com uma função de perdas (vulnerabilidade) ou de risco, interpretada como o risco que está sendo implicitamente aceito na cidade de Medellín para obras localizadas em encostas potencialmente instáveis.

Neste caso, foram utilizadas as cartas ou curvas $F-N$ de Baecher & Christian (2003), para apresentar nas figuras 4.6 e 4.7 o risco total estimado para perdas em custos e em vidas respectivamente, calculado para os 120 projetos da cidade de Medellín.

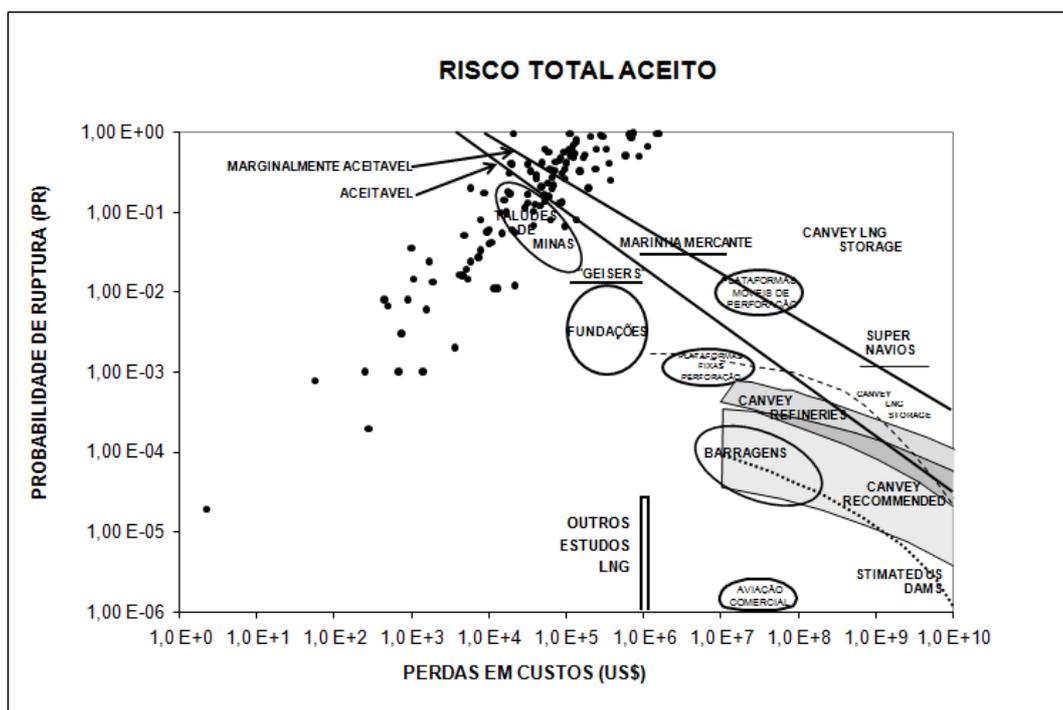


Figura 4.6. Risco total aceito na cidade de Medellín em termos de perdas em custos (US\$).

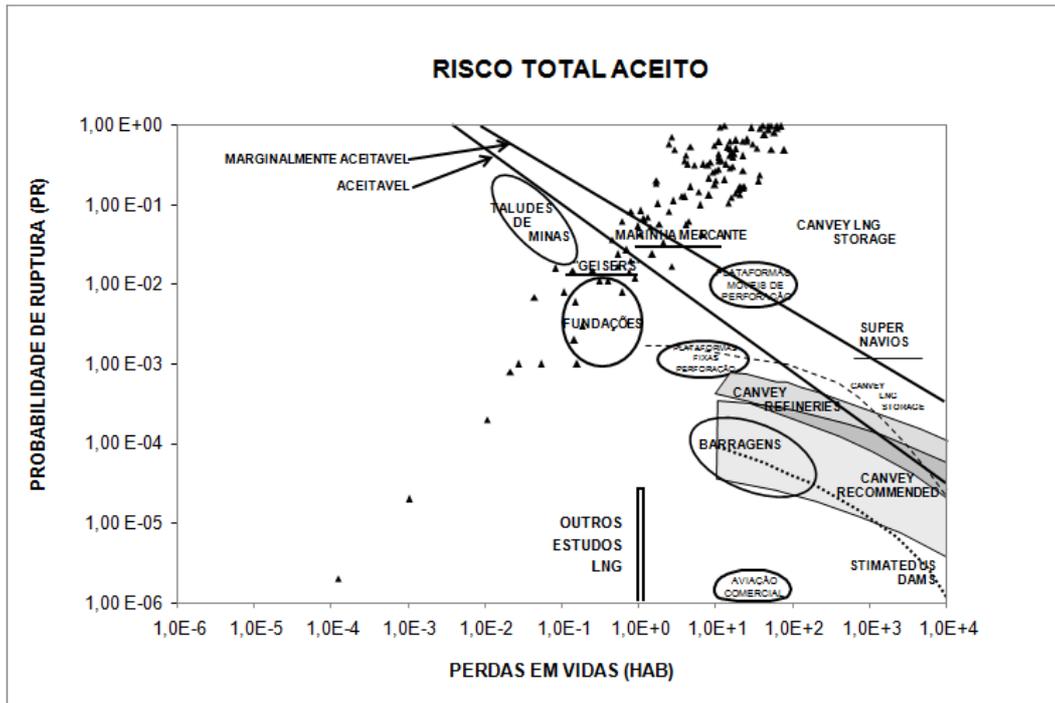


Figura 4.7. Risco total aceito na cidade de Medellín em termos de perdas de vidas (hab).

Com respeito à cidade de Medellín, as entidades de planejamento e controle não definiram ainda qual é o nível de risco aceitável para obras geotécnicas. O que pode ser observado na figura 4.8 é que, segundo a comparação com outros projetos de engenharia, a maioria dos empreendimentos habitacionais encontra-se muito acima dos níveis de risco toleráveis.

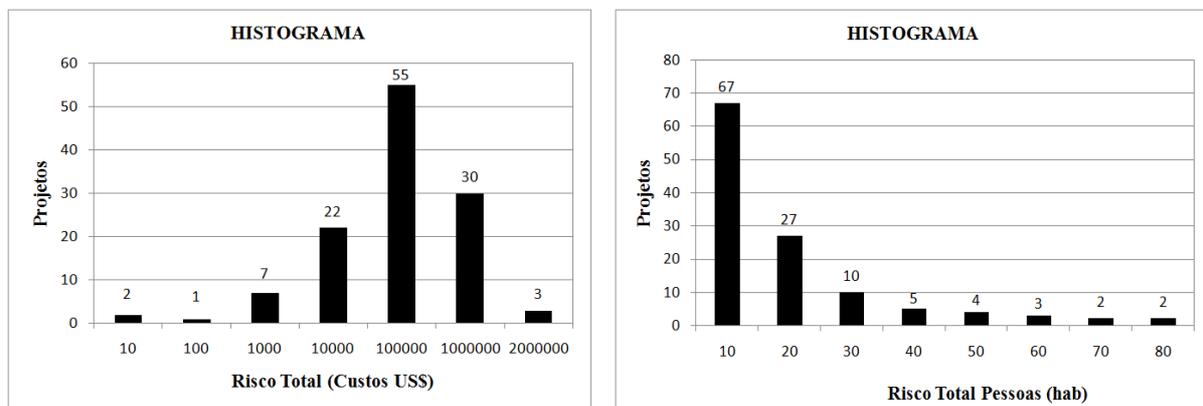


Figura 4.8. Histograma do nível risco total aceito na cidade de Medellín para custos e pessoas.

Neste ponto é fundamental levantar a questão relativa à possibilidade real de quantificar ou não, de uma forma precisa, o risco de um projeto geotécnico. A resposta segundo Whitman (1984) depende da probabilidade de ruptura do projeto, ou seja, do grau de ameaça:

1. Se o projeto tolera uma probabilidade de ruptura relativamente alta (da ordem de 0,05 ou maior) sob condições de solicitação bem estabelecidas, então o risco associado pode ser avaliado rigorosamente para propósitos de tomada de decisões. Esta situação pode ser aplicada unicamente quando perdas econômicas estão envolvidas e não a vida das pessoas.
2. Se o projeto, já consideradas todas as solicitações, exige uma probabilidade de ruptura muito pequena (da ordem de 0,001 ou menor), o risco real não pode ser avaliado de maneira precisa por meio deste tipo de análise. Todavia, a realização de uma avaliação formal da probabilidade de ruptura pode ajudar muito no entendimento do risco e as melhores decisões a serem executadas para reduzi-lo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES SOBRE A METODOLOGIA

A figura 4.6, segundo a proposta de Baecher & Christian (2003), indica que 39,2% dos projetos avaliados encontram-se na área de risco inaceitável, 15,0% na área de risco marginalmente aceitável e na área de risco aceitável estão 45,8% dos projetos. Com relação à figura 4.7, na área de risco inaceitável temos 73,3% dos projetos, só 7,5% na área de risco marginalmente aceitável e por último 19,2% na área de risco aceitável.

Com respeito ao risco total em custo as figuras 4.6 e 4.8 mostram perdas relativamente normais de no máximo US\$ 2'000.000, dado que no máximo 55 projetos dos 120 teriam perdas até US\$100.000. Com relação às perdas obtidas em vidas, das percentagens verificadas nos gráficos 4.7 e 4.8 somente 67 dos 120 projetos (55,8%) avaliados apresentam entre 1 até 10 perdas humanas. Comparado as perdas de vida com o histórico da tabela 5.1 é possível verificar que para a população da cidade de Medellín um deslizamento de terra que gere 10 ou mais mortes são classificados como tragédias. Todavia, isso não quer dizer que as perdas em custos não sejam menos importantes, mas com certeza com a ajuda da gestão pública a população poderá garantir a reposição das habitações.

Tabela 5.1. Eventos trágicos na história de Medellín, produzidos por deslizamentos de massa (Modificado Aristizábal, 2006).

Movimento de massa (Classificação segundo Cruden & Varnes (1996))	Data	Localização	Prejuízos	
			Mortos	Afetados
Fluxo de lama	18 de Jun.1927	<i>Rosellón (Envigado)</i>	18	25
Fluxo de lama	12 de Jul.1954	<i>Media Luna (Santa Elena)</i>	>100	67
Deslizamento de detritos	25 de Jun. 1973	<i>La Manguala (S.A. Prado)</i>	13	24
Fluxo de lama	29 de Sep. 1974	<i>Santo Domingo (Medellín)</i>	>70	1.500
Fluxo de detritos	20 de Out. 1980	<i>San Antonio (Medellín)</i>	>18	250
Deslizamento de detritos	23 de Nov. 1984	<i>Santa María (Itagüí)</i>	10	200
Deslizamento de terra	26 de Sep. 1985	<i>Popular 2 (Medellín)</i>	6	60
Deslizamento de terra	27 de Sep. 1987	<i>Villatina (Medellín)</i>	>500	3.000

Movimento de massa (Classificação segundo Cruden & Varnes (1996))	Data	Localização	Prejuízos	
			Mortos	Afetados
Fluxo de lama	4 de Feb. 2005	<i>El Barro (Bello)</i>	42	60
Deslizamento rotacional complexo	28 de Mai. 2007	<i>La Cruz</i>	8	>60
Deslizamento de detritos	31 de Mai. 2008	<i>EL Socorro (Medellín)</i>	27	>60
Deslizamento de terras	16 de Nov. 2008	<i>Alto Verde (Poblado)</i>	12	>12
Fluxo de terra	5 de Dez. 2010	<i>La Gabriela (Bello)</i>	85	>130

Destaca-se também que 81% dos projetos superam a probabilidade de ruptura de 2% recomendada para a cidade segundo AMVA (2008). Além disso, a confiabilidade também representa um parâmetro de segurança, que segundo Wihtman (1984) e AMVA (2008) se encontra estabelecido em $\beta = 2$, permitindo assim colocar outro limite para o nível de risco aceitável para os diferentes projetos ou atividades a serem realizadas.

Na metodologia de avaliação da vulnerabilidade especificamente na metodologia proposta por Uzielli et al. (2008), foram mudados e adicionados alguns parâmetros e variáveis como as áreas de projeto, pânico e da estrutura, cálculo do valor médio do fator da idade e da intensidade do deslizamento, com o intuito de poder incluir dados obtidos da informação coletada na cidade de Medellín. O resultado da interação entre as metodologias apresentou-se compatível com as características da cidade.

O cálculo da média do fator da idade (ξ_{AGE}) utilizado no índice de vulnerabilidade das pessoas dentro e fora das estruturas de cada um dos projetos foi realizado fazendo uso da média ponderada. Para tanto, levou-se em consideração a porcentagem de participação da população segundo o CENSO (2005) de cada uma das faixas de idade contempladas na tabela 2.3 propostas por Uzielli et al. (2008).

O cálculo da densidade populacional na área de interesse (DP_i) expressou o aumento da população da cidade de Medellín no período de 1993 até 2020 (DNP, 2006). Logo, 65% dos projetos excederem o máximo de 10.000 hab/km² proposto por Uzielli et al. (2008), tal como foi apresentado na equação 2.14.

O custo da reposição das estruturas foi avaliado tendo em conta apenas o custo do metro quadrado no mercado da cidade de Medellín. Este custo comercial representa somente a reposição das habitações não levam em conta as possíveis reformas feitas pelos proprietários.

Por último, mas não menos importante, se conclui que na cidade de Medellín deve haver planejamento das obras que tenham em conta critérios de risco. Assim, ao diminuir a vulnerabilidade ou a ameaça o risco também diminuirá. Isso pode ser aplicado nas obras fazendo análises de estabilidade de taludes, estruturas reforçadas, fundações profundas, entre outros.

5.2 CONCLUSÕES PARA A CIDADE DE MEDELLÍN

A seguir são apresentadas as conclusões gerais mais significativas sobre os estudos de solos e os resultados das análises complementares realizados no âmbito deste projeto. Os 120 projetos avaliados nesta pesquisa foram selecionados entre mais de 200 projetos em estudo na cidade de Medellín. Esses projetos tinham como características principais as seguintes:

- Foi observado que 51% dos estudos analisados apresentam uma única ferramenta de estimativa de parâmetros geotécnicos, o ensaio de penetração standart (SPT). Nestes casos, os consultores têm usado, muitas vezes erradamente, os resultados deste ensaio em conjunto com a classificação dos solos, para obter por meio de correlações, os parâmetros necessários tanto para estimar a capacidade de carga de fundações como para a análise de estabilidade de taludes. Tais parâmetros, coesão e ângulo de atrito, raramente foram medidos através de procedimentos de amostragem aceitável e ensaios de laboratório.
- Aproximadamente 34% dos estudos dos solos analisados não tinham uma descrição geológica-geotécnica adequada do terreno, ou pior, eles tinham informações correspondentes a locais vizinhos ou de outros projetos realizados pelo mesmo consultor em outra parte da cidade.
- Somente 7,6% dos estudos do solo apresentaram uma análise precisa da informação geológica útil para a definição dos parâmetros geotécnicos. A prática comum entre as empresas consultoras no que se refere à informação geológica é incluir algumas orientações gerais sobre a geologia regional de Valle de Aburrá sem nenhuma ligação com as características específicas do lote avaliado. Verifica-se, portanto, que não existe consciência da importância dos detalhes geológicos na definição das condições adequadas para o projeto geotécnico.

- A revisão dos fatores de segurança dos taludes e encostas de vários projetos permitiu verificar que cerca de 65,8% dos projetos apresentam 10% ou mais de probabilidade anual de ruptura, conseqüentemente verifica-se baixos níveis de confiabilidade, ou seja, $\beta < 2$. Logo, considerando que os códigos geotécnicos menos conservadores no mundo estabelecem como limite mínimo para o índice de confiabilidade o valor de 2 (AMVA, 2008), os projetos de Medellín não atendem tais limites mínimos.
- Nas visitas de campo realizadas aos projetos se observou a falta de obras de drenagem superficial e sub-superficial, taludes em realização expostos a chuvas intensas, taludes sem obras de proteção da face, inclinações muito altas, entre outras coisas que permitem que a água se infiltre, sature o solo, aumente a poro-pressão e, portanto a probabilidade de ruptura do talude e o risco aumentam, principalmente, em temporadas de chuvas intensas, como as acontecidas no ano 2010 na cidade de Medellín.
- A quantificação do risco associado a cada talude ou encosta é feita usando o conceito tradicional de que o risco é uma combinação entre ameaça e vulnerabilidade. A ameaça foi quantificada em termos da probabilidade de ruptura. A vulnerabilidade é mais difícil de ser quantificada, mas foi considerada a combinação de duas metodologias, Uzielli et al. (2008) e Botero-Fernandez (2009). Os autores recomendam a interação entre a fragilidade das estruturas expostas e o valor comercial das mesmas com a intensidade do evento. Considerando à falta de informação na cidade de Medellín, referente aos deslizamentos ali ocorridos ao longo da história buscou-se certa simplicidade nos cálculos. Então, estimou-se que diante da ocorrência de um evento, as estruturas e as pessoas localizadas dentro da área afetada pelo deslizamento teriam um grau máximo de exposição à intensidade do deslizamento de 1 (nível máximo), perdendo a funcionalidade da estrutura e, no caso de presença de pessoas, resultando em fatalidade. Esta hipótese adota uma postura conservadora na análise, considerando o fato de que os deslizamentos mais notáveis que ocorrem na cidade de Medellín destruíram todas as estruturas atingidas além de causar um alto número de mortes.

De acordo com todos os resultados obtidos, o risco total aceito calculado para a cidade de Medellín (ver figuras 4.6, 4.7 e 4.8) é muito alto quando se considera que 44% dos projetos (53 projetos) poderão produzir mais de 10 mortes. Segundo o histórico de Medellín, esse valor pode ser classificado como uma tragédia. Considerando algumas propostas de outros países como Hong Kong e Holanda que são muito rígidos na hora de colocar os níveis de probabilidade de ruptura tolerável e a quantidade de perdas em vidas permitidas, a cidade de Medellín possui os índices de probabilidade de ruptura maiores que nesses países.

Portanto a Figura 5.1 apresenta uma das muitas propostas de avaliação do risco total tolerável, que poderiam ser analisadas para a cidade. A proposta descreve três áreas diferentes, onde cada uma das linhas e pontos foi desenhada seguindo um critério, seja de uma proposta existente ou dados históricos:

- Área aceitável: foi usada a proposta de Whitman (1984) na qual não é aceita uma probabilidade de ruptura maior que 5% caso possam acontecer perdas de vidas humanas (Ponto A na Figura 5,1). Todavia, as metodologias de Hong Kong e Holanda aceitam um risco social maior quando probabilidades de rupturas muito baixas são impostas ao projeto. Sendo assim foi adotado como valor limite inferior para esta área o valor de probabilidade de ruptura de 0,00001 para um risco social de 100 vidas (Ponto B na Figura 5,1).
- Área marginalmente aceitável: Considerando o histórico reportado na Tabela 5.1 foi proposto como limite máximo tolerável um valor de risco social de 20 vidas (Ponto C na Figura 5,1) indicado por uma linha vertical.
- Área inaceitável: corresponde a área onde nenhum dos projetos analisados cumpriria com os critérios de risco tolerável adotados para esta proposta. Encontra-se acima da linha horizontal definida pelo valor máximo tolerável de probabilidade de ruptura ($PR=0,05$) e à direita do valor máximo de risco social tolerável (20 vidas). Estes limites estão definidos pelo ponto D na Figura 5.1.

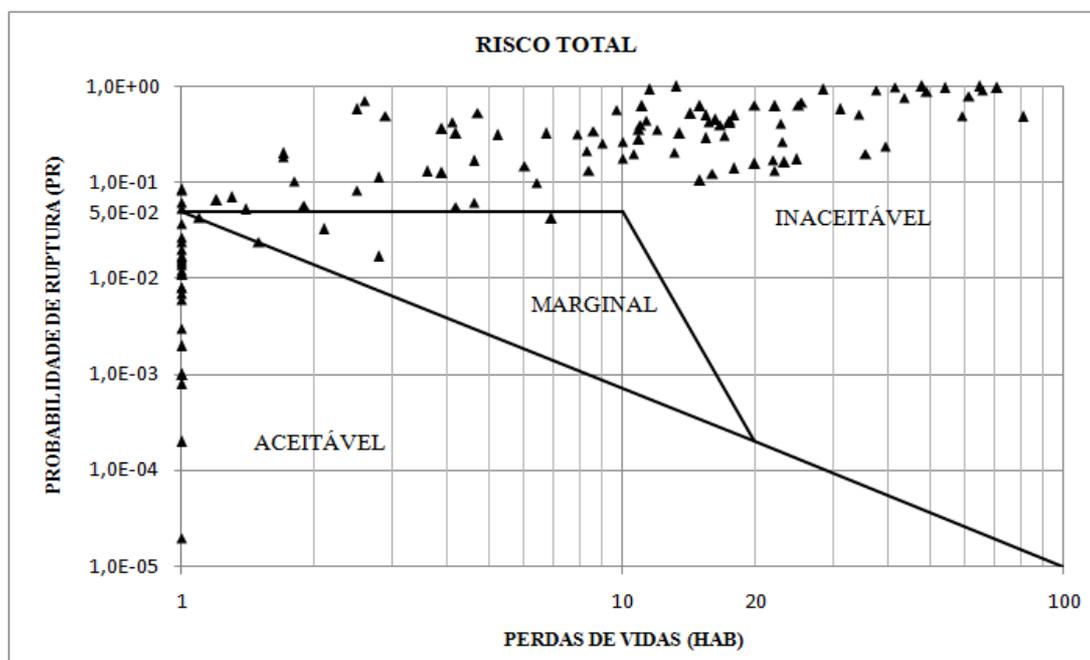


Figura 5.1. Proposta para o risco social tolerável, associado a projetos de estabilidade de encostas e taludes, para a cidade de Medellín - Colômbia.

Plotando os resultados obtidos do risco total para pessoas na figura 5.1, encontra-se que 73,3% (88 projetos) dos projetos avaliados encontram-se na área de risco inaceitável, 5,0% (6 projetos) na área de risco marginalmente aceitável, enquanto que na área de risco aceitável estão 21,67% (29 projetos) dos projetos.

5.3 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se estabelecer e regulamentar processos de coleta de informação de deslizamentos de massa que levem em conta certo grau de intensidade. Dentre as informações relevantes destaca-se: o volume, a velocidade do evento e, para fortalecer a metodologia da vulnerabilidade das pessoas dentro e fora das estruturas recomenda-se, incluir o deslocamento das pessoas ao longo do dia como é proposto por Botero-Fernández (2009).

É necessário por parte das entidades governamentais encarregadas de concederem as licenças de construção, realizarem uma análise mais detalhada de estudos de solos e projetos que os construtores devem apresentar para solicitar a licença para construção. Enfim, dedicar maior atenção às informações contidas nos estudos do solo e verificar que as informações contidas sejam correspondentes ao lugar da obra, verificar também que tenha todos os anexos, ensaios, mapas topográficos, análise de estabilidade de taludes, se necessário, e todas as outras informações relevantes ao projeto.

Desenvolver entre as entidades governamentais e não governamentais responsáveis pela gestão, administração e classificação das informações de cada um dos projetos uma metodologia eficaz que permita o empréstimo e consulta das informações em menor tempo possível.

Considerando a experiência adquirida em projetos anteriores, recomenda-se que as entidades responsáveis do planejamento da cidade estabeleçam medidas eficientes para obrigar os consultores a identificar a localização do seu projeto dentro do mapa de zoneamento por movimentos de massas para determinar assim, segundo a categoria de ameaça, os requisitos mínimos que os estudos geotécnicos devem considerar (Tabela 5.2).

Entre outras recomendações propõem-se novas pesquisas, nas quais se possam aprofundar nos seguintes temas:

- A relação chuva-deslizamento, incluindo o estudo dos mecanismos que ligam a chuva com a infiltração e a perda de resistência, destacando-se a não saturação dos solos superficiais.
- O estudo do impacto causado pelos diversos tipos de ocupação do solo em áreas de encostas sem planejamento ou mal planejado.
- Incluir no cálculo da vulnerabilidade das pessoas o efeito dos deslocamentos diários no que se refere à ocupação dos edifícios.
- Incluir o uso da edificação como: hospitais, bombeiros, polícia, serviços sociais, comerciais, entre outros.
- Regulamentar e melhorar a gestão do risco na cidade de Medellín permitindo a atenção rápida aos possíveis desastres e a fiscalização que coíba os assentamentos em áreas de ameaça alta. Para os casos de ocupação efetivada da encosta é necessária a realização de obras de eliminação, mitigação ou convivência do risco.

Tabela 5.2. Resumo das recomendações para estudos de solos e ocupação de diferentes áreas, em Medellín, em conformidade com a qualificação da ameaça por movimentos de massa (Modificado AMVA, 2008)

Ameaça	Prob. Ocorr. de movimento de massa anual (%)	Características gerais	Tipo de detonação	Tipo de ocupação permitida	Estudos a executar
1	0 – 0,2	Apresenta influência significativa da chuva precedente de 15 dias, mas as inclinações são geralmente baixas, há muito poucos processos associados a este tipo de ameaça	Principalmente ao conjunto da chuva acumulada dos 15 dias e as inclinações	Qualquer tipo de estrutura pública ou privada	No mínimo a norma NSR-98
2	0,2 – 3,2	Apresenta influência significativa da chuva precedente de 15 dias; as inclinações são geralmente baixas, há muito poucos processos associados a este tipo de ameaça	Principalmente ao conjunto da chuva acumulada dos 15 dias e as inclinações	Qualquer tipo de estrutura pública ou privada	NSR-98 e fica ao critério do projetista fazer ou não o estudo de estabilidade de taludes ou encostas
3	3,2 – 5,5	È caracterizada por apresentar inclinações altas e muita influência da chuva acumulada de 15 dias além de um intensivo uso agrícola	Principalmente devido à ação conjunta da chuva acumulada dos 15 dias e as inclinações, e, em menor medida os fatores antrópicos como as práticas agrícolas	Qualquer tipo de estrutura pública ou privada	NSR-98, estudos de estabilidade de taludes e encostas, e, opcionalmente segundo o critério do projetista, executar o não o estudo para determinar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa
4	5,5 – 8,5	Influência significativa da chuva precedente de 15 dias, com inclinações médias e com características geológicas e geomorfológicas desfavoráveis. Apresenta uma significativa utilização agrícola e urbana.	Principalmente devido à ação conjunta da chuva acumulada dos 15 dias e por uma geologia e geomorfologia desfavoráveis, e, em menor medida os fatores antrópicos	Qualquer tipo de estrutura pública ou privada	NSR-98, estudos de estabilidade de taludes e encostas, e estudo para determinar a probabilidade de ocorrência de movimentos de massa
5	8,5 – 16,5	Muita influência da chuva combinada de 3 e 15 dias antecedentes. Considera-se que o alto uso urbano, os maus hábitos construtivos somados a unidades geológicas, geomorfológicas e inclinações desfavoráveis, são os motivos para uma alta probabilidade de deslizamentos de terra	Principalmente chuva combinada, uso antrópico ligado às condições desfavoráveis de campo	Somente o estado decide sobre quais projetos podem ser executados	Estudos geotécnicos de detalhe

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldia de Medellín, (2006). Medellín e sua população (Em Espanhol). Documento Técnico de Suporte POT, Acuerdo 46/2006. Medellín.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, AREA (2002). Micro Zonation for Earthquakes in the Aburrá Valley Localities and Risk for Landslides and Flooding Definition (In Spanish), Medellín, Colombia, 213p.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, AMVA (2006), Microzonificação Sísmica Detalhada dos Municípios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas e Envigado (Em Espanhol). Consorcio Microzonificação.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá, AMVA (2008), Zonificação da Ameaça por Movimentos de Massa Detonados por Chuvas no Vale de Aburrá (Em Espanhol). Libro II capítulo I. Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Corantioquia, Alcaldia de Medellín y Municipio de Envigado.

Aristizábal, E. & Yokota, S., (2006). Geomorfología aplicada à ocorrência de deslizamentos no vale de Aburrá (Em Español). Revista Dyna Vol.149, pp. 516.

Aristizábal, E. y Gómez, J. (2007). Inventario de emergências e desastres no vale de Aburrá originados por fenômenos naturais e antrópicos no período 1880-2007 (Em Espanhol). Revista Gestión y Ambiente, Vol. 10 No. 2, p. 17-30.

Baecher, G.B. & Christian, J.T. (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley & Sons, ISBN: 0-471-49833-5. 620 p.

Botero-Fernández V.C., (2009). Geo-information for measuring vulnerability to earthquakes: a fitness for use approach. Doctoral Thesis. University of Utrecht. Netherlands.

Cardona, O.D. (2001). Estimación holística do risco sísmico utilizando sistemas dinámicos complexos (Em Espanhol). Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Del Terreny Cartográfica I Geofísica, Barcelona.

Christian, J.T., Ladd, C.C. & Baecher, G.B. (1994). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. Journal of Geotechnical Engineering, vol 120, No 12: 2180-2207.

Christian, J.T., (2004). Geotechnical Engineering Reliability: How Well Do We Know What We Are Doing?. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © Asce.

Dolar gratis (2011). Cotação do dólar no ano 2006 na Colômbia. <http://dolar.wilkinsonpc.com.co/dolar-historico-2006.html>

Cruden D. M. & Varnes D. J. (1996). Landslides, types and processes. Landslides, Investigation and Mitigation, Special Report 247, Turner A. K. & Schuster R. L. (eds), Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, USA, pp. 36 - 75.

Daí F.C, Lee C.F, y Ngai Y.Y, (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology* 64 (2002) 65–87

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Censo geral 2005 (Em Español). Colombia.

Departamento Nacional de Planeación (DNP), (2006). Medellín e sua População (Em Español). Documento Técnico de Soporte POT, acuerdo 46/2006. Alcaldia de Medellín.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2010). Cálculo do Produto Interno Bruto percapita (PIB percapita) (Em Español). Colombia.

http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&task=category§ionid=33&id=554&Itemid=1056

Dearman W. R. (1991). *Engineering Geologic Mapping*. Butterworth Heinemann, Reino Unido, 387p.

Diamantidis, Düzgün, D. Nadim, F. and Wöhrle, M. 2006. Q On the Acceptable Risk for Structures Subjected to Geohazards. 2006 ECI Conference on Geohazards. Editors: Farrokh Nadim, Rudolf P`ottler, Herbert Einstein, Herbert Klapperich, and Steven Kramer. Lillehammer, Norway, paper 32. <http://services.bepress.com/eci/geohazards/32>

Duncan, J. M, (2000). Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Pp. 307-316.

Einstein, H. & Sousa, R. (2006). Warning System for Natural Threats. 2006 ECI Conference on Geohazards. Editors: Farrokh Nadim, Rudolf P`ottler, Herbert Einstein, Herbert Klapperich, and Steven Kramer. Lillehammer, Norway, paper 1. <http://services.bepress.com/eci/geohazards/1>

Farias, M. M., Assis A. (1998). Uma Comparação Entre Métodos Probabilísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes. Universidade de Brasília. Brasil.

Fell, R. 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Canadian Geotechnical Journal*, vol 31, No 2: 261-272.

Flickr de Yahoo, (2011). Foto panorâmica da cidade de Medellín (Em Español). <http://www.flickr.com/photos/davidpenal/350023280/>

García, H. A. G. (2004). Avaliação da Susceptibilidade aos Movimentos de Massa Usando Sistemas de Informação Geográfica e Redes Neurais Artificiais, Caso de Aplicação Medellín, Colômbia. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-028A/04, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 140 p.

Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M & Reichenbauch P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31:181 - 216.

Hidalgo-Montoya, C. A.(2009). Risco admissível e tolerável em estabilidade de taludes. Universidade de Brasília. Seminario da disciplina: Riscos Geológicos Aplicados ao Meio Ambiente.

Hong Kong Government Planning Department (1994). Hong Kong Planning Standards and Guidelines, Chapter 11, Potentially Hazardous Installations. Hong Kong.

HSE (1982). A Guide to the Notification of Installations Handling Hazardous Substances Regulation. London, HMSO.

HSE (1991). Major Hazard Aspects of the Transportation of Dangerous Goods. London, HMSO.

HSE (1992). Safety Assessment Principles for Nuclear Plants. London, HMSO.

Hungr, O., (1997). Some methods of landslide intensity mapping. In: Cruden, D.M., Fell, R. (Eds.), Landslide risk assessment — Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, 19–21 February 1997. Balkema, Rotterdam, pp. 215–226.

Isaza, P. A. & Martínez-Carvajal, H. E., (2010). Avaliação do risco aceitável por deslizamentos de taludes em regiões tropicais montanhosas: Caso Medellín (Em Espanhol). XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Acapulco, Mexico.

Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, et al., M., Lacasse, S., (2010). Quantitative Vulnerability Estimation for Scenario-Based Landslide Hazards. *Landslide* (2010) 7:125-134.

Ojeda J., Donnelly L., (2006). Landslide in Colombia and their impact on towns and cities. The Geological Society of London. Paper number 112.

Parra-Pichardo, Y., (2004). Análise de vulnerabilidade a deslizamentos no Distrito de Orosi, Provincia de Cartago (Em Español), Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Periodico El Espectador, (2008). Foto do deslizamento do Bairro El Socorro. Medellín-Colômbia (Em Espanhol).
<http://www.elespectador.com/noticias/nacional/imagen-avalancha-comuna-13>

Periodico El Espectador, (2008). Foto do deslizamento Bairro Alto Verde. Medellín-Colômbia (Em Español).
<http://www.elespectador.com/noticias/nacional/articulo94899-comision-del-senado-analiza-desastre-alto-verde>

Peschl, G.M. & Schweiger, H.F. (2003). Reliability analysis in geotechnics with finite elements – comparison of probabilistic, stochastic and fuzzy set methods. In: Proceedings of the 3rd international symposium on imprecise probabilities and their applications (ISIPTA_03). Canada: Carleton Scientific; p. 437–51.

Phoon, K-K., (2008). Reliability-Based Design in Geotechnical Engineering. Computations and Applications. Taylor & Francis e-Library.

Pueblos 2.0, (2011). Mapa ampliado de Antioquia, relevo (Em Espanhol).
<http://www.pueblos20.net/colombia/maparelieve.php?id=936>

Sistema Municipal de Prevención y Atención de Desastres de Medellín, SIMPAD (1999). Instrumentação e Microzonificação Sísmica da Área Urbana da Medellín (Em Espanhol). Secretaria Privada del Municipio de Medellín, Medellín, Colombia, 135p.

Schweiger, H.F. & Peschl, G.M. (2005), Reliability analysis in geotechnics with the random set finite element method. *Computers and Geotechnics*, 32, 422-435. Elsevier.

Sociedade Internacional de Mecanica de Solos e Engenharia, ISSMGE. (2004). Glossary of Risk Assessment Terms. http://www.engmath.dal.ca/tc32/2004Glossary_Draft1.pdf

Starr, C. and Whipple, C. (1980). Risks of risk decisions. *Science* 208(4448): 1114–1119.

Tang, W. H., Stark, T. D., and Angulo, M. (1999). Reliability in back analysis of slope failures. *J. Soil Mech. and Found.*, Tokyo, October.

Universidad Nacional de Colombia (UNAL, 1987). Foto deslizamento Bairro Villatina. Medellín-Colômbia (Em Espanhol).
<http://agora.unalmed.edu.co/galeria/displayimage.php?album=10&pos=8>

Universidad Nacional de Colombia (UNAL, 2010), Consultoria para Identificar e Prevenir Situações de Instabilidade nas Encostas da Medellín, Associadas a Processos Urbanísticos Construídos e em Realização (Em Espanhol). Alcaldía de Medellín y Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín).

Uzielli, et al., M., (2006). Risk and vulnerability for geohazards — probabilistic estimation of regional vulnerability to landslides. ICG Report 2006-2-7, Oslo.

Uzielli, et al., M., Nadim, F., Lacasse, S., Kaynia, A. M. (2008). A Conceptual Framework for Quantitative Estimation of Physical Vulnerability to Landslides. *Engineering Geology* 102 (2008) 251–256.

Vélez M V. O., Hoyos F. P. Vélez J. I. U. & Gómez S. I. (1993). A methodology for the study of the hydrogeologic parameters in landslides (In Spanish). 3a Conferencia Latinoamericana de Hidrogeología Urbana, Cartagena, Colômbia, 349 – 359.

Versteeg, M. (1987). External safety policy in the Netherlands: An approach to risk management. *Journal of Hazardous Materials* 17: 215–221.

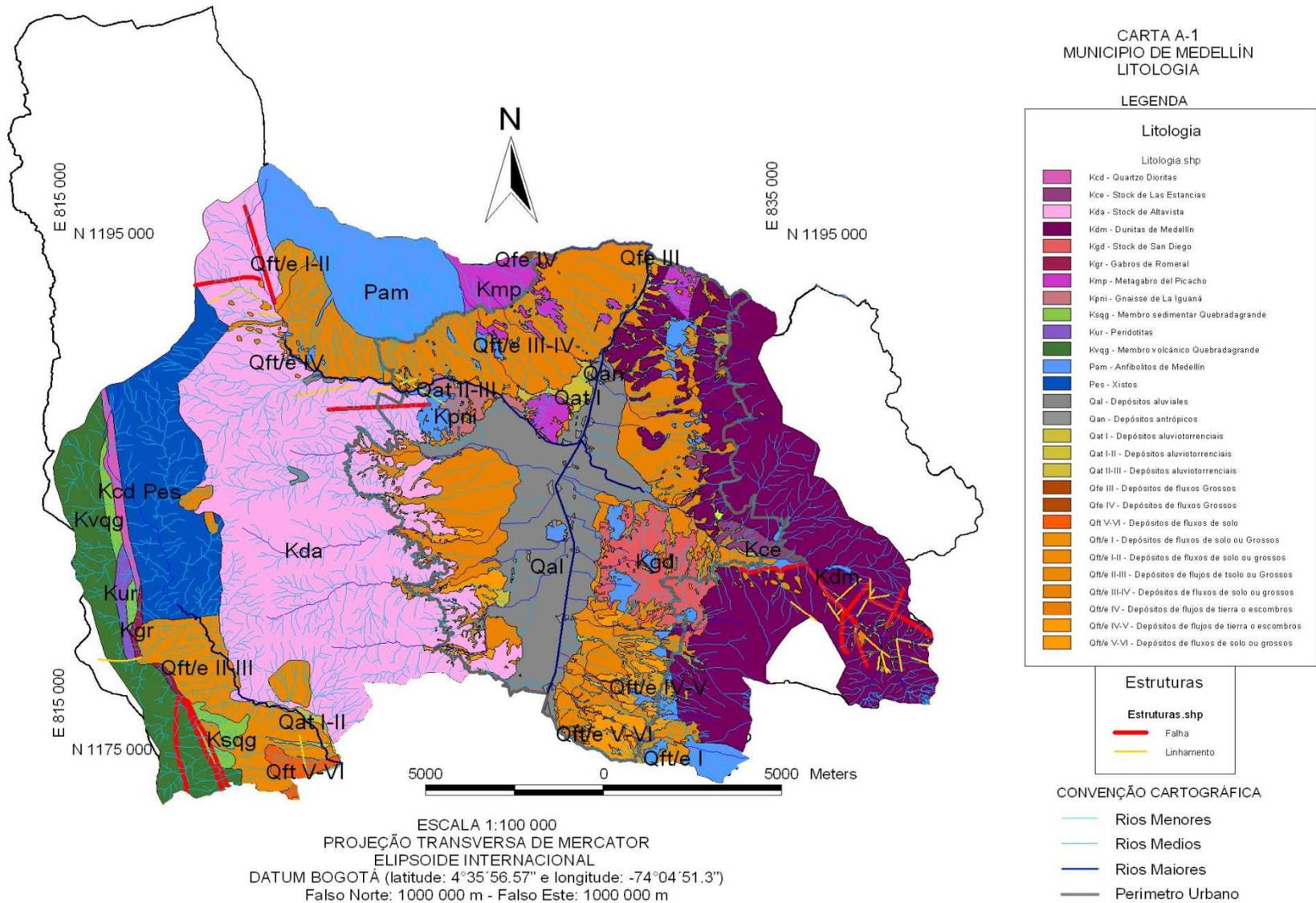
Whitman, R. V. (1984). The Seventeenth Terzaghi Lecture. Presented at the American Society of Civil Engineers 1981 Convention and Exposition.

Whitman, R.V. 2000. Organizing and evaluating uncertainty in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 126, No 7: 583-593.

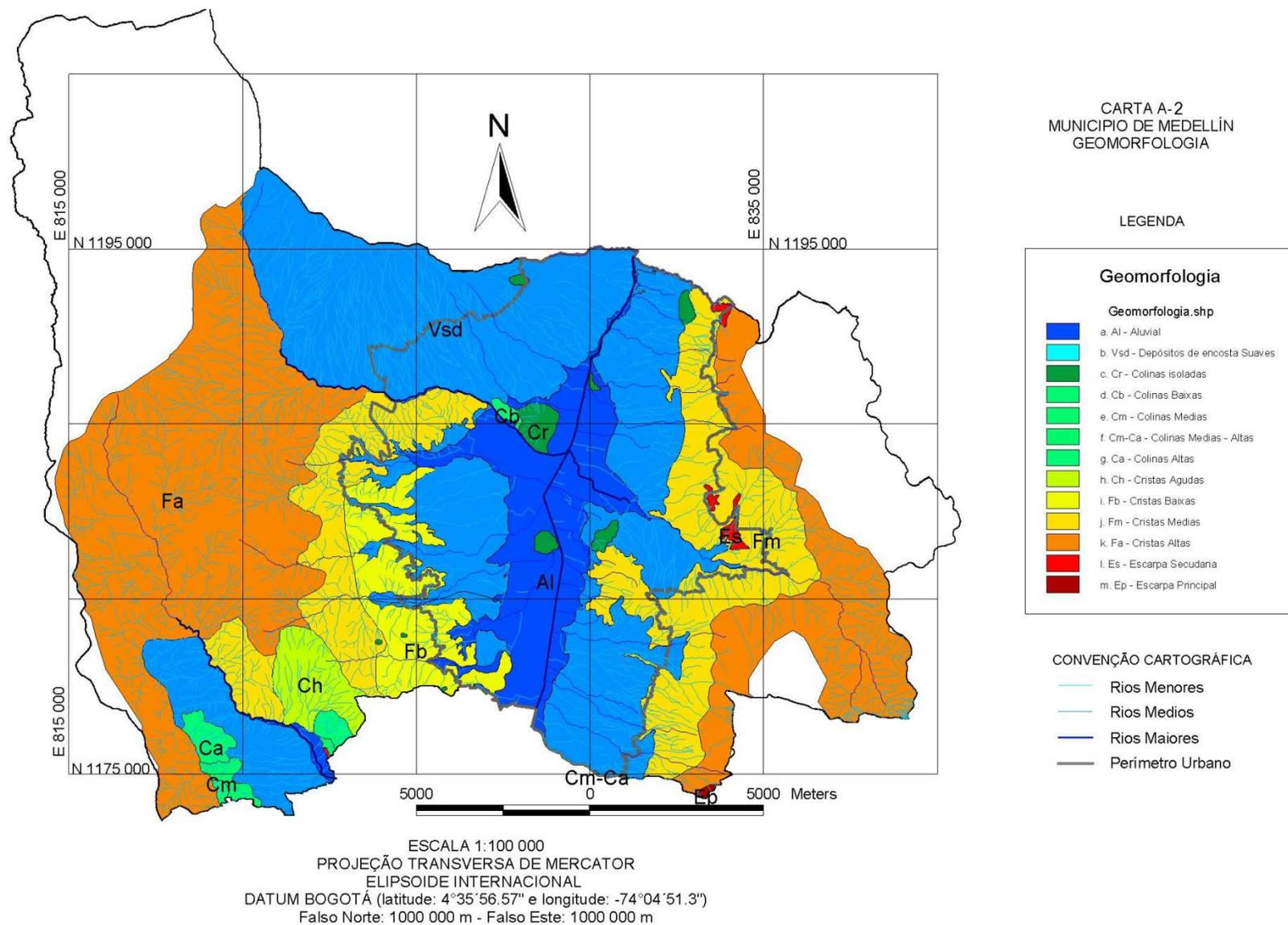
Wilches-Chaux, G. (1989). Desastres, ecologismos y formación profesional. SENA, Popayan, Colombia.

ANEXO A
MAPAS

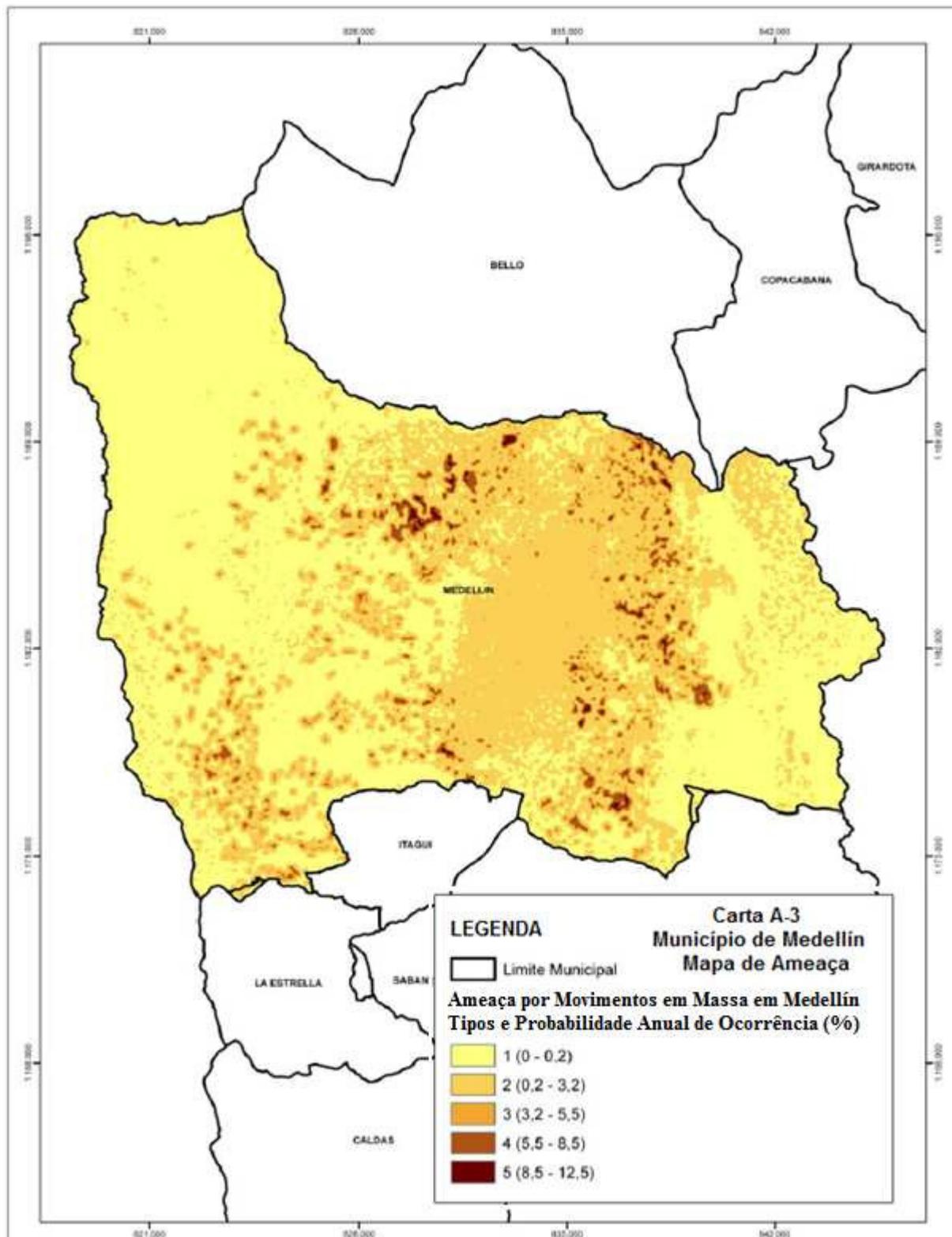
ANEXO A.1. GEOLOGIA (CARTA A-1) (García, 2004)



ANEXO A.2. GEOMORFOLOGIA (CARTA A-2) (Garcia, 2004)



ANEXO A.3. MAPA DE AMEAÇA (AMVA, 2008)



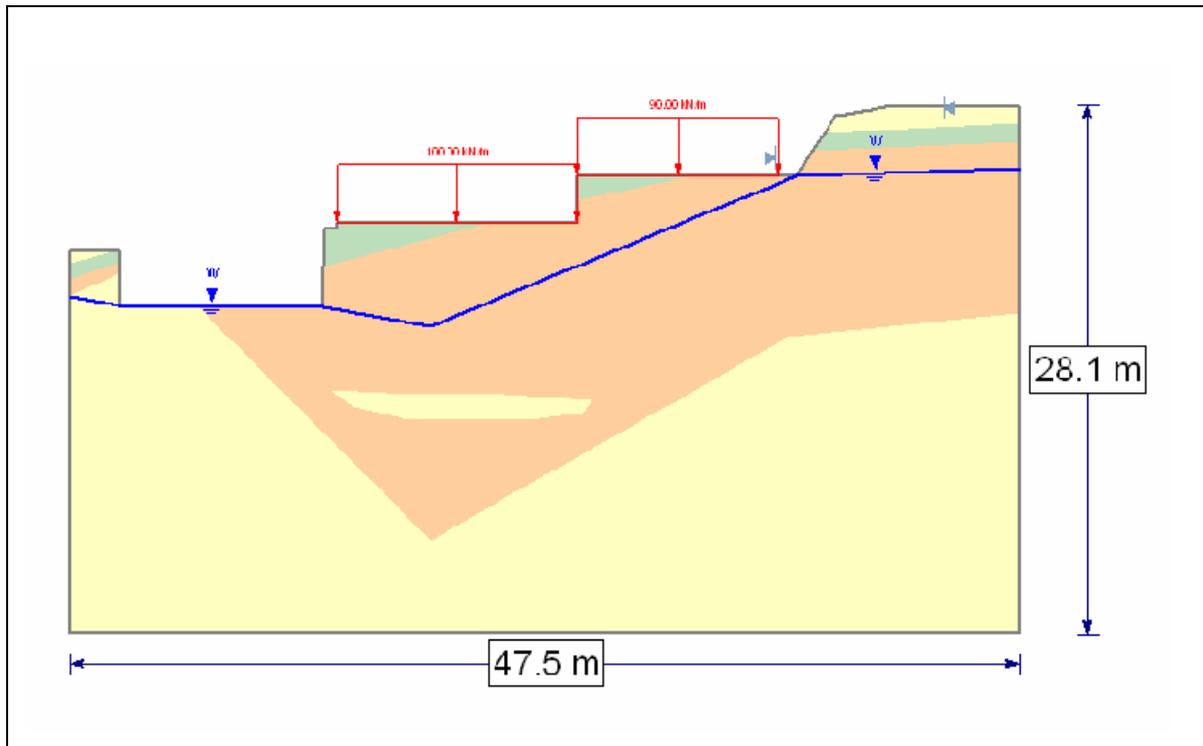
ANEXO B

DADOS GERAIS DOS

TALUDES E PERFIS

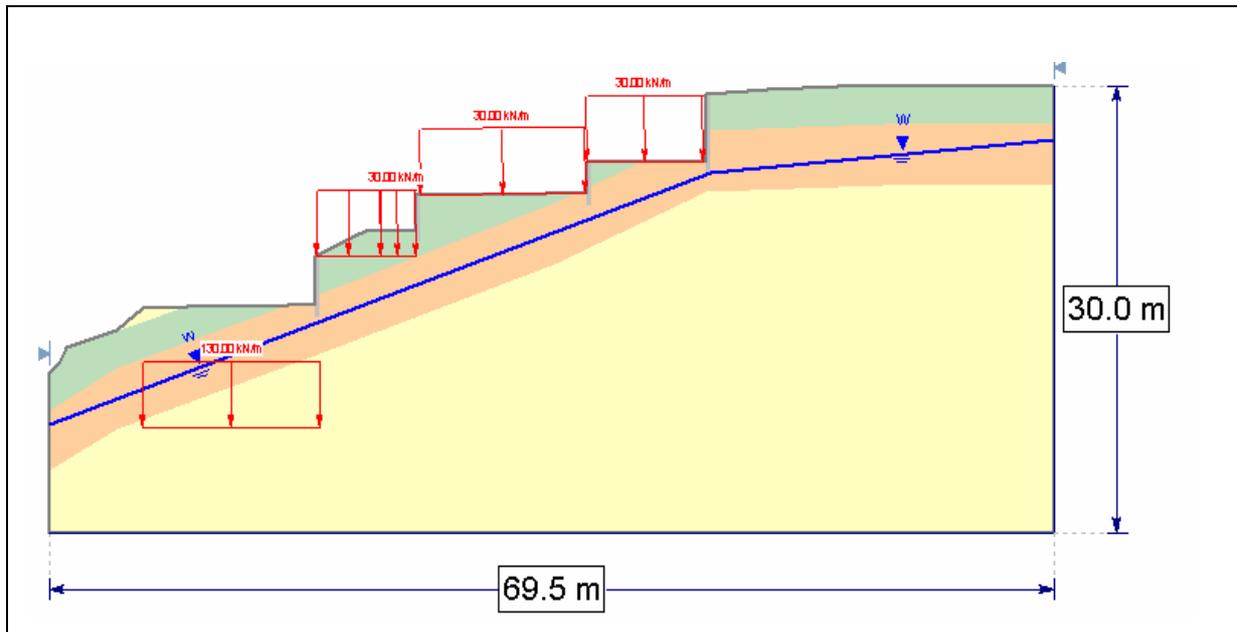
Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos de risco total são apresentados nesse anexo os 120 projetos, os quais se encontram numerados na sequência que foi analisado e que cada análise contém os perfis geotécnicos, as camadas destes perfis conservam o nome dado nos estudos de solos entregados pelas empresas consultoras, além dos parâmetros e os resultados obtidos utilizando o método probabilístico das estimativas pontuais ou de FOSM.

ANEXO B.1. BALCONES DE MIRAFLORES.



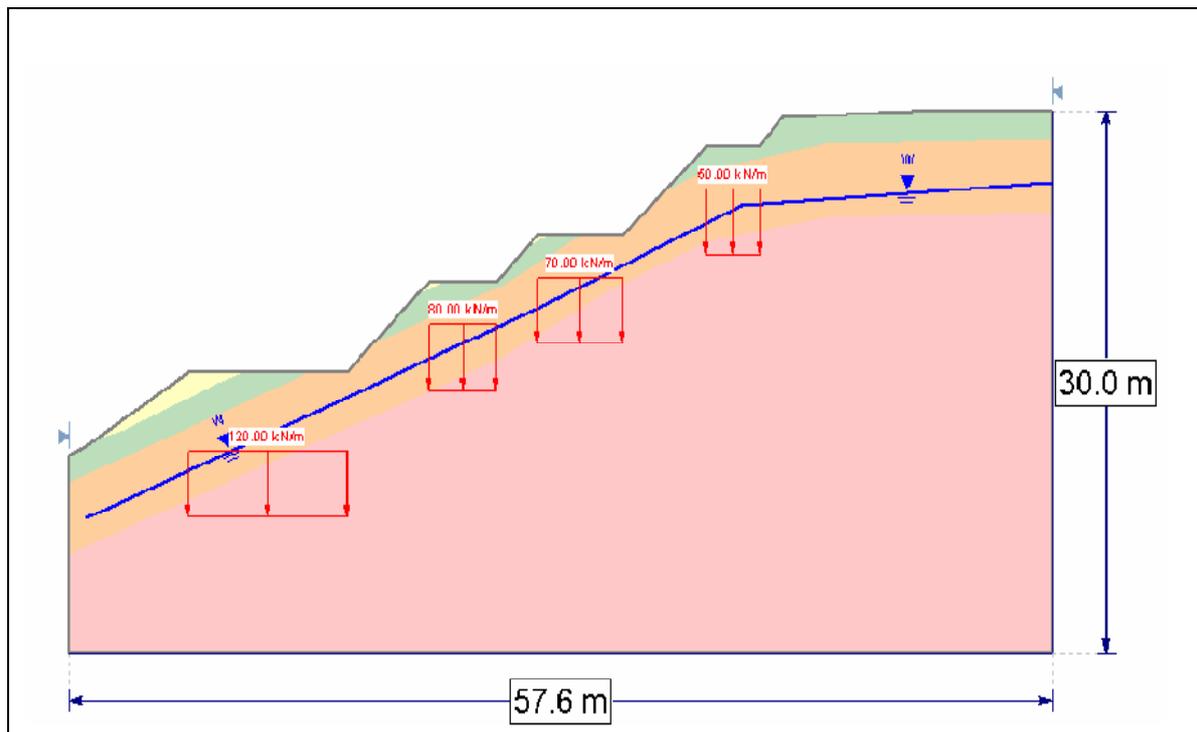
CAMADA		PARÂMETROS	
 Argila 1	C (kN/m ²)	9,0	
	φ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
 Argila 2	C (kN/m ²)	18,1	
	φ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,83	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,14	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,38	
Índice de confiabilidade	β	2,1	
Probabilidade de ruptura	PR	1,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		4.366,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.2. BOSQUES DE SAN DIEGO T1.



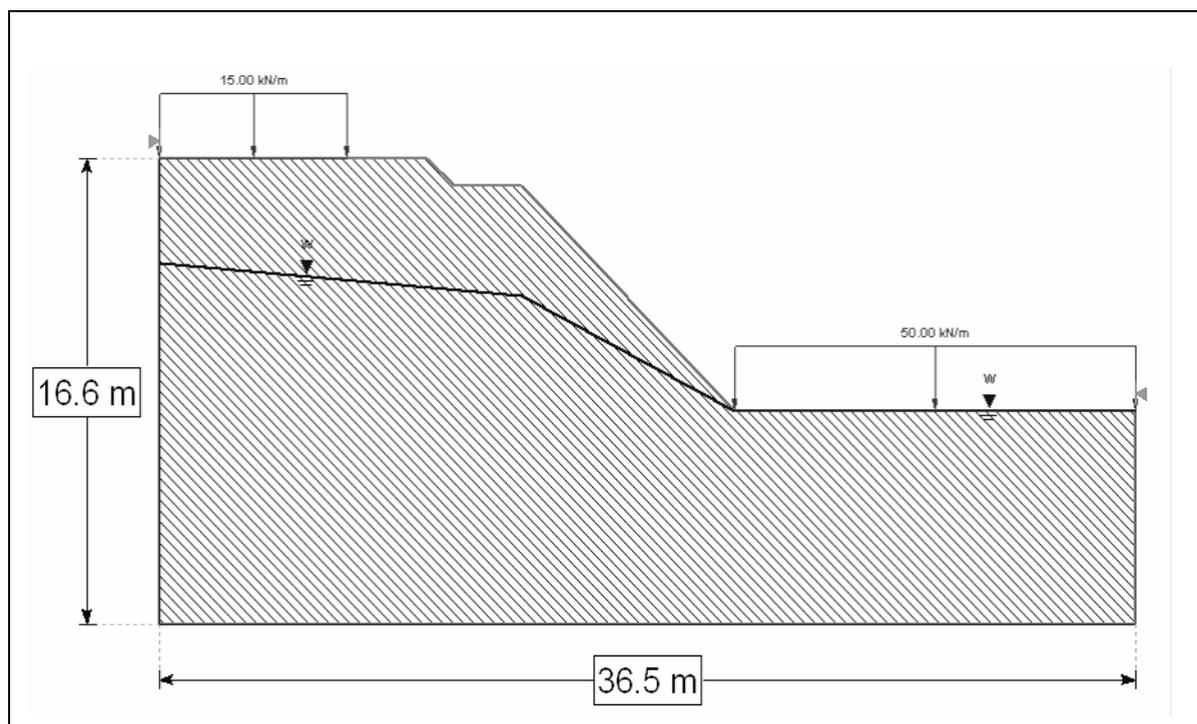
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico Silte-Argiloso	C (kN/m ²)	2,0	
	φ (°)	22,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,89	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,01	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,09	
Indice de confiabilidade	β	-1,82	
Probabilidade de ruptura	PR	88,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		713.296,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		48,8	

ANEXO B.3. BOSQUES DE SAN DIEGO ETAPA 2.



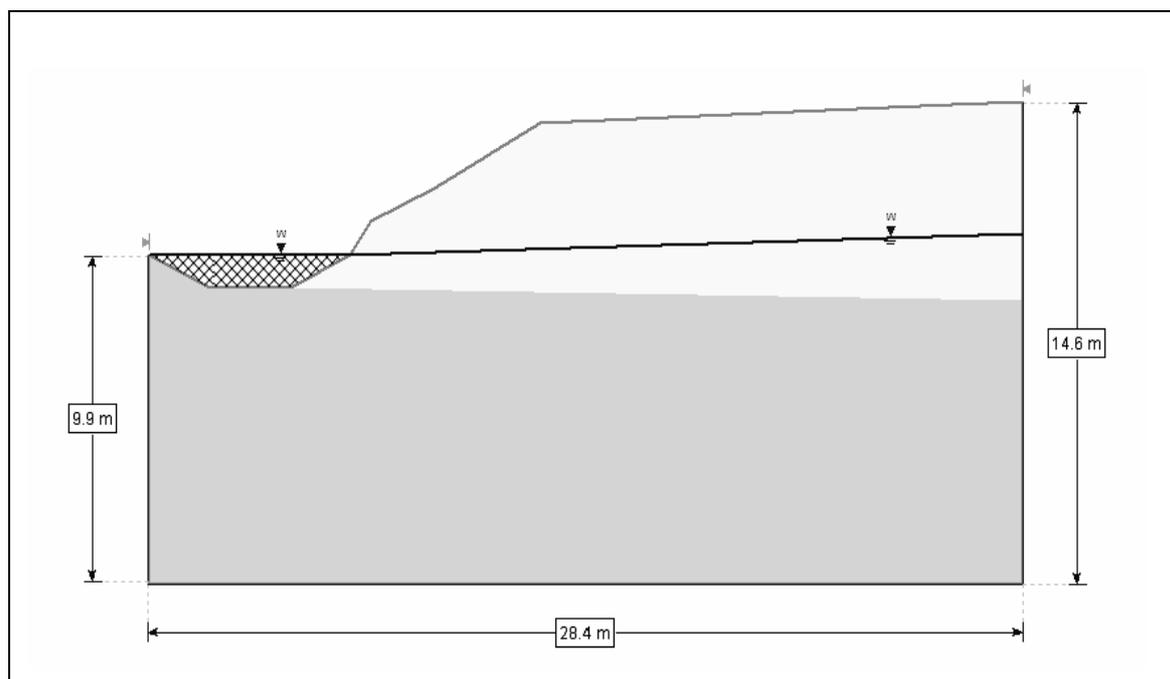
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico Silte-Argiloso	C (kN/m ²)	2,0	
	φ (°)	22,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,76	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,01	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,08	
Índice de confiabilidade	β	-3,0	
Probabilidade de ruptura	PR	99,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		658.870,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		47,7	

ANEXO B.4. TORREONES DE CATALUÑA.



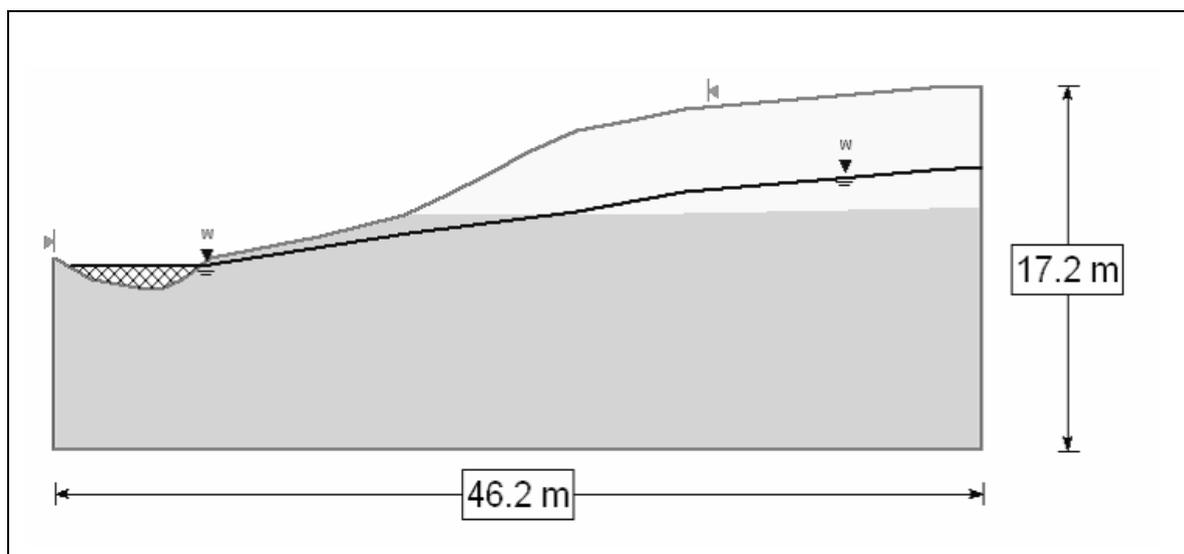
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxos 1	C (kN/m ²)	13,5	
	φ (°)	25,2	
	γ (kN/m ³)	18,9	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,1	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,16	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,4	
Indice de confiabilidade	β	0,3	
Probabilidade de ruptura	PR	39,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		19.496,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		16,6	

ANEXO B.5. HUNGRIA T1.



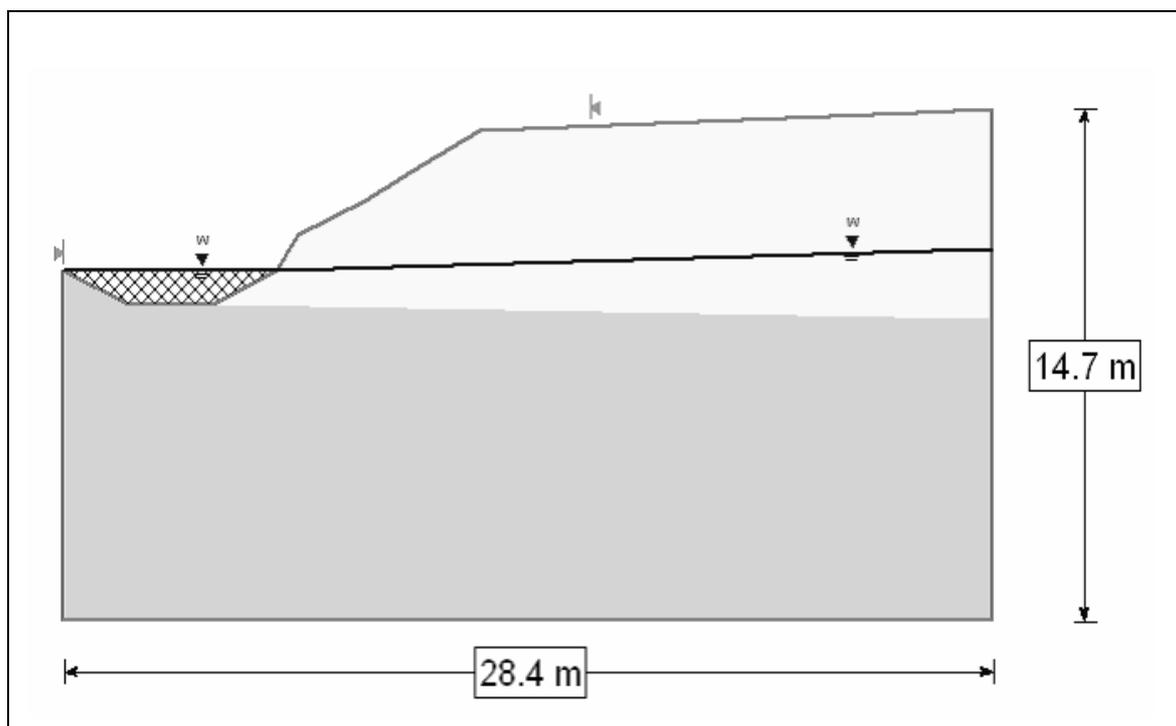
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; background-color: #e0e0e0; margin-right: 5px;"></div> Residual 1	C (kN/m ²)	9,1	
	φ (°)	29,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
<div style="display: inline-block; width: 20px; height: 20px; border: 1px solid black; background-color: #808080; margin-right: 5px;"></div> Residual 2	C (kN/m ²)	9,1	
	φ (°)	35,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio		E(FS)	1,33
Variança do fator de segurança		V(FS)	0,09
Desvio padrão do fator de segurança		σ(FS)	0,30
Indice de confiabilidade		β	1,1
Probabilidade de ruptura		PR	13,3%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		86.760,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		8,2	

ANEXO B.6. HUNGRIA T2.



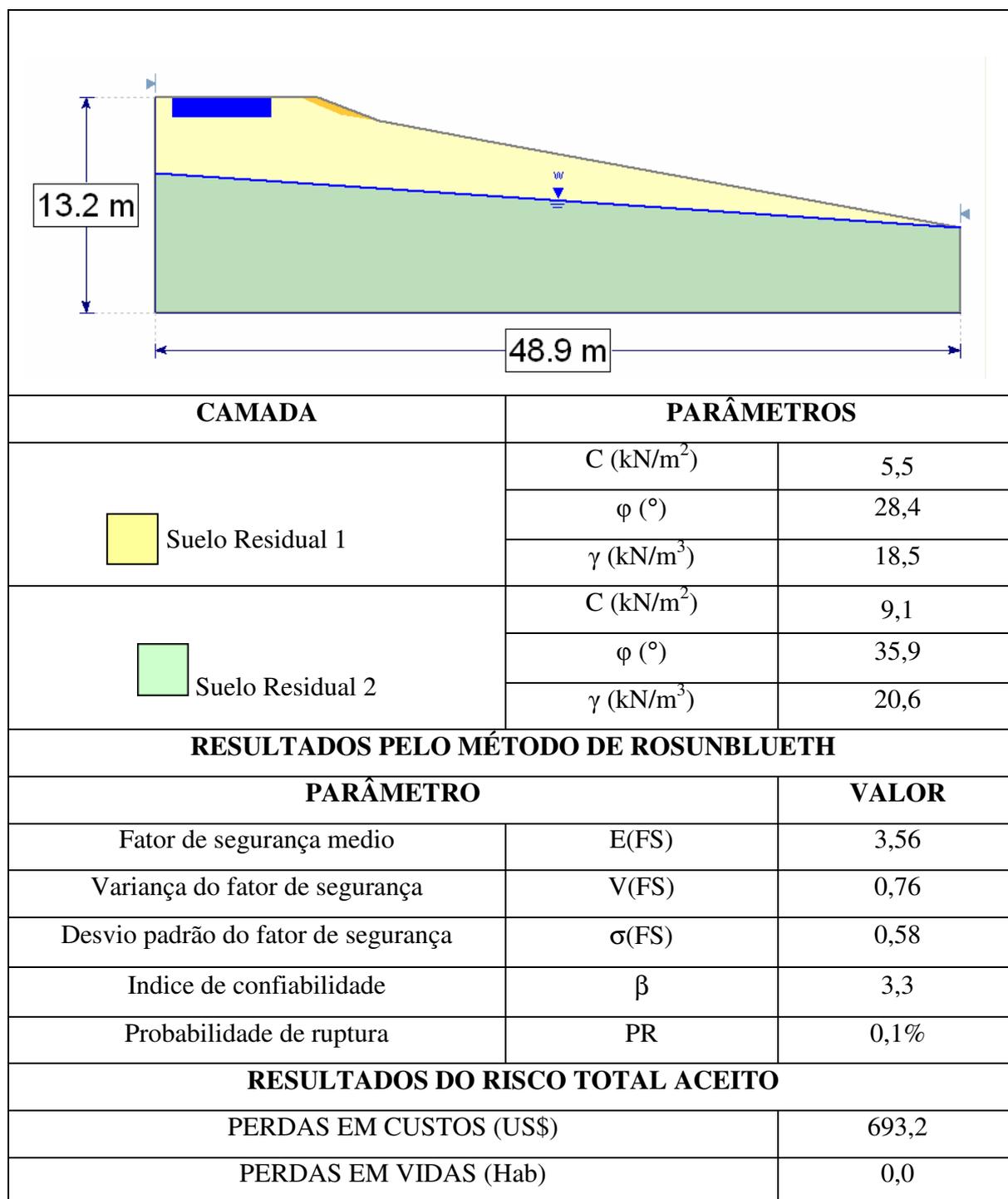
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Residual 1 </div>	C (kN/m ²)	9,1	
	φ (°)	29,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Residual 2 </div>	C (kN/m ²)	9,1	
	φ (°)	35,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio		E(FS)	2,37
Variança do fator de segurança		V(FS)	0,09
Desvio padrão do fator de segurança		σ(FS)	0,30
Indice de confiabilidade		β	4,6
Probabilidade de ruptura		PR	0,0002%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		0,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,0	

ANEXO B.7. HUNGRIA T3.

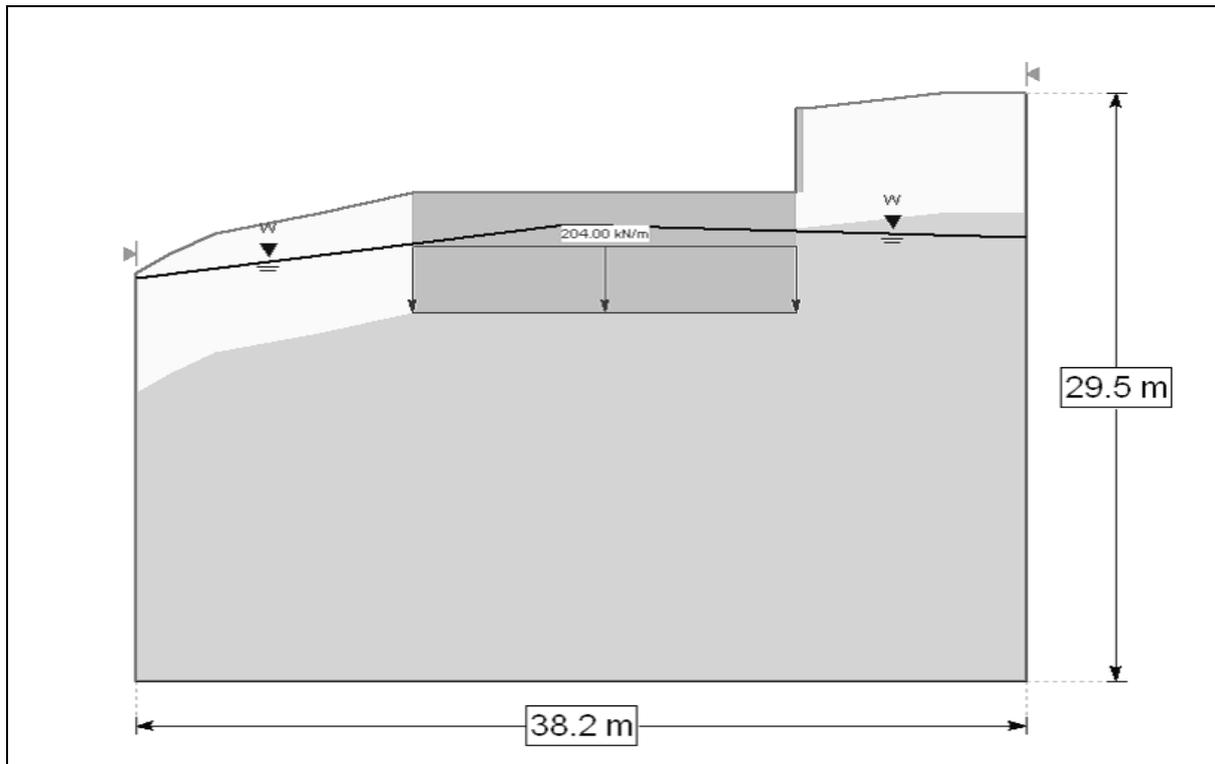


CAMADA		PARÂMETROS	
 Residual 1	C (kN/m ²)	9,1	
	ϕ (°)	29,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
 Residual 2	C (kN/m ²)	9,1	
	ϕ (°)	35,9	
	γ (kN/m ³)	20,6	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,95	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,34	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,12	
Indice de confiabilidade	β	2,8	
Probabilidade de ruptura	PR	0,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		761,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,2	

ANEXO B.8. PLAZA PILARICA.

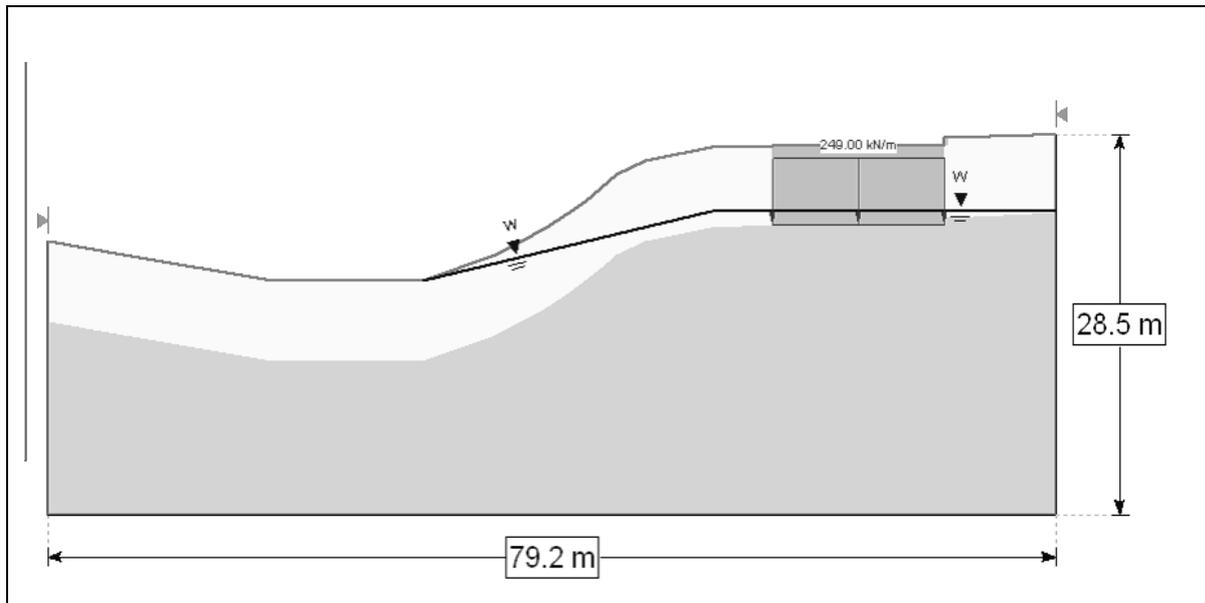


ANEXO B.9. RESERVA DE SAN DIEGO TORRE 1.



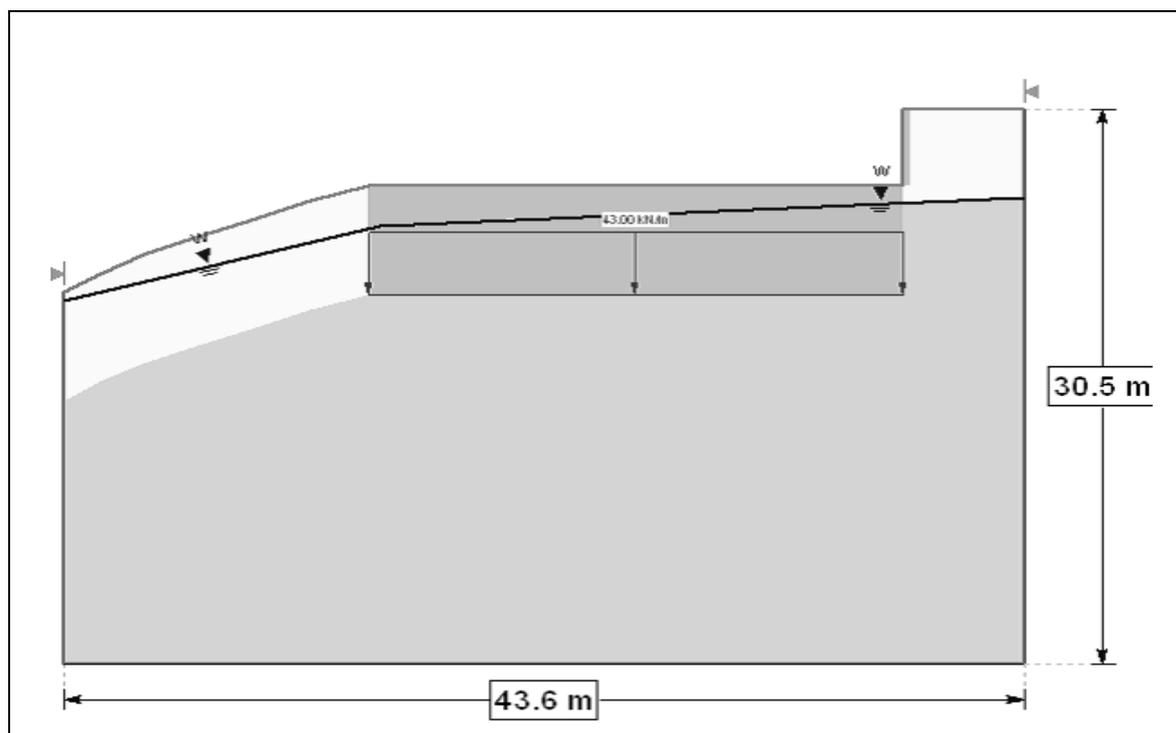
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	5,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Residual	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,80	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,14	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,36	
Indice de confiabilidade	β	2,3	
Probabilidade de ruptura	PR	1,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		12.715,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,4	

ANEXO B.10. RESERVA DE SAN DIEGO TORRE 2.



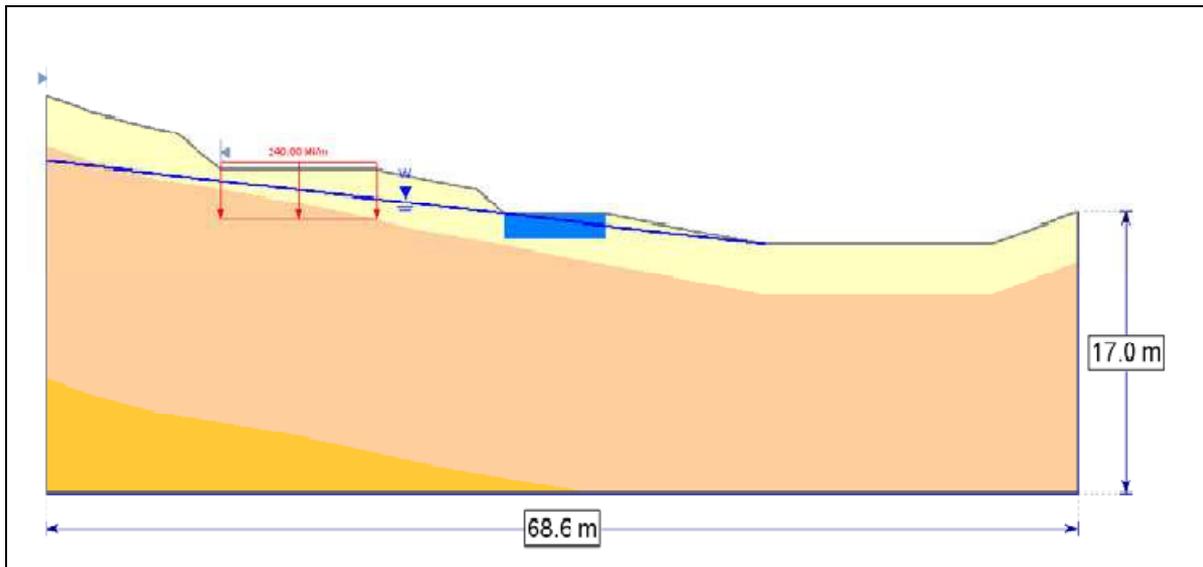
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	5,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Residual	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,99	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,04	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,19	
Indice de confiabilidade	β	-0,01	
Probabilidade de ruptura	PR	50,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		597.136,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		17,9	

ANEXO B.11. RESERVA DE SAN DIEGO PARQUEADERO.



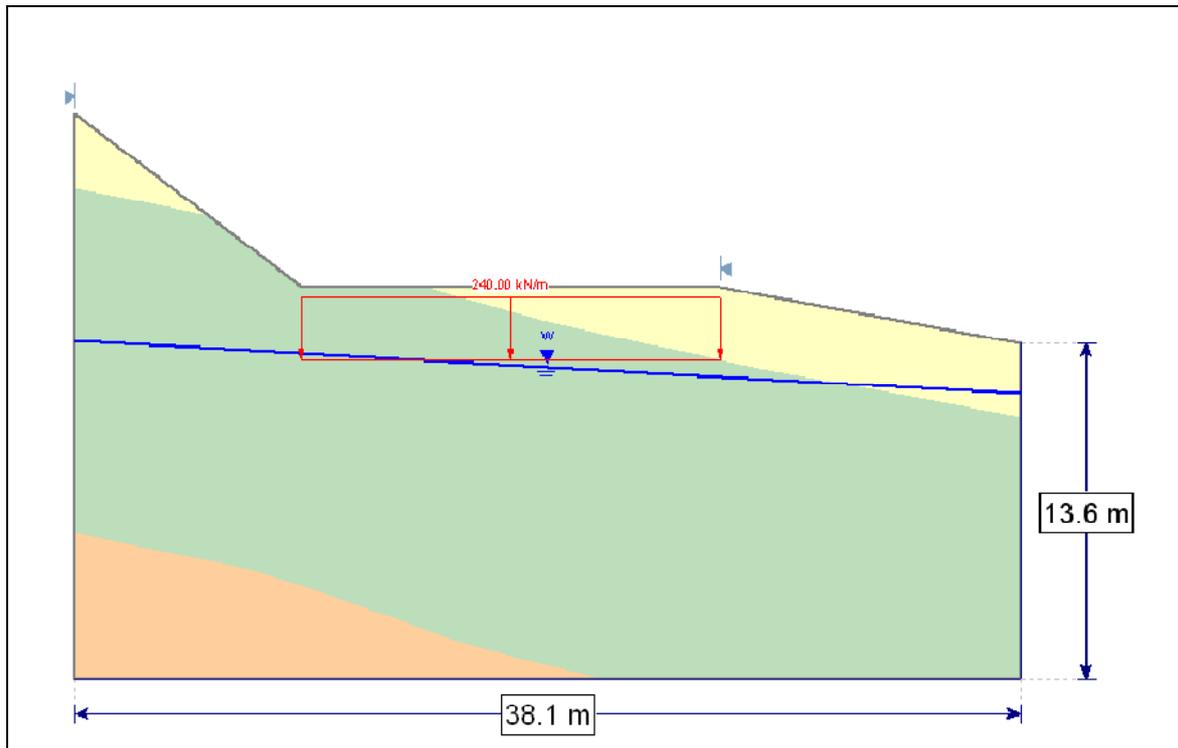
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	5,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Residual	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,79	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,13	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,34	
Indice de confiabilidade	β	2,3	
Probabilidade de ruptura	PR	1,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		12.021,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,3	

ANEXO B.12. SAN DIEGO CAMPESTRE T1.



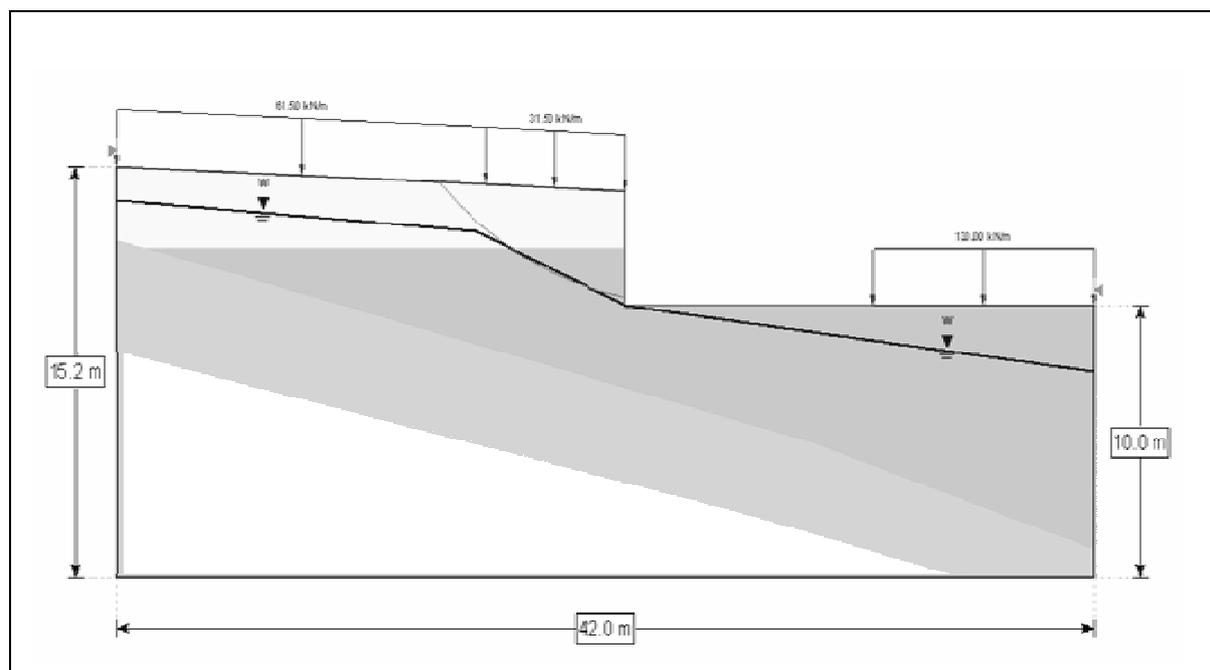
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Residual	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,41	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,42	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,63	
Indice de confiabilidade	β	2,3	
Probabilidade de ruptura	PR	1,2%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		21.227,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,9	

ANEXO B.13. SAN DIEGO CAMPESTRE T2.



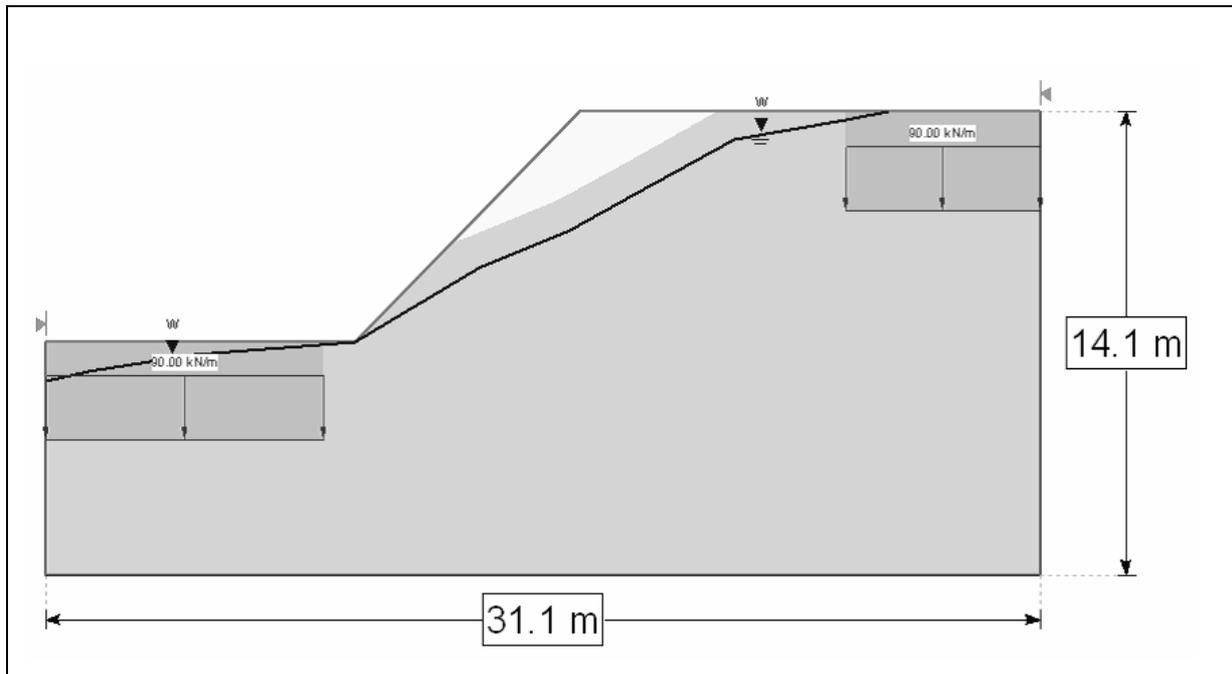
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Residual	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	22,5	
	γ (kN/m ³)	19,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,98	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,13	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,34	
Indice de confiabilidade	β	2,9	
Probabilidade de ruptura	PR	0,2%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		3.557,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.14. VILLA FRANCISCA.



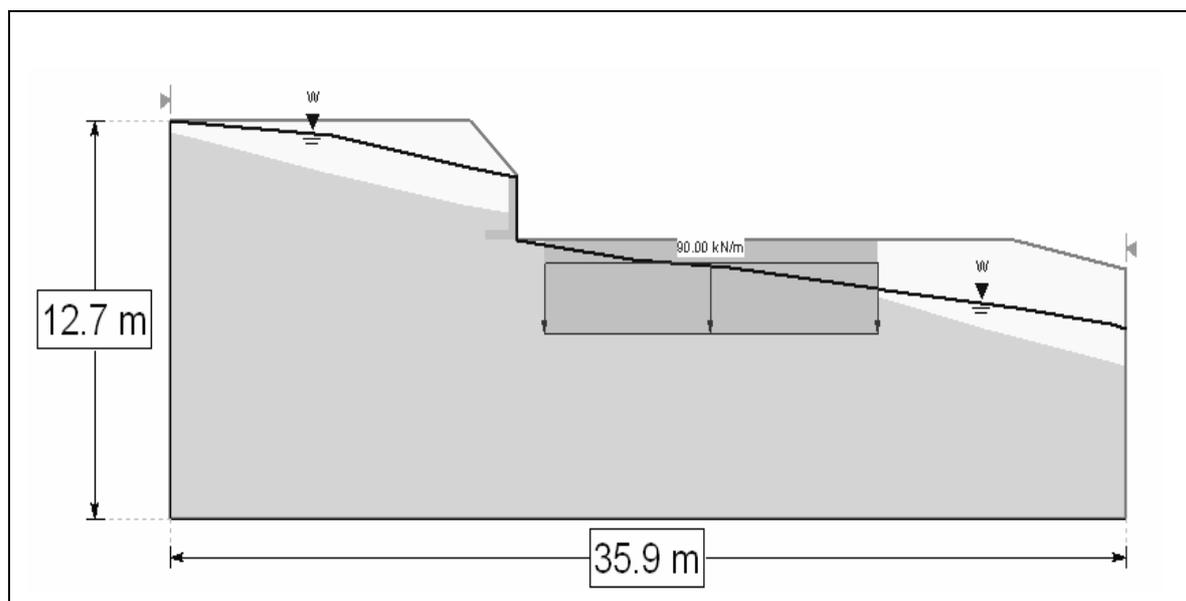
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #e0e0e0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Flujos	C (kN/m ²)	4,0	
	ϕ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Residual maduro	C (kN/m ²)	10,0	
	ϕ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,32	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	21,0	
Indice de confiabilidade	β	1,5	
Probabilidade de ruptura	PR	7,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		36.904,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,3	

ANEXO B.15. CANTARES T2.



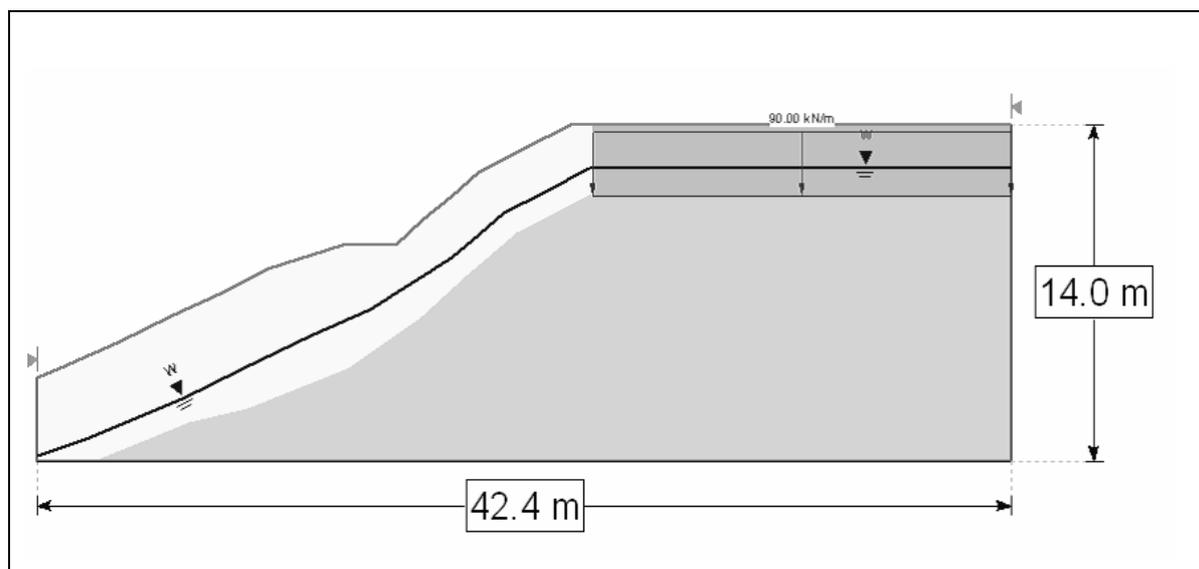
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #e0e0e0; border: 1px solid black;"></div> Silte </div>	C (kN/m ²)	5,7	
	φ (°)	21,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #808080; border: 1px solid black;"></div> Silte Areno-Argiloso </div>	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,09	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,26	
Indice de confiabilidade	β	0,4	
Probabilidade de ruptura	PR	36,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		95.328,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		3,9	

ANEXO B.16. CANTARES.



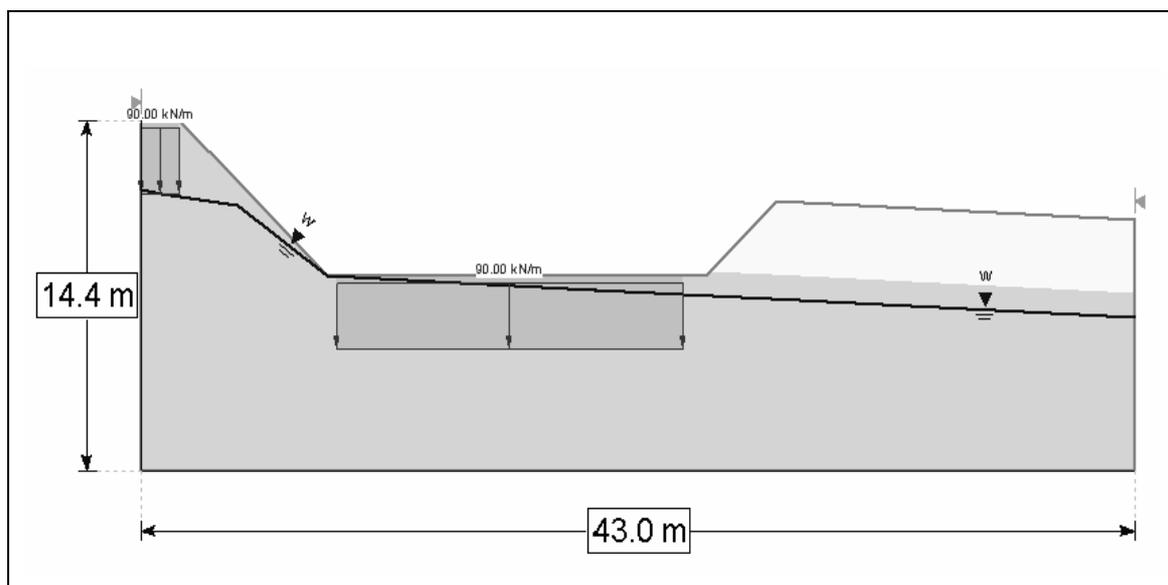
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte	C (kN/m ²)	5,7	
	φ (°)	21,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
 Silte Areno-Argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,40	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,33	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,56	
Índice de confiabilidade	β	2,5	
Probabilidade de ruptura	PR	0,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.527,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.17. CANTARES T4.



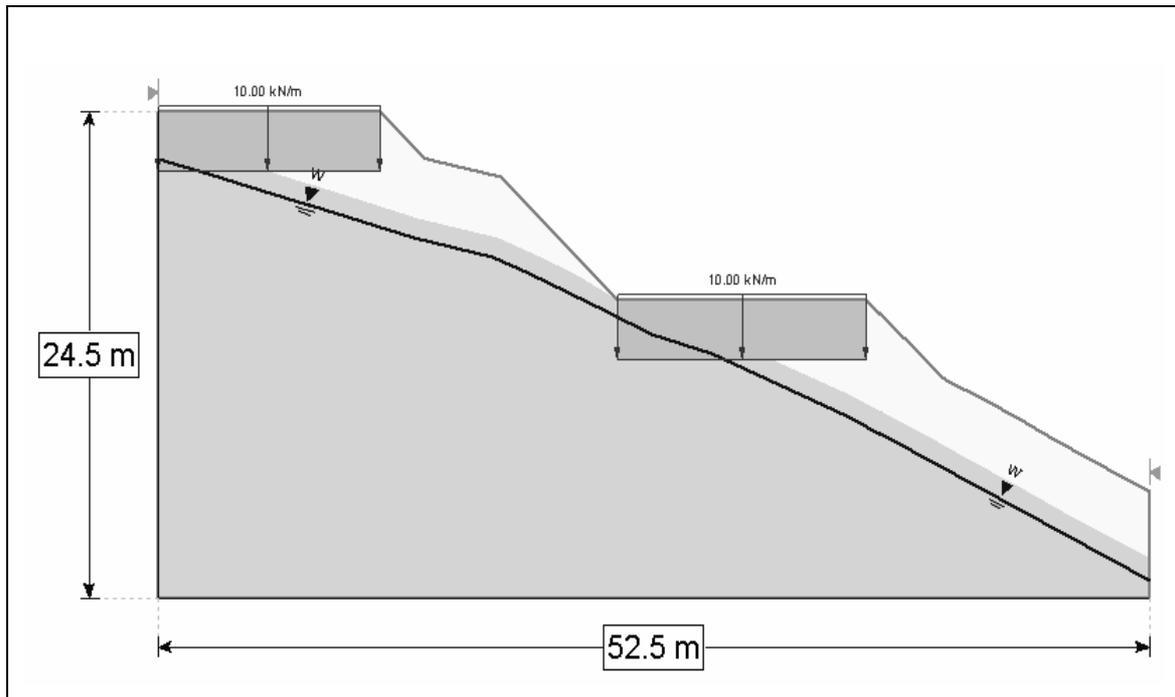
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte	C (kN/m ²)	5,7	
	φ (°)	21,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
 Silte Areno-Argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,37	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,10	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Indice de confiabilidade	β	1,2	
Probabilidade de ruptura	PR	11,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		28.763,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,8	

ANEXO B.18. CANTARES T5.



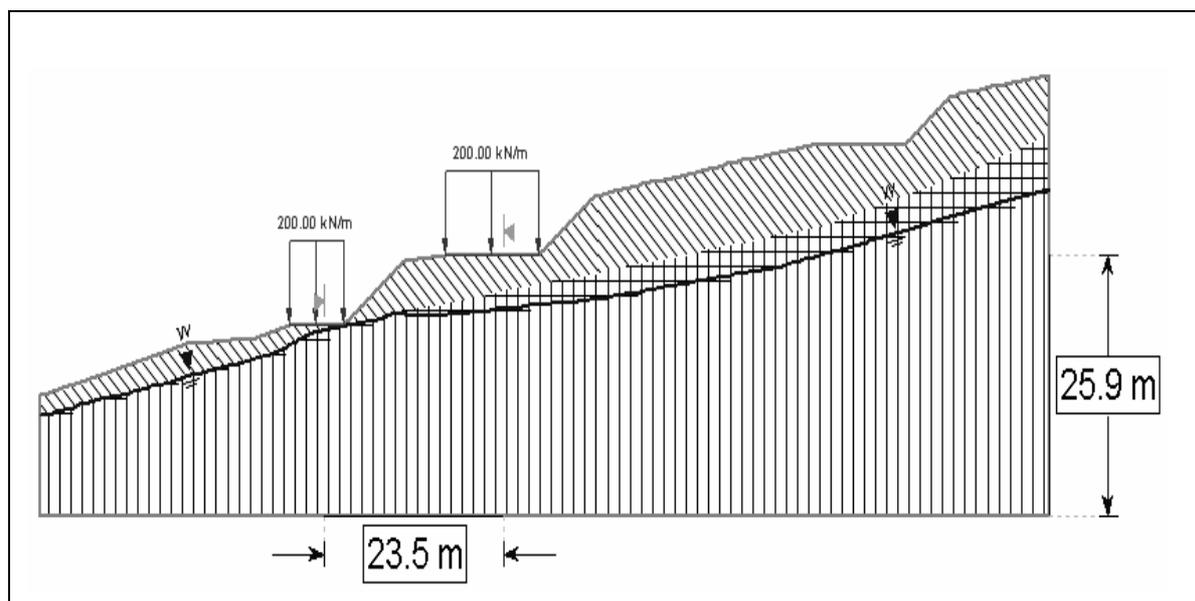
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #e0e0e0; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Solo Antropico	C (kN/m ²)	0,1	
	φ (°)	30,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: #808080; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Solo Antropico Silte-Argiloso	C (kN/m ²)	2,0	
	φ (°)	22,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,49	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Indice de confiabilidade	β	1,7	
Probabilidade de ruptura	PR	4,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		10.945,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,1	

ANEXO B.19. CANTARES T6.



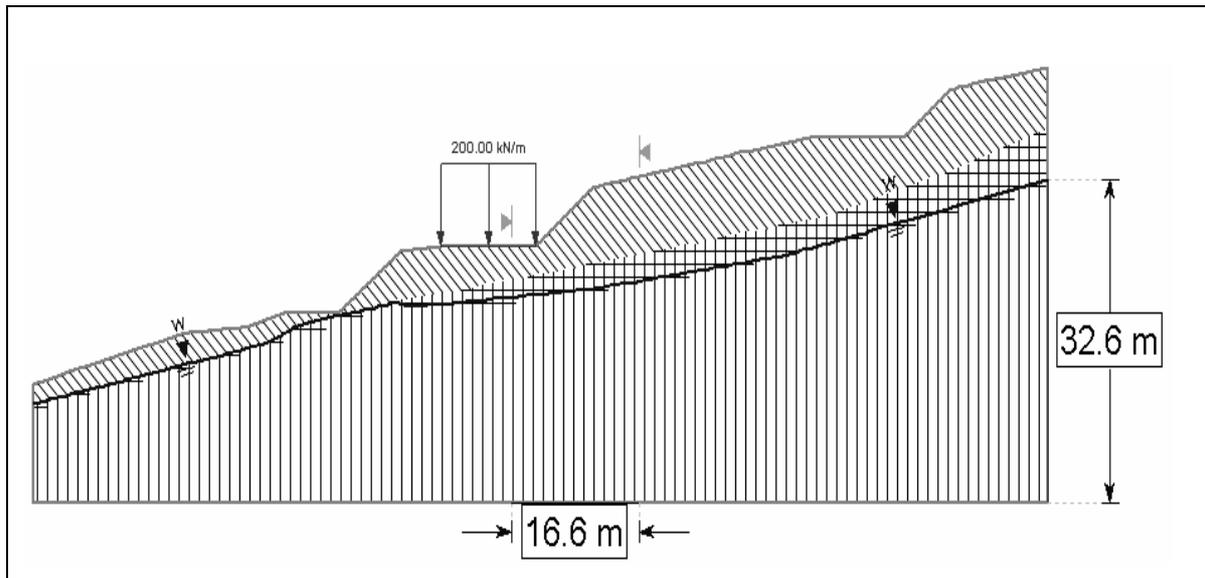
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte	C (kN/m ²)	5,7	
	ϕ (°)	21,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
 Silte Areno-Argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	ϕ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,11	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,27	
Índice de confiabilidade	β	0,4	
Probabilidade de ruptura	PR	34,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		69.974,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		8,6	

ANEXO B.20. MIRADOR DEL VALLE T4.



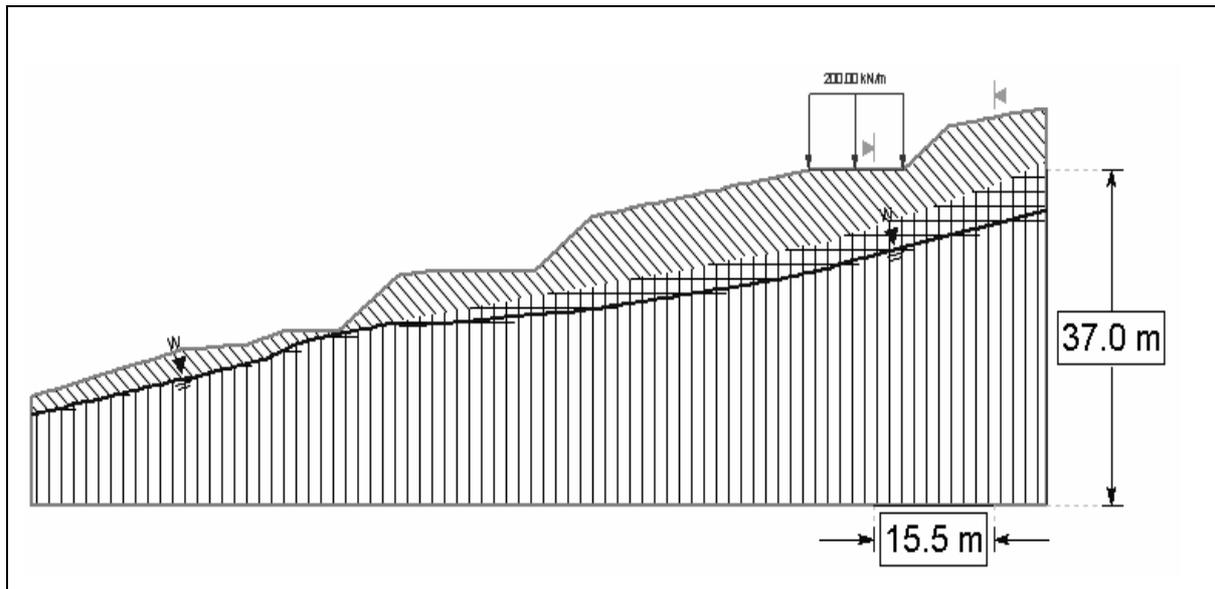
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	23,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Silte-Argiloso	C (kN/m ²)	15,1	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,11	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,14	
Índice de confiabilidade	β	0,80	
Probabilidade de ruptura	PR	20,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		48.482,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		12,9	

ANEXO B.21. MIRADOR DEL VALLE T7.



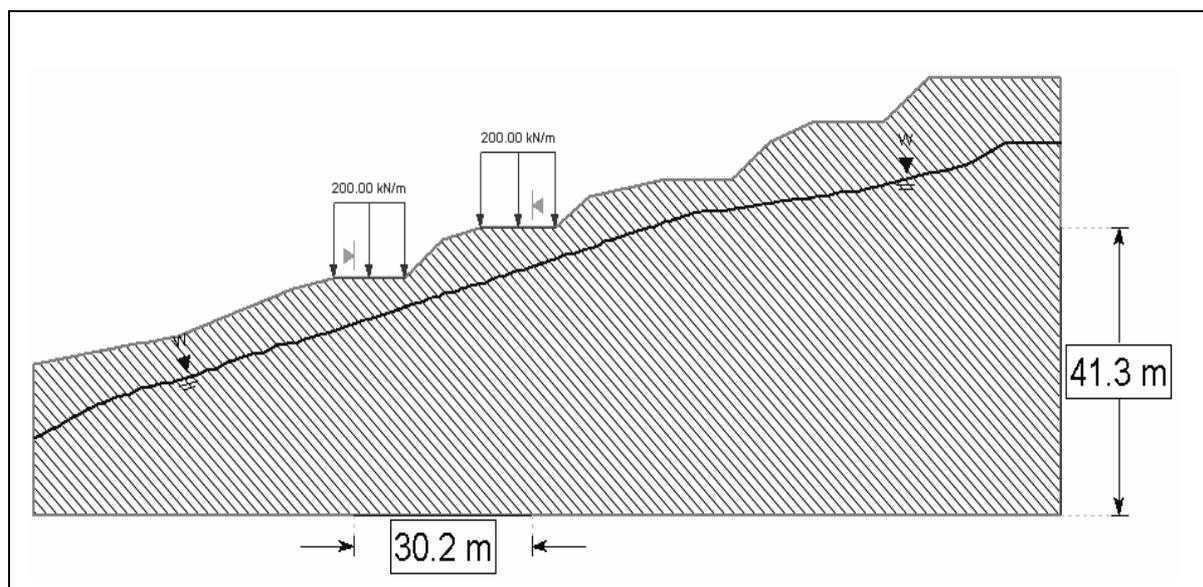
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	23,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,64	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,12	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,35	
Indice de confiabilidade	β	1,8	
Probabilidade de ruptura	PR	3,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		7.766,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,1	

ANEXO B.22. MIRADOR DEL VALLE T10.



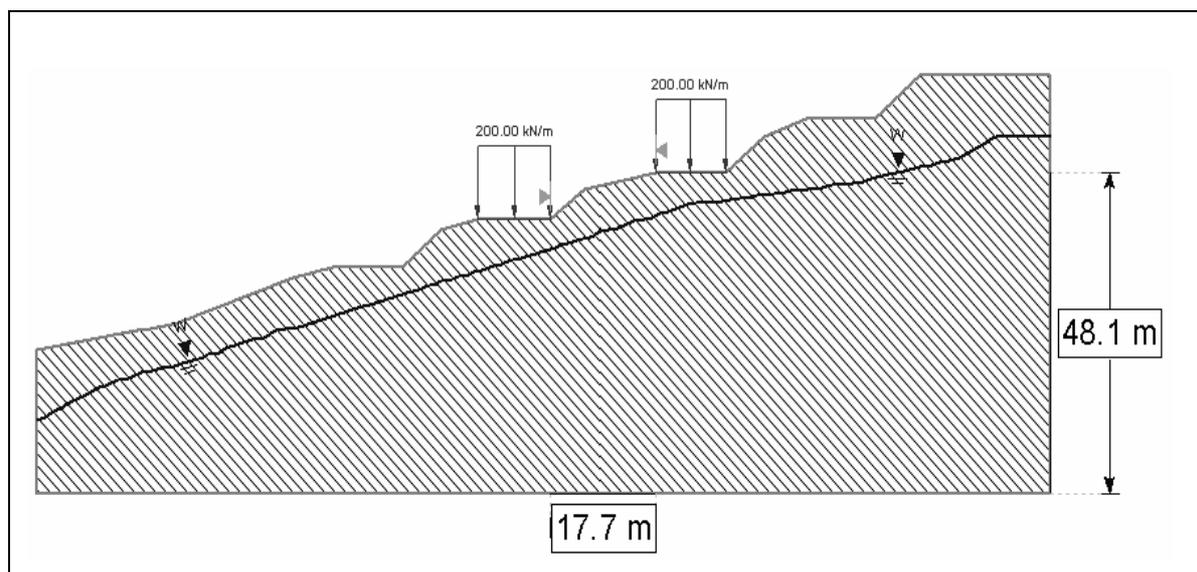
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	23,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,87	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,19	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,44	
Indice de confiabilidade	β	2,0	
Probabilidade de ruptura	PR	2,4%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		5.648,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,5	

ANEXO B.23. MIRADOR DEL VALLE T13.



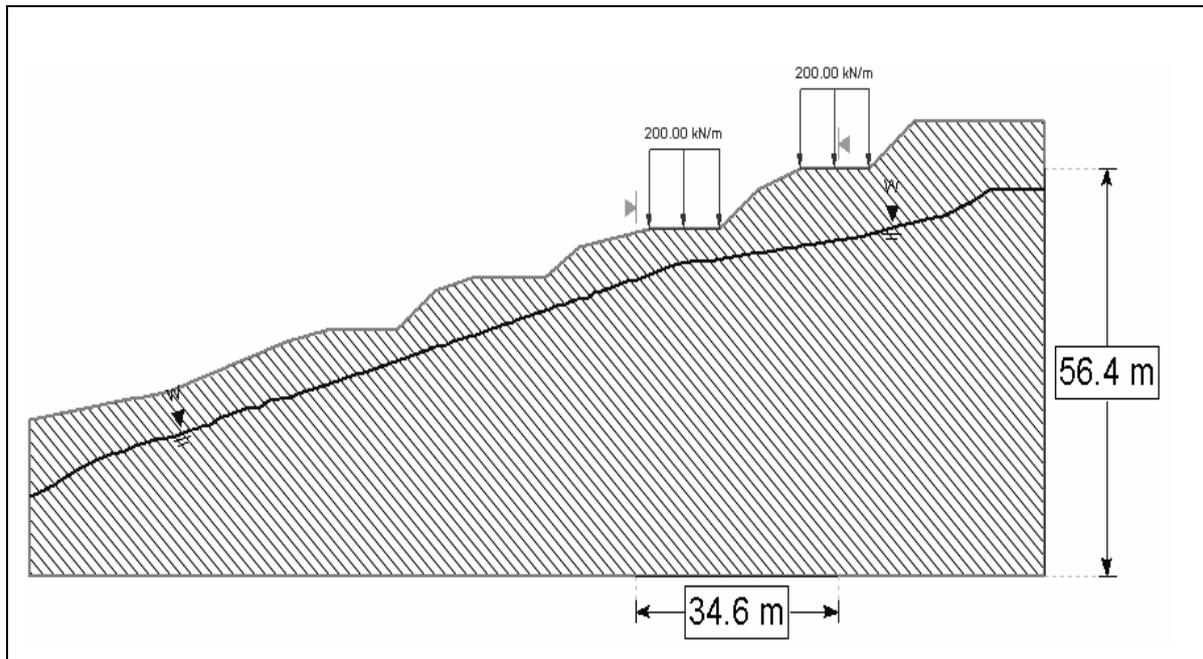
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,50	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,20	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,45	
Indice de confiabilidade	β	0,10	
Probabilidade de ruptura	PR	13,4%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		31.536,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		20,8	

ANEXO B.24. MIRADOR DEL VALLE T15.



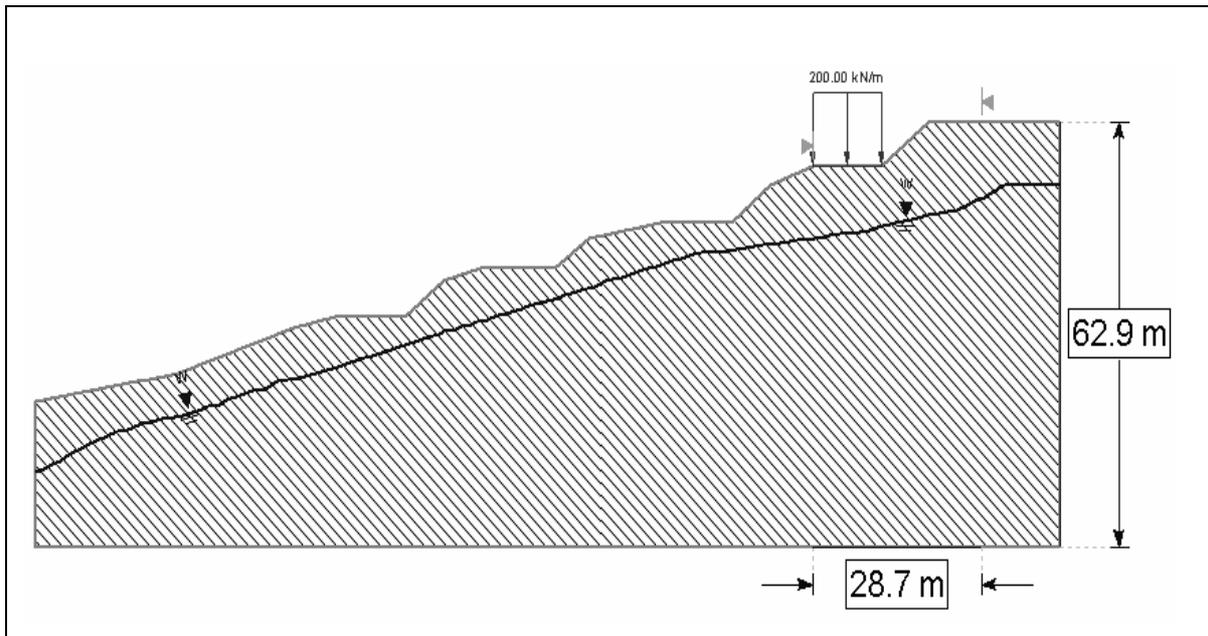
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,86	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,16	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,40	
Índice de confiabilidade	β	2,1	
Probabilidade de ruptura	PR	1,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		4.001,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,6	

ANEXO B.25. MIRADOR DEL VALLE T20.



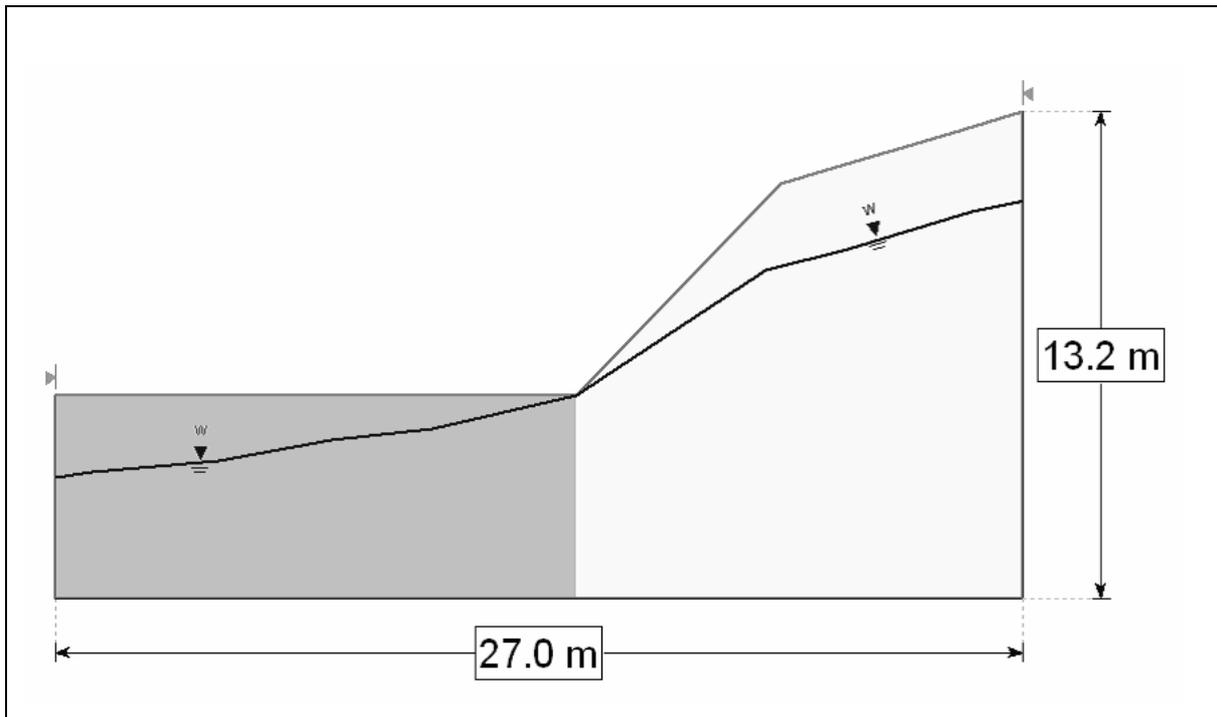
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,0	
	ϕ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	1,10	
Variância do fator de segurança	$V(FS)$	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,14	
Índice de confiabilidade	β	0,7	
Probabilidade de ruptura	PR	23,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		56.248,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		37,0	

ANEXO B.26. MIRADOR DEL VALLE T25.



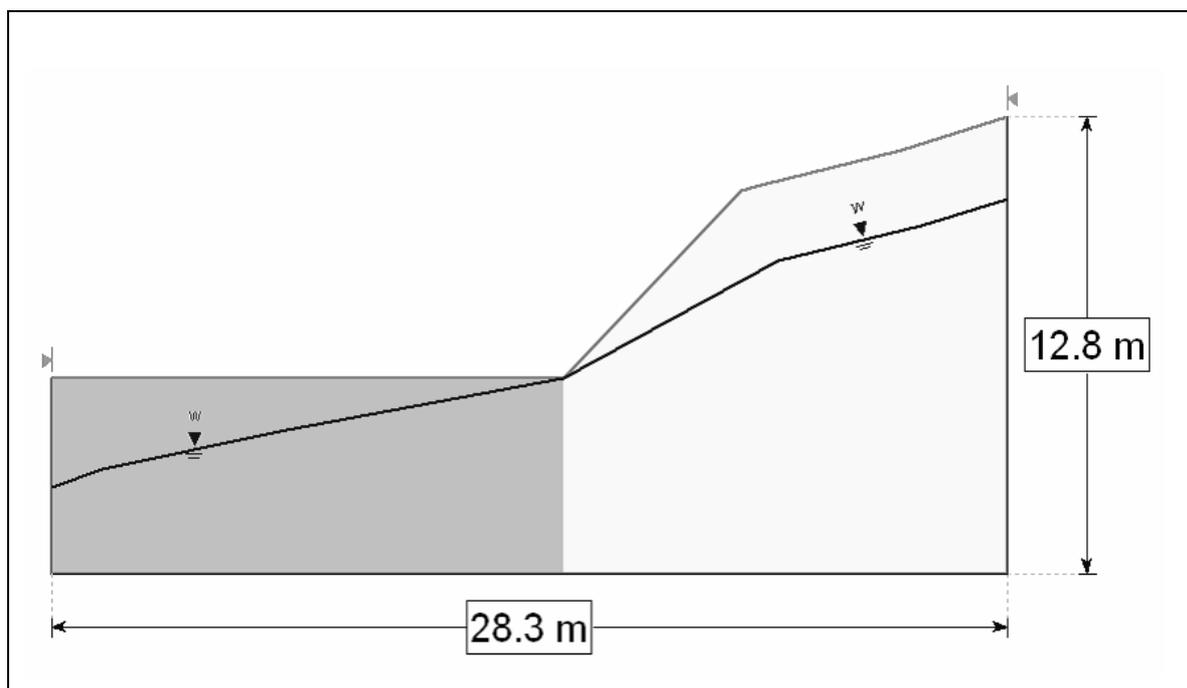
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,49	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Indice de confiabilidade	β	1,7	
Probabilidade de ruptura	PR	4,2%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		9.884,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		6,5	

ANEXO B.27. NAZARETH B1.



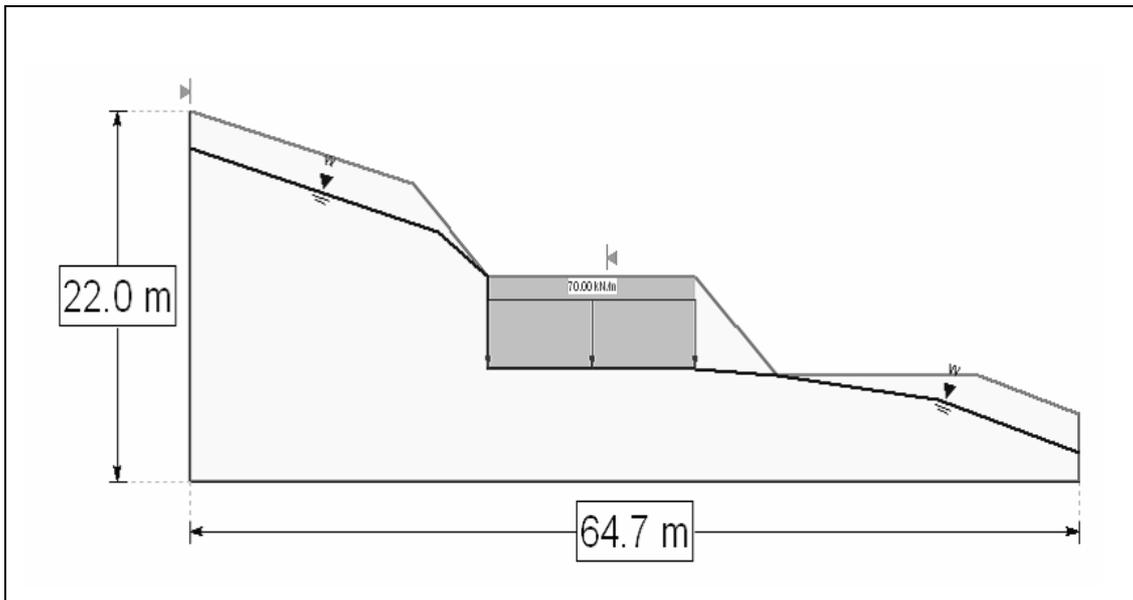
CAMADA		PARÂMETROS	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Fluxo de lama	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
<div style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> Conjunto de estacas de concreto da estrutura			
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,45	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,22	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,47	
Índice de confiabilidade	β	0,9	
Probabilidade de ruptura	PR	17,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		31.119,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		20,7	

ANEXO B.28. NAZARETH B2.



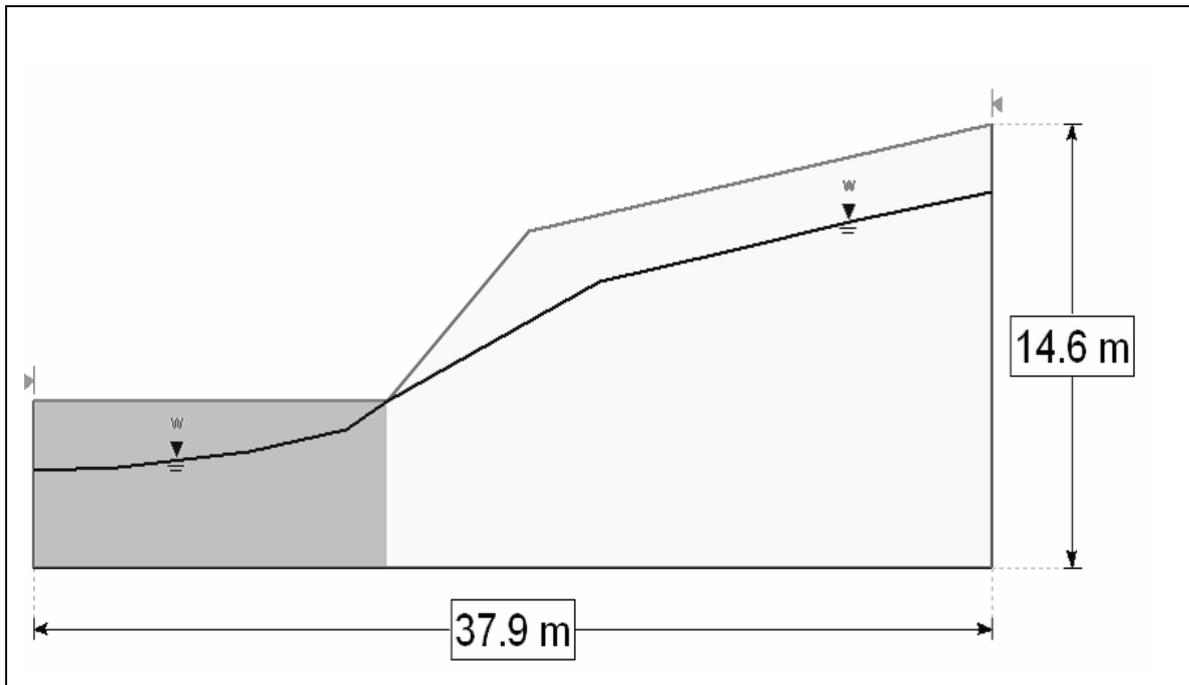
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	17,0	
	ϕ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
 Conjunto de estacas de concreto da estrutura			
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,52	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,20	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,45	
Índice de confiabilidade	β	1,10	
Probabilidade de ruptura	PR	12,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		46.735,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		16,0	

ANEXO B.29. NAZARETH B3.



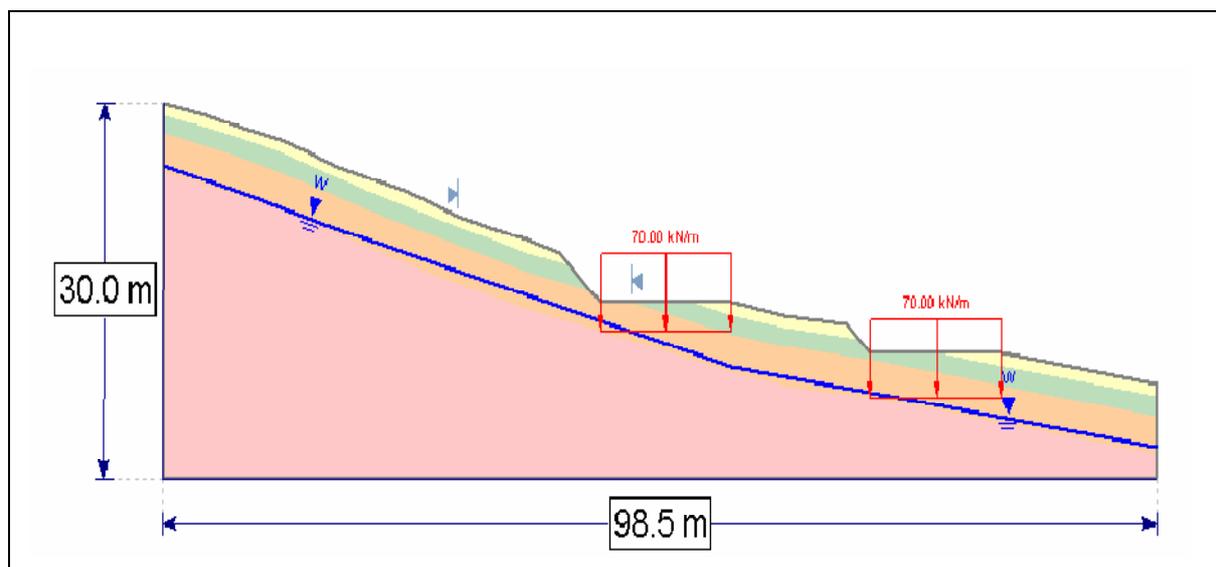
CAMADA		PARÂMETROS	
Fluxo de lama	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
Conjunto de estacas de concreto da estrutura			
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,38	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,14	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,37	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	15,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		60.216,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		20,0	

ANEXO B.30. NAZARETH B4.



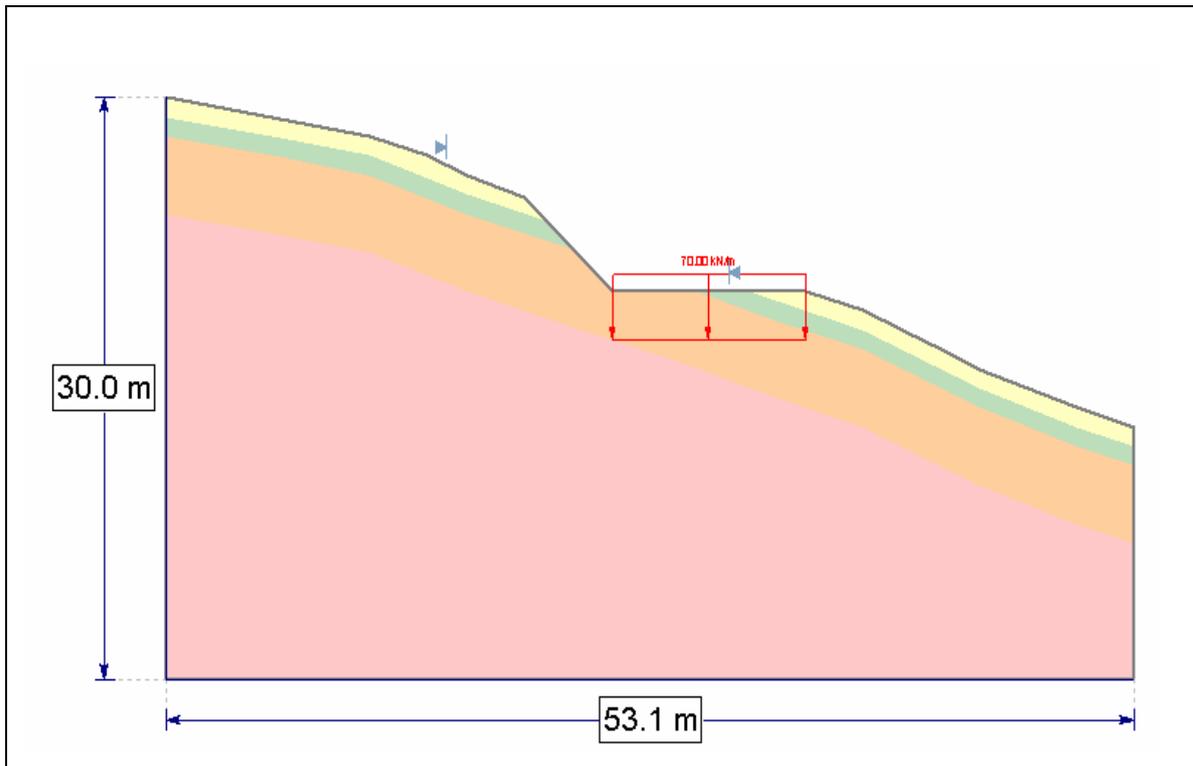
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
 Conjunto de estacas de concreto da estrutura			
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,48	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,20	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,45	
Índice de confiabilidade	β	1,1	
Probabilidade de ruptura	PR	14,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		51.586,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		17,9	

ANEXO B.31. LA MONTAÑA PERFIL 1.



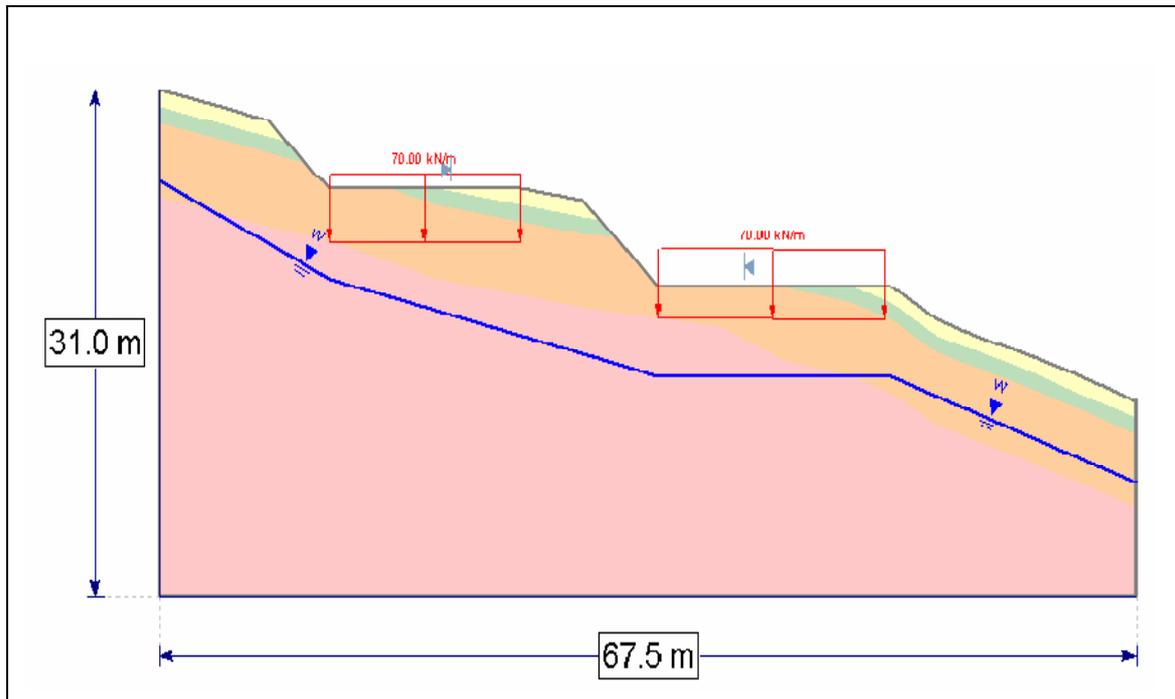
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte pardo	C (kN/m ²)	1,6	
	φ (°)	28,7	
	γ (kN/m ³)	17,2	
 Silte cinza	C (kN/m ²)	6,1	
	φ (°)	32,3	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,70	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,51	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,72	
Indice de confiabilidade	β	1,00	
Probabilidade de ruptura	PR	16,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		53.059,8	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		23,0	

ANEXO B.32. LA MONTAÑA PERFIL 2.



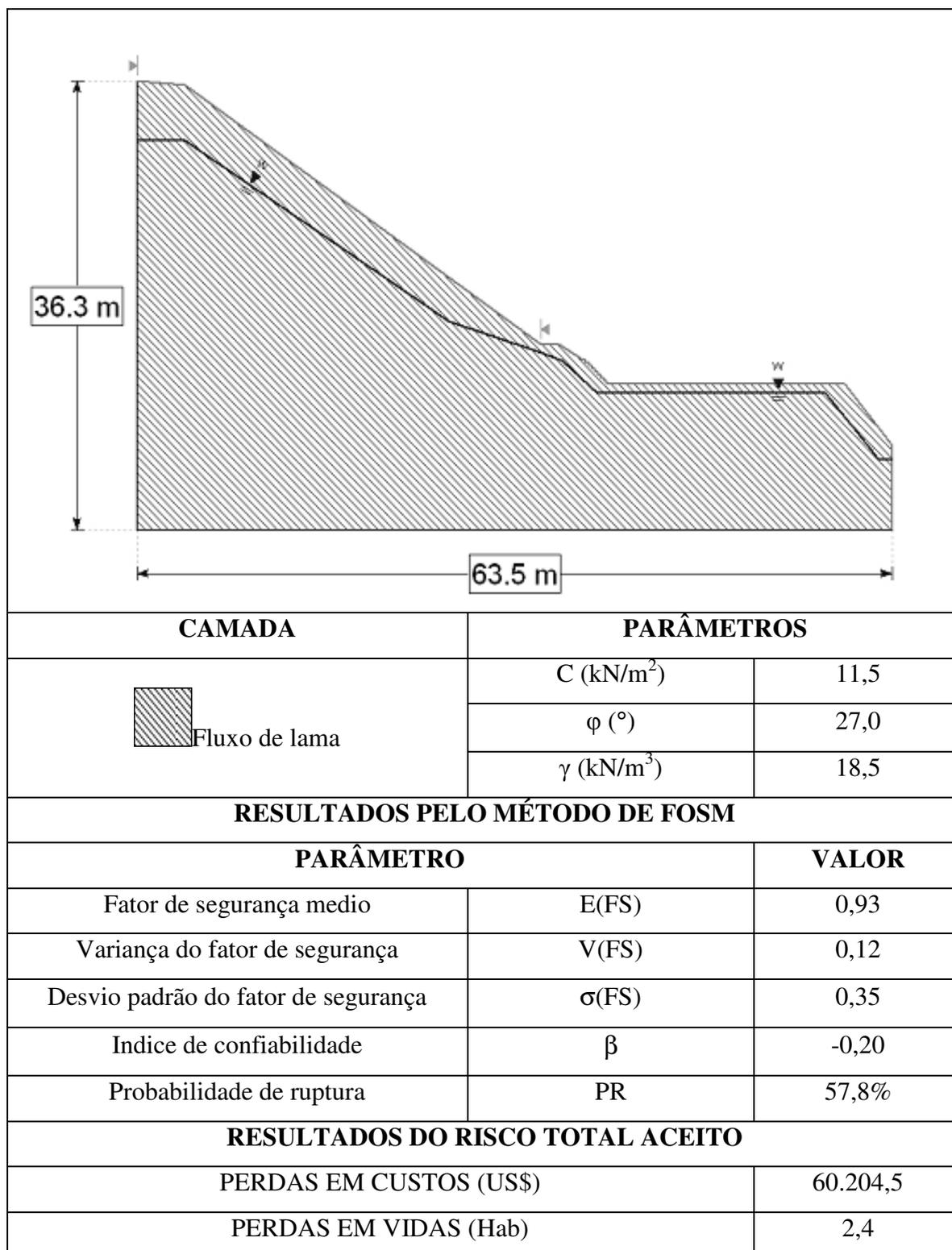
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte pardo	C (kN/m ²)		1,6
	φ (°)		28,7
	γ (kN/m ³)		17,2
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$		1,48
Variância do fator de segurança	$V(FS)$		0,26
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$		0,51
Índice de confiabilidade	β		0,90
Probabilidade de ruptura	PR		17,4%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)			31.049,0
PERDAS EM VIDAS (Hab)			23,1

ANEXO B.33. LA MONTAÑA PERFIL 4.

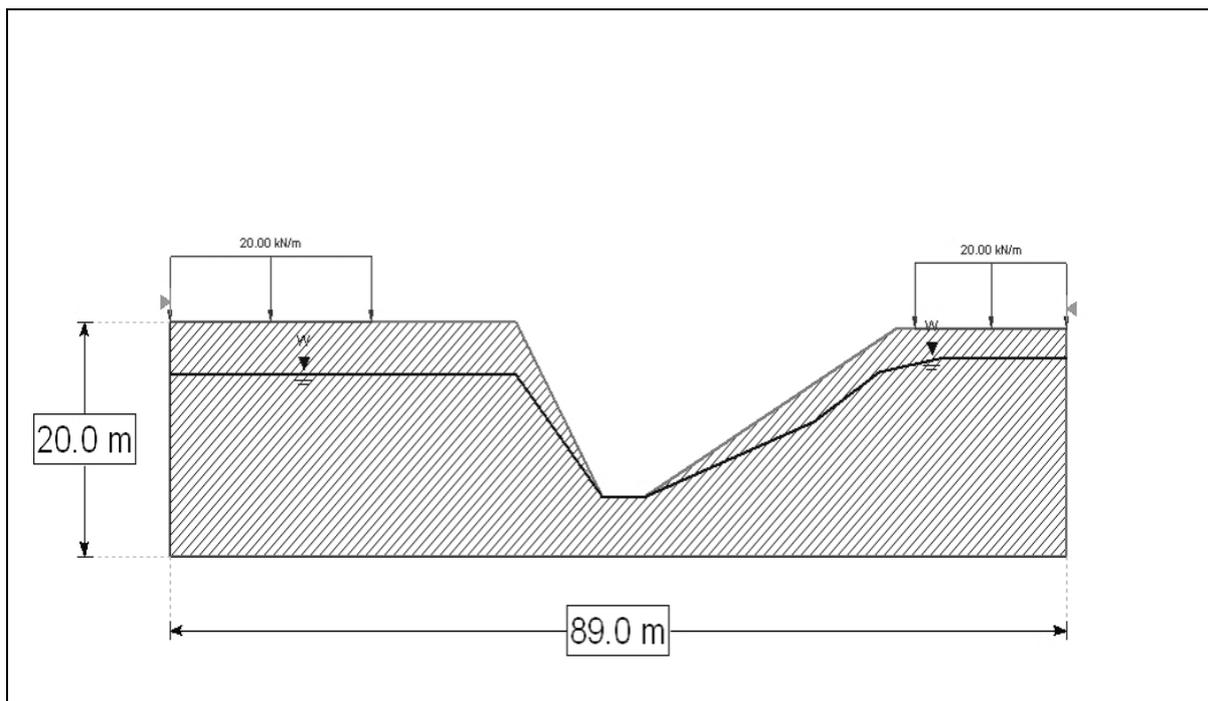


CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte pardo	C (kN/m ²)	1,6	
	φ (°)	28,7	
	γ (kN/m ³)	17,2	
 Silte cinza	C (kN/m ²)	5,2	
	φ (°)	32,3	
	γ (kN/m ³)	17,2	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,73	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,33	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,57	
Indice de confiabilidade	β	1,20	
Probabilidade de ruptura	PR	10,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		37.033,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		14,8	

ANEXO B.34. URBANIZACIÓN CURAZAO Z1.

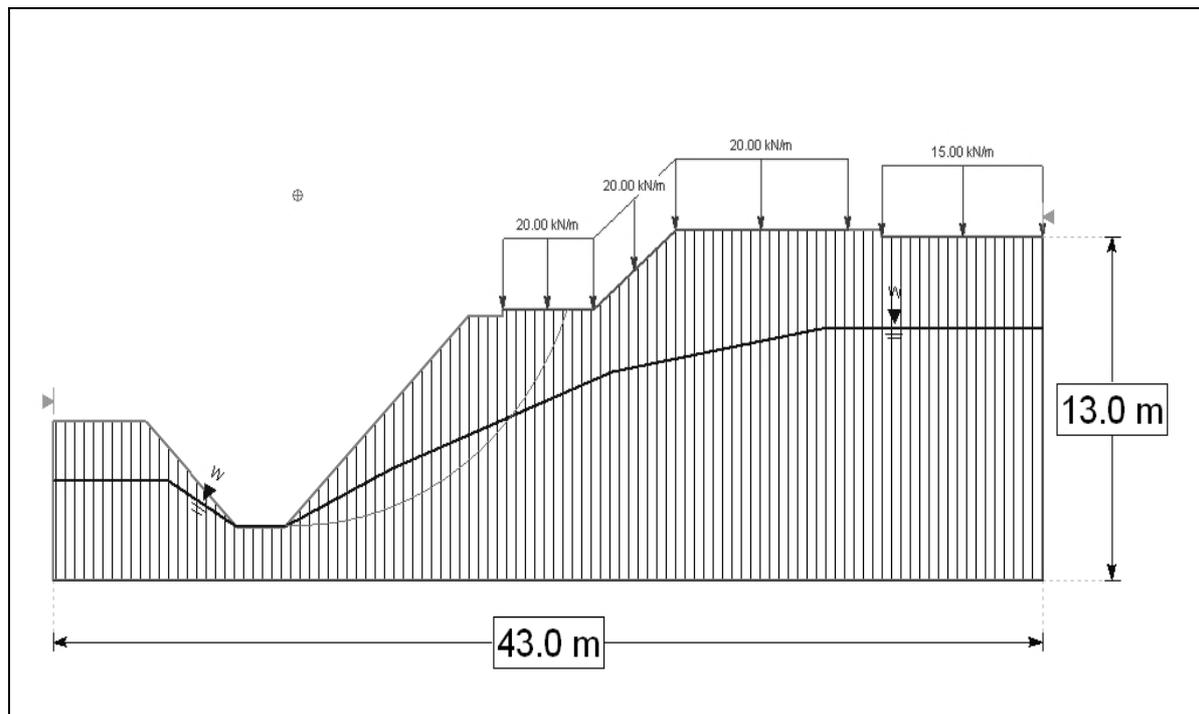


ANEXO B.35. URBANIZACIÓN CURAZAO Z2.



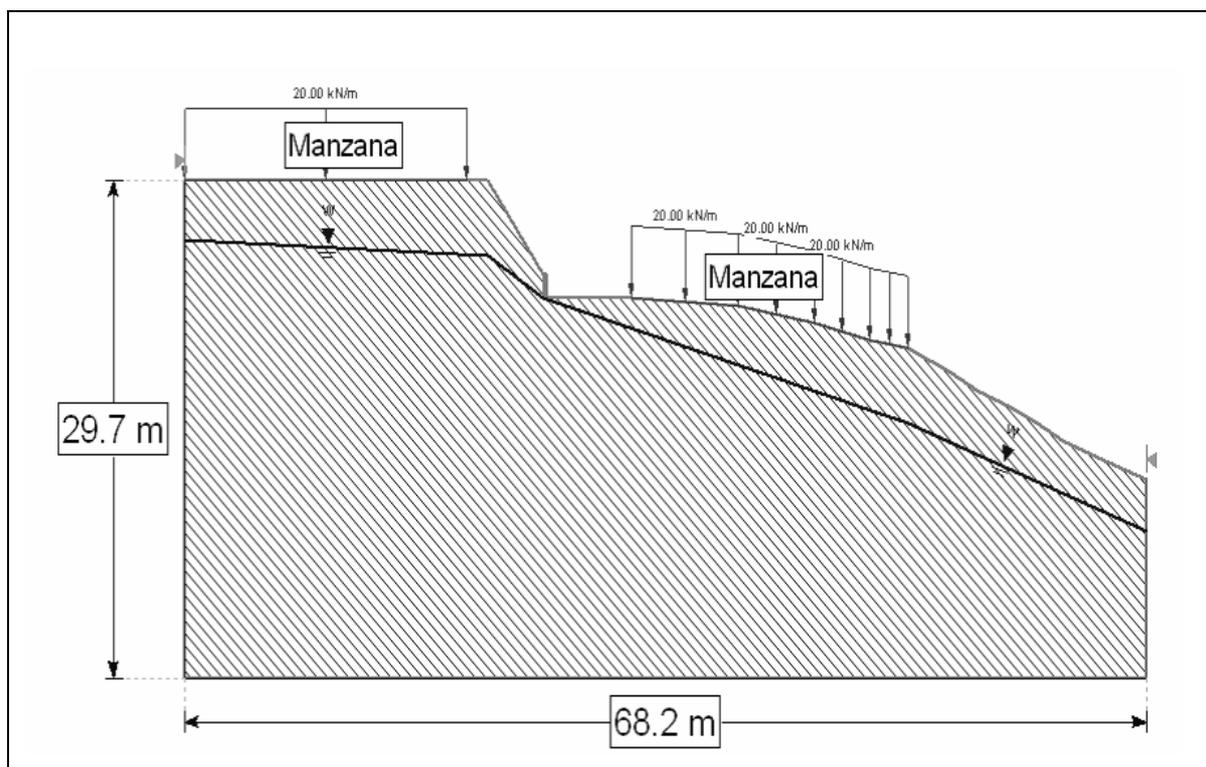
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,55	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,09	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Índice de confiabilidade	β	-1,56	
Probabilidade de ruptura	PR	94,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		274.149,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		11,4	

ANEXO B.36. URBANIZACIÓN CURAZAO Z3.



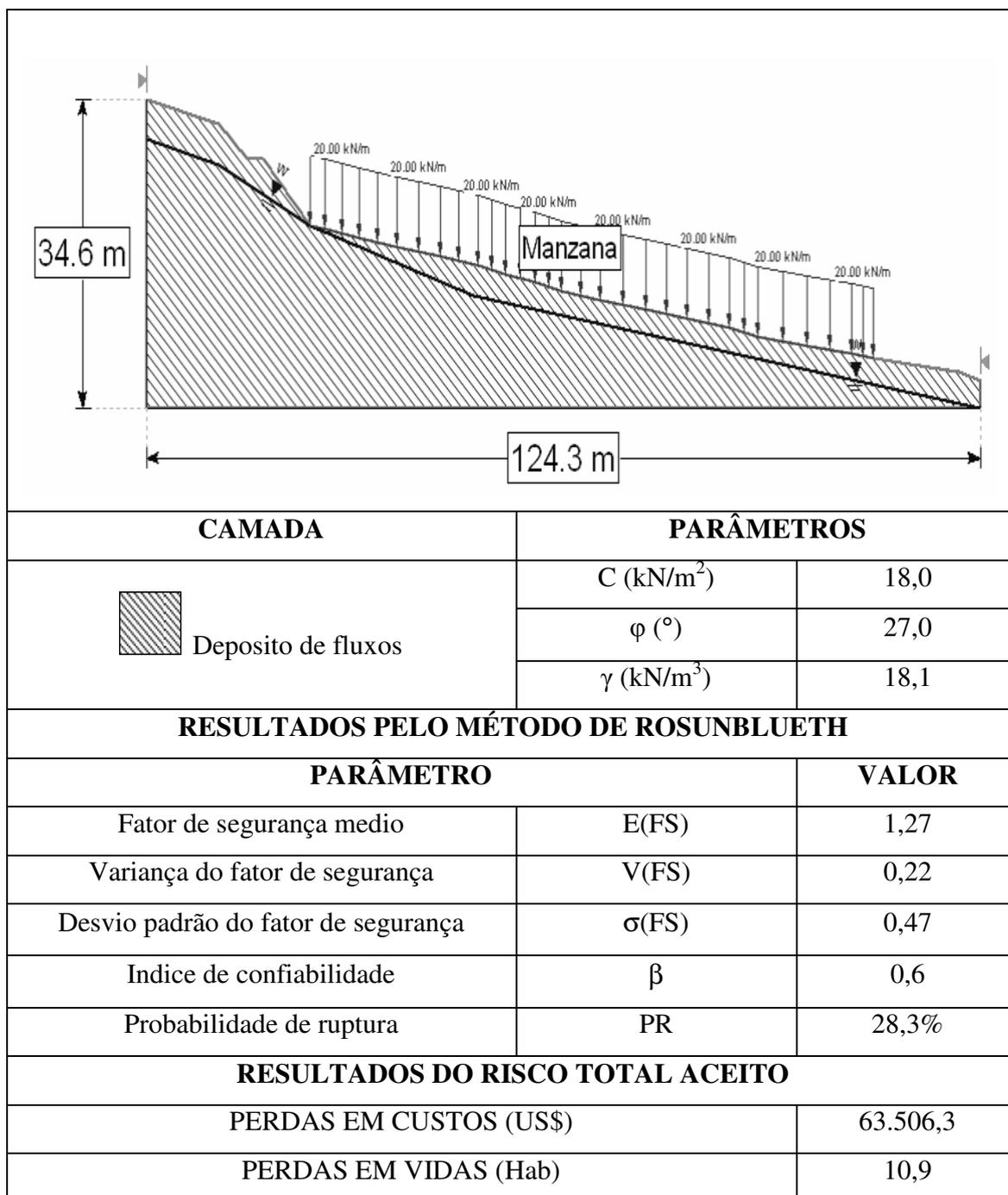
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,18	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,91	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,95	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	42,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		97.847,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		4,0	

ANEXO B.37. VILLA CAMPIÑA Z1.

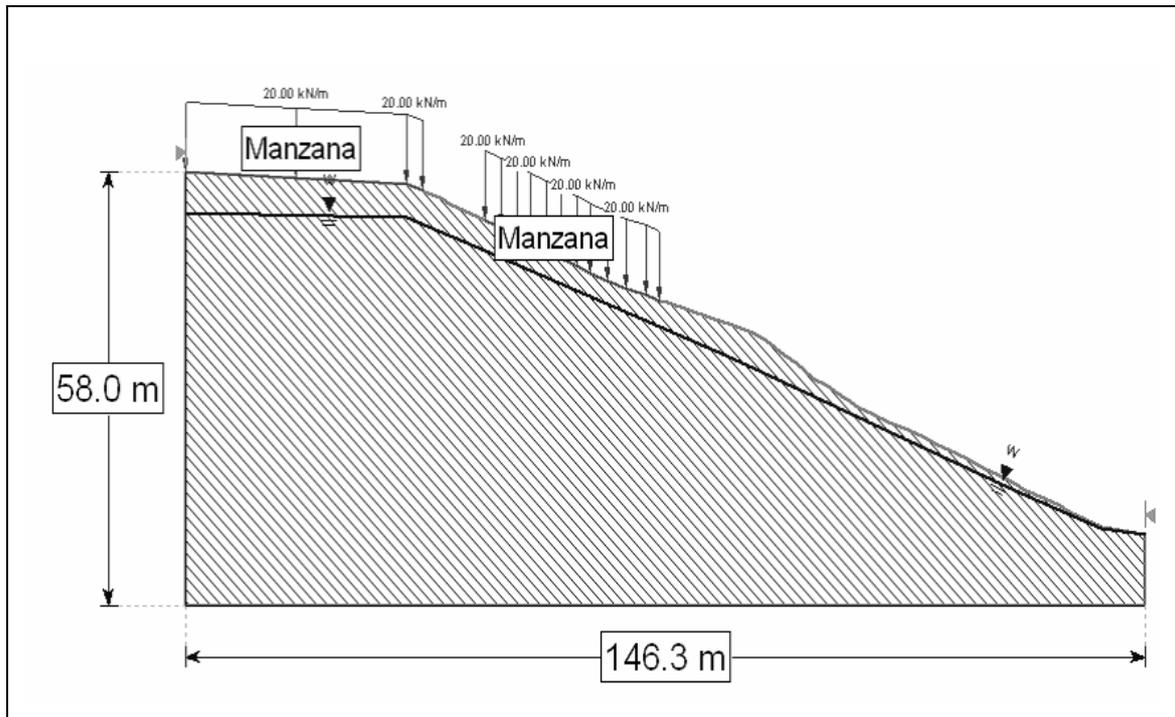


CAMADA		PARÂMETROS	
 Depósito de fluxos	C (kN/m ²)	18,0	
	ϕ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,1	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	1,30	
Variância do fator de segurança	$V(FS)$	0,24	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,49	
Indice de confiabilidade	β	0,6	
Probabilidade de ruptura	PR	26,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		40.558,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		9,9	

ANEXO B.38. VILLA CAMPIÑA Z2.

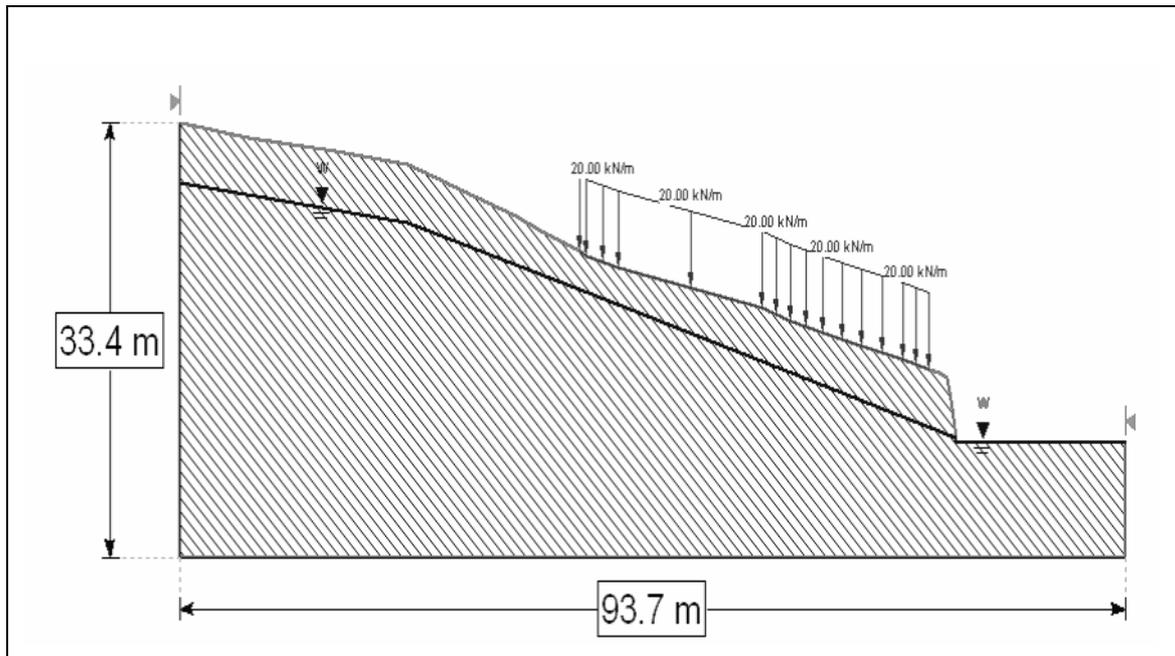


ANEXO B.39. VILLA CAMPIÑA Z3.



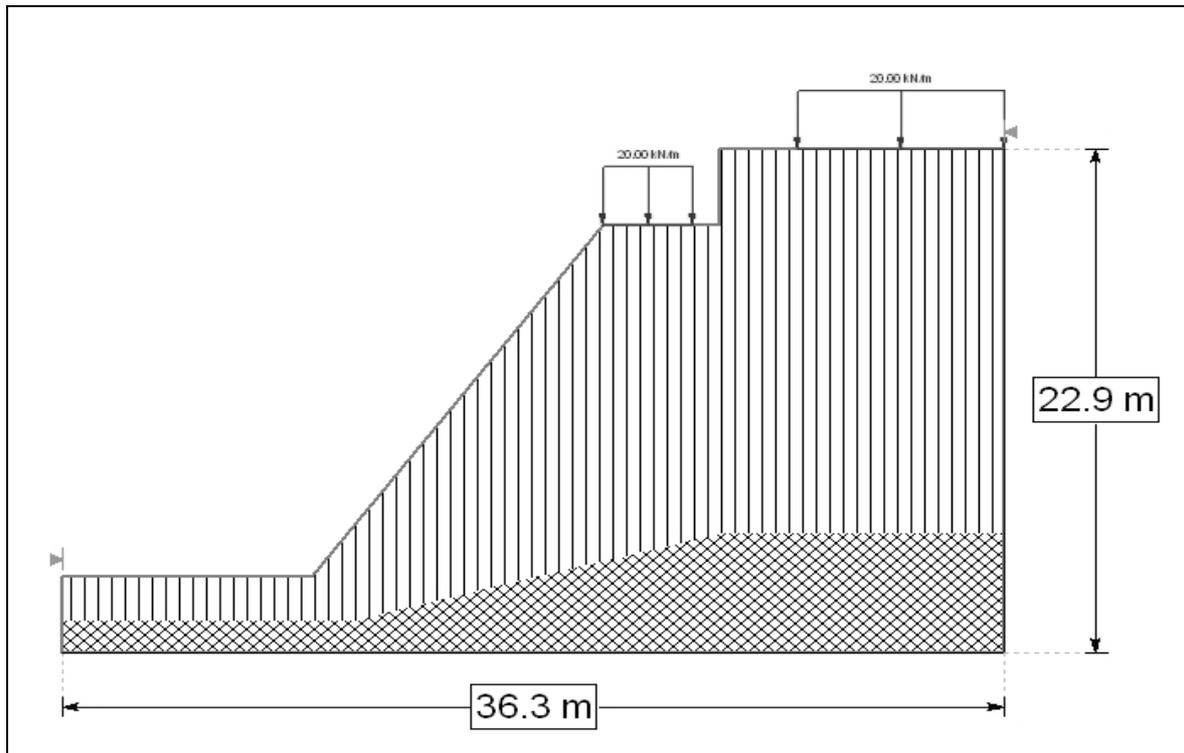
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxos	C (kN/m ²)	18,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,1	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,92	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,23	
Indice de confiabilidade	β	-0,30	
Probabilidade de ruptura	PR	63,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		107.925,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		15,0	

ANEXO B.40. VILLA CAMPIÑA Z4.



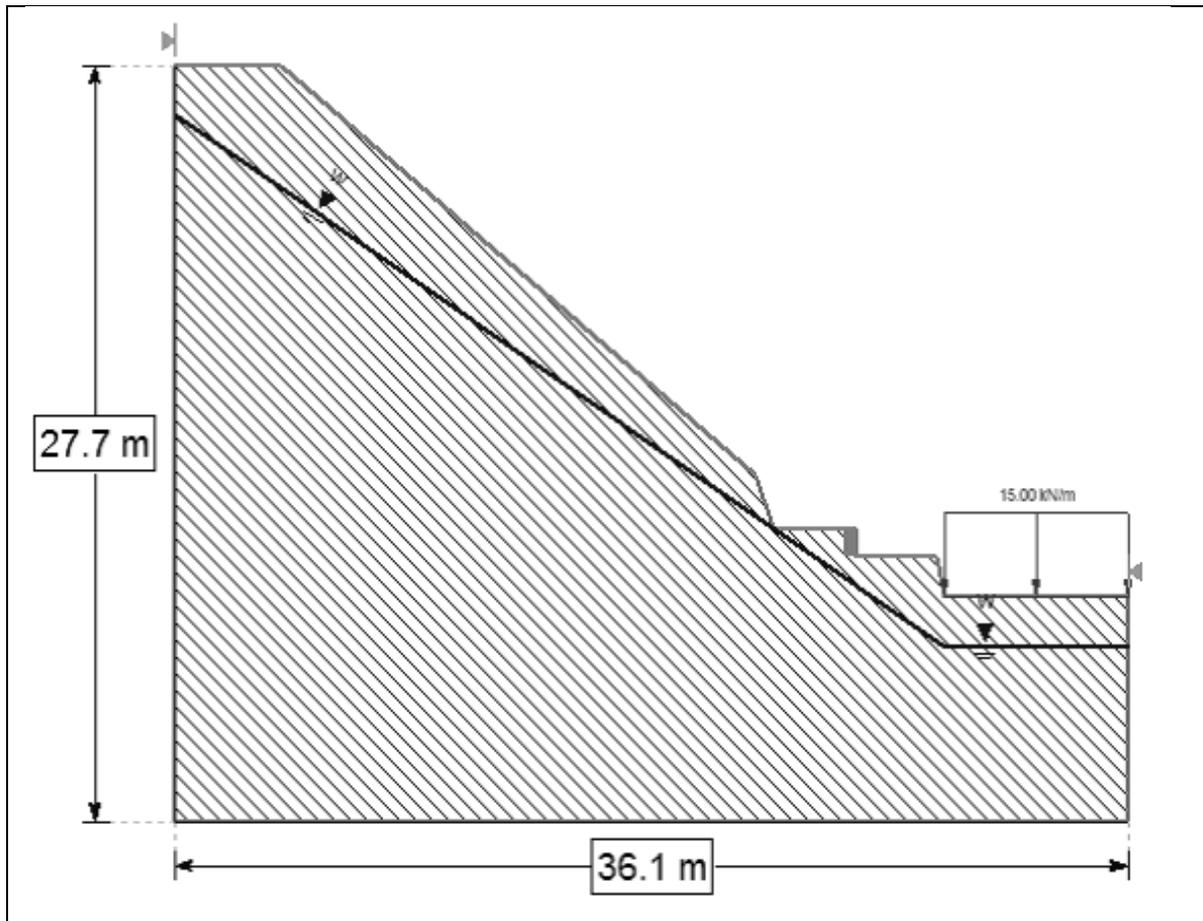
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxos	C (kN/m ²)	18,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,1	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,27	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,24	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,49	
Indice de confiabilidade	β	0,30	
Probabilidade de ruptura	PR	39,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		30.846,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		10,8	

ANEXO B.41. ROBLEDO REAL.



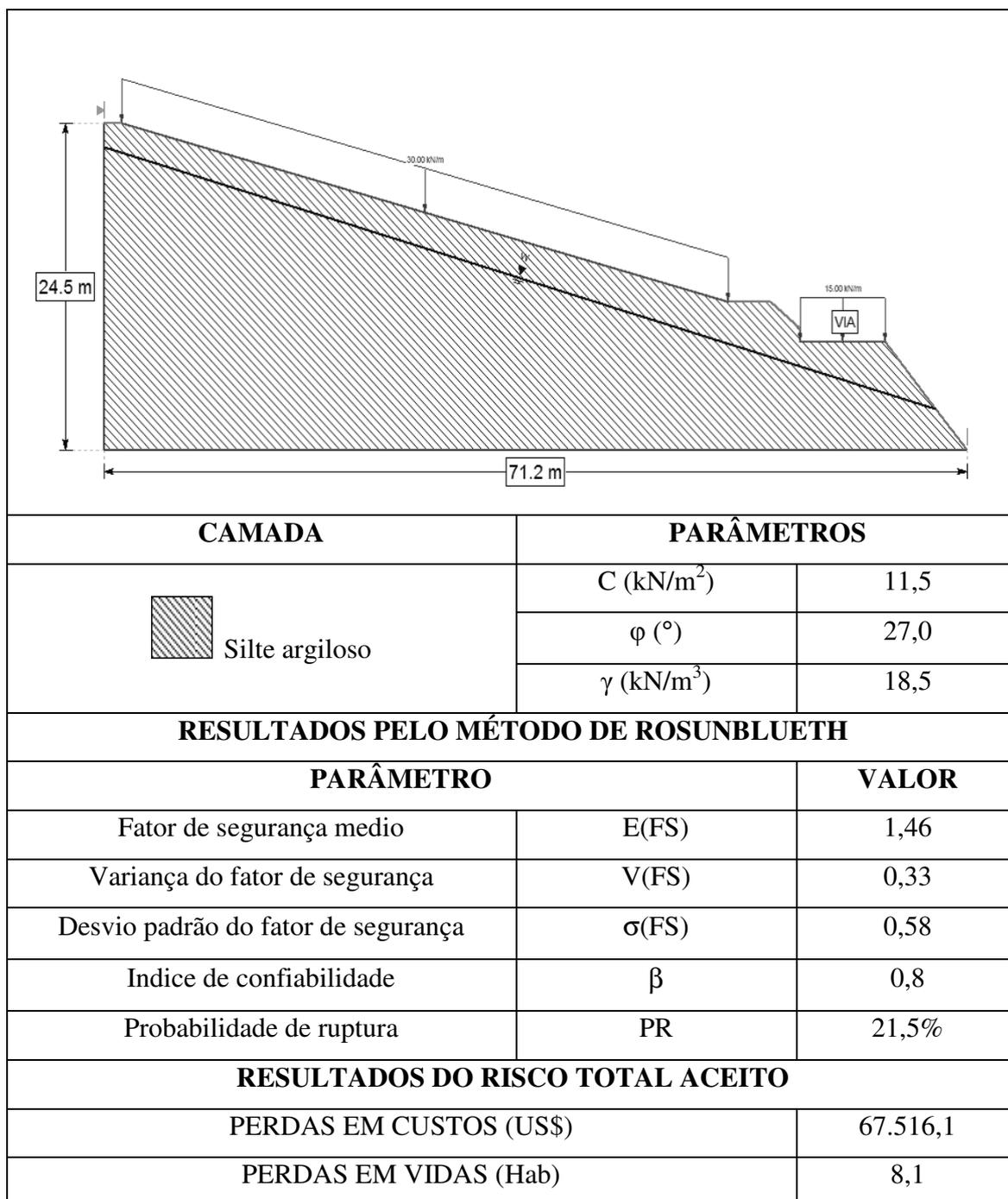
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	7,9	
	φ (°)	20,9	
	γ (kN/m ³)	17,9	
 Residual de anfibolito	C (kN/m ²)	18,5	
	φ (°)	20,0	
	γ (kN/m ³)	35,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,58	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,01	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,09	
Indice de confiabilidade	β	-4,50	
Probabilidade de ruptura	PR	100,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		20.557,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		13,2	

ANEXO B.42. MONTERROBLES Z1.

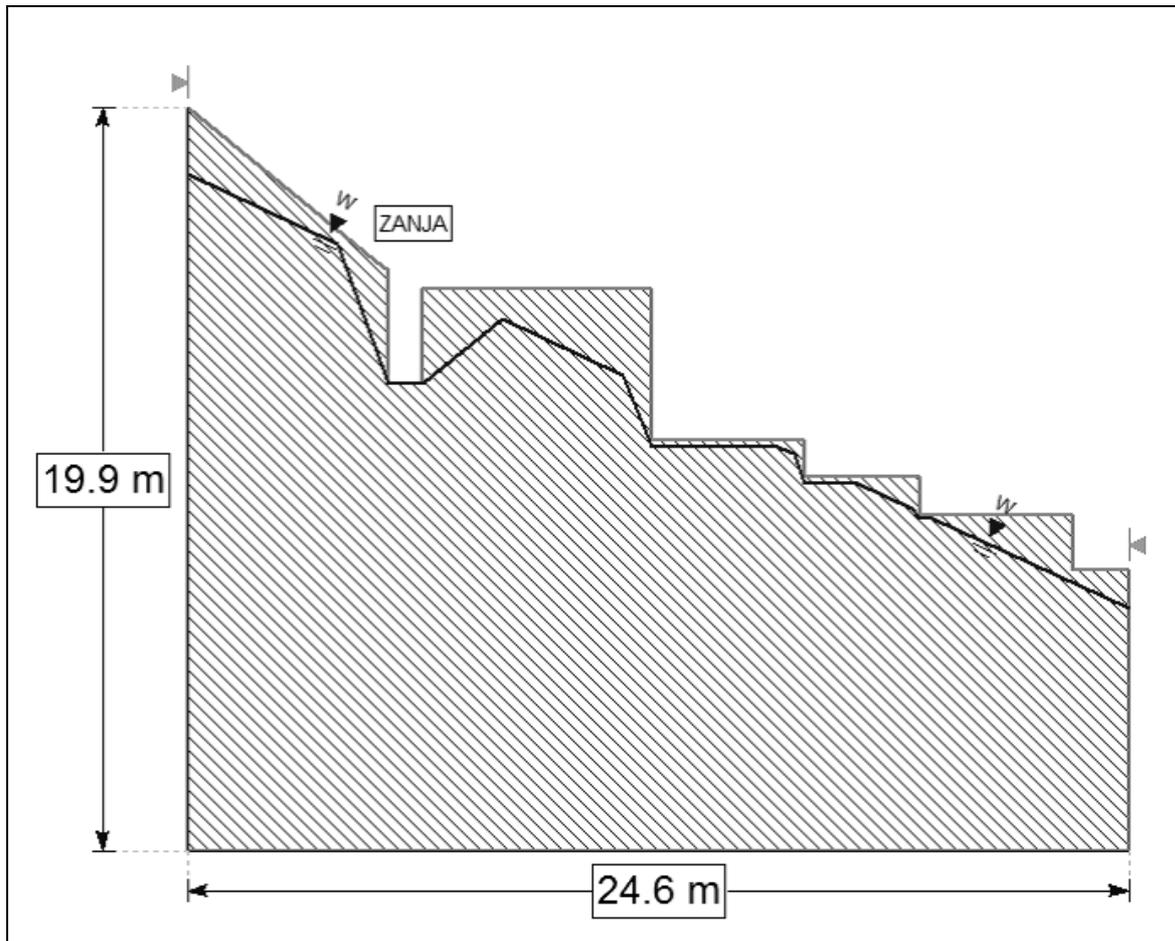


CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,17	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Índice de confiabilidade	β	-0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	56,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		125.906,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		9,6	

ANEXO B.43. MONTERROBLES Z2.

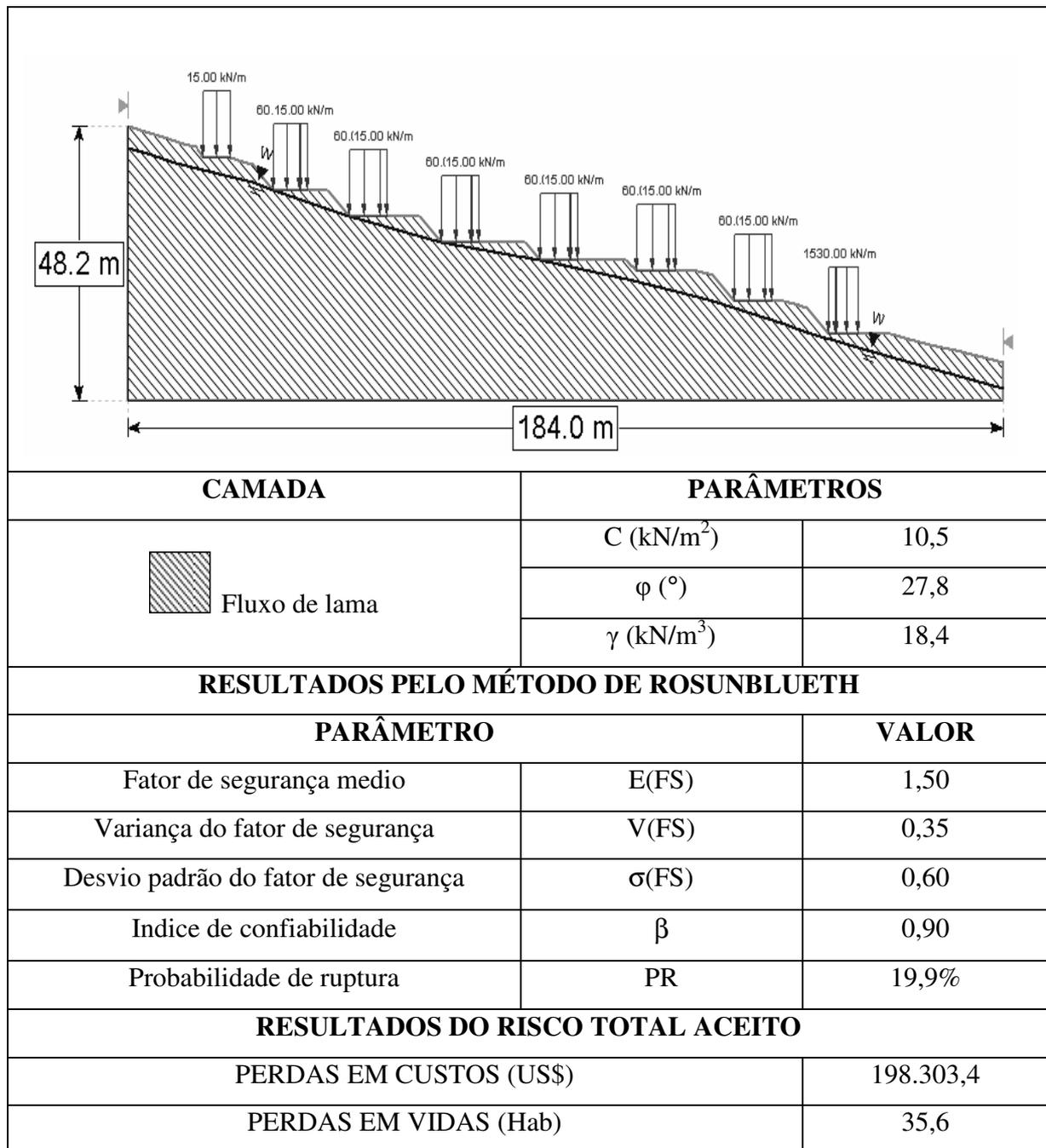


ANEXO B.44. MONTERROBLES Z3.

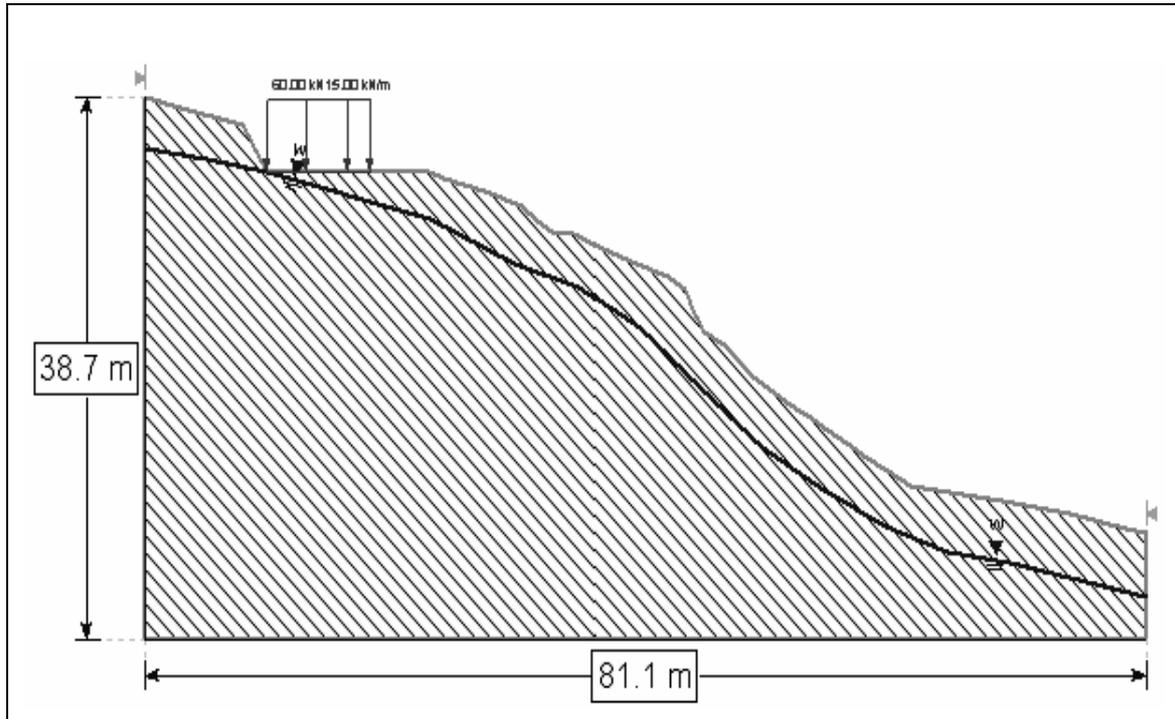


CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,97	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,26	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,51	
Indice de confiabilidade	β	-0,06	
Probabilidade de ruptura	PR	52,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		116.375,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		14,0	

ANEXO B.45. URBANIZAÇÃO LA HUERTA Z1.

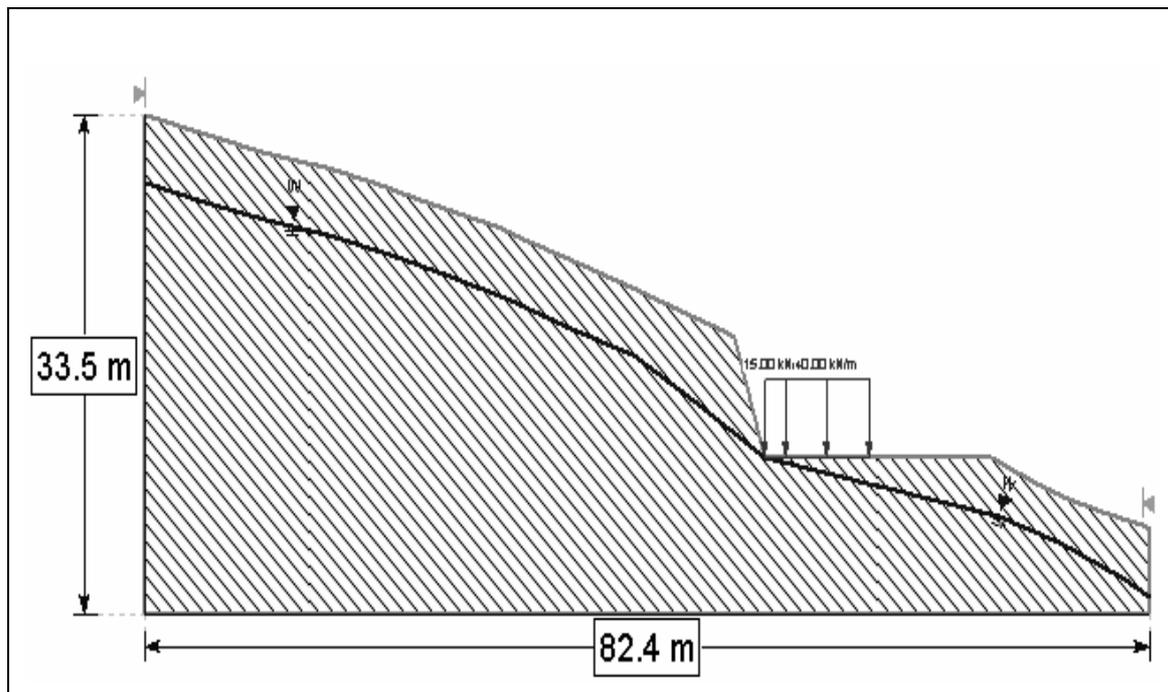


ANEXO B.46. URBANIZAÇÃO LA HUERTA Z2.



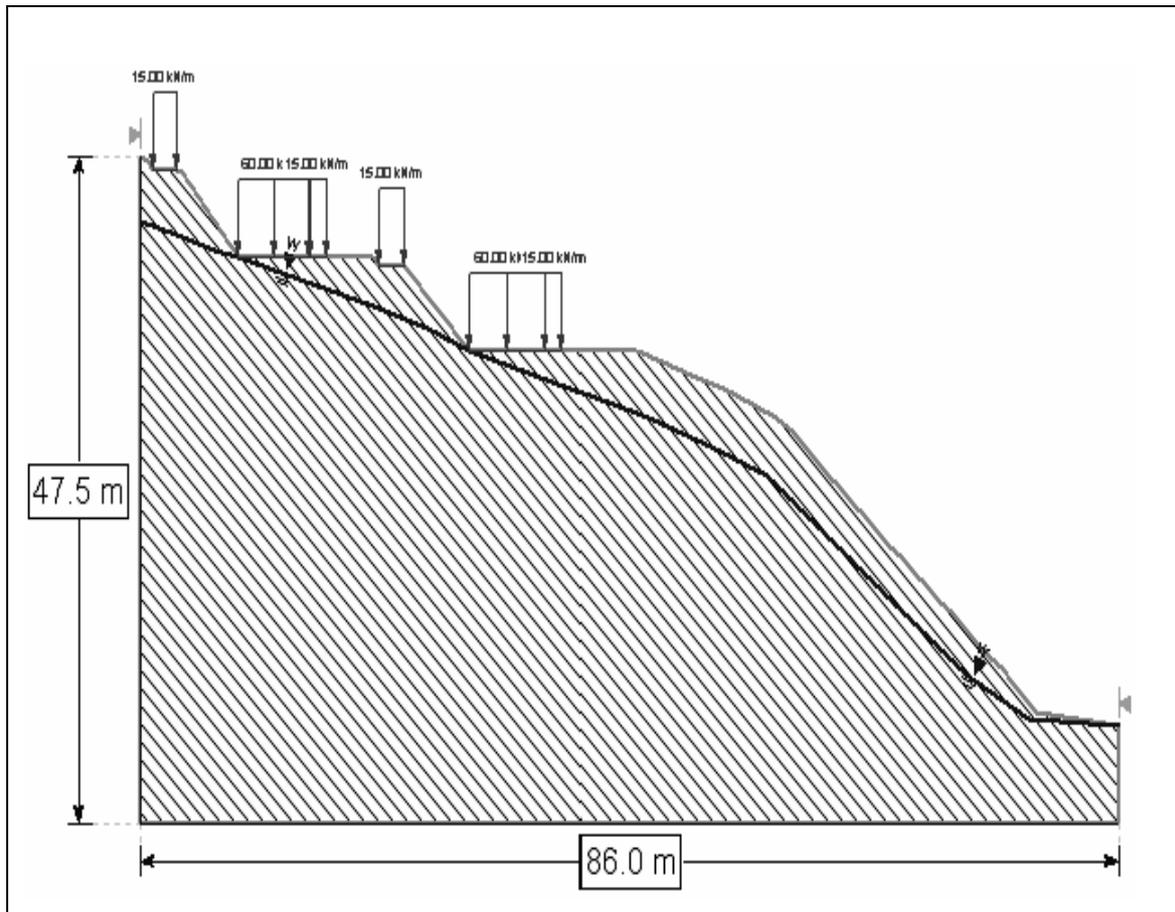
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,5	
	φ (°)	27,8	
	γ (kN/m ³)	18,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,94	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,01	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,31	
Índice de confiabilidade	β	-0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	58,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		96.857,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		30,3	

ANEXO B.47. URBANIZAÇÃO LA HUERTA Z3.



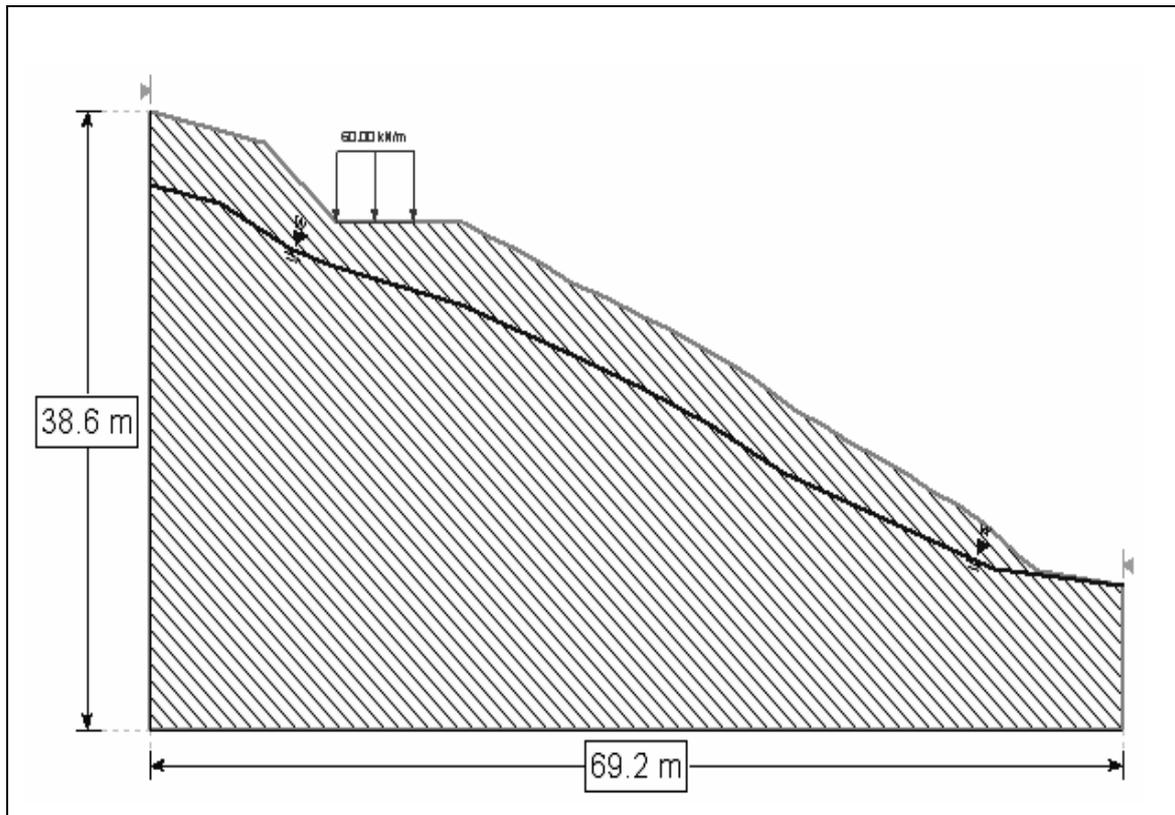
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,5	
	φ (°)	27,8	
	γ (kN/m ³)	18,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	0,75	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,09	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Índice de confiabilidade	β	-0,80	
Probabilidade de ruptura	PR	79,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		132.634,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		58,3	

ANEXO B.48. URBANIZAÇÃO LA HUERTA Z4.



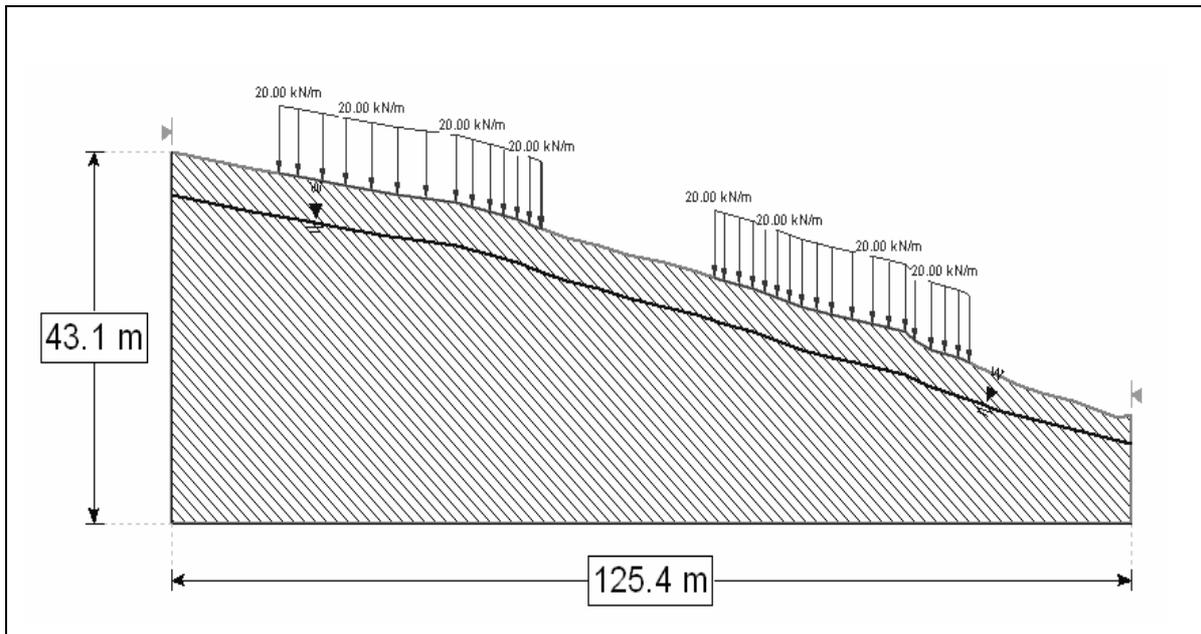
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,5	
	φ (°)	27,8	
	γ (kN/m ³)	18,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,70	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,22	
Indice de confiabilidade	β	-1,40	
Probabilidade de ruptura	PR	91,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		305.401,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		37,4	

ANEXO B.49. URBANIZACIÓN LA HUERTA Z5.



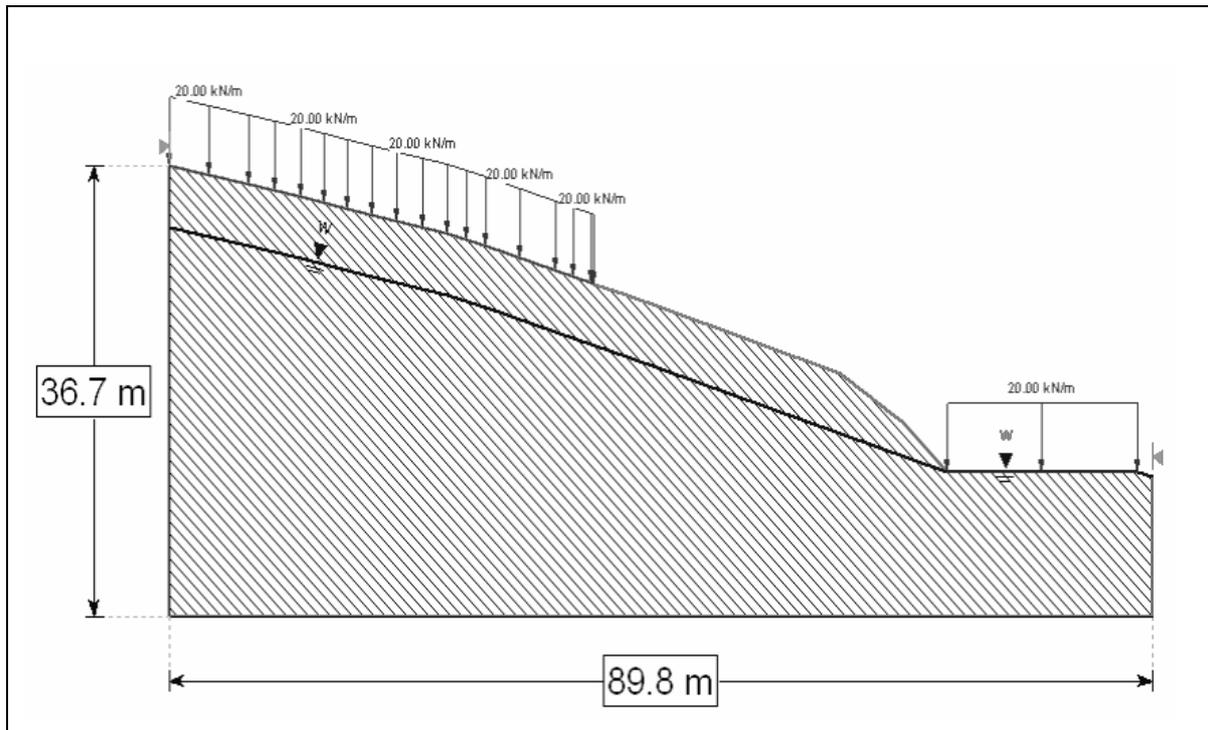
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	10,5	
	φ (°)	27,8	
	γ (kN/m ³)	18,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,00	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,27	
Indice de confiabilidade	β	0,10	
Probabilidade de ruptura	PR	49,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		82.327,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		53,7	

ANEXO B.50. PUERTA DEL SOL Z1.



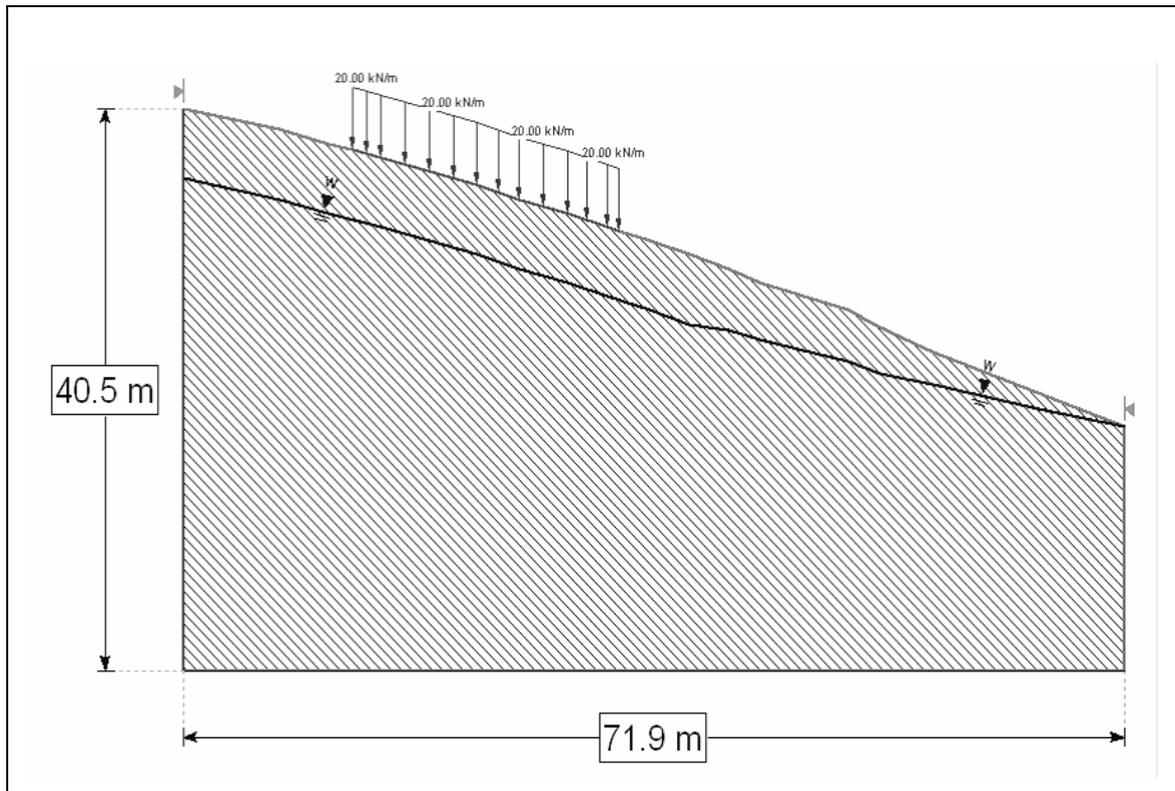
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxo	C (kN/m ²)	13,5	
	φ (°)	25,2	
	γ (kN/m ³)	18,9	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	1,60	
Variança do fator de segurança	$V(FS)$	0,22	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,47	
Indice de confiabilidade	β	1,30	
Probabilidade de ruptura	PR	10,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		16.693,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		6,2	

ANEXO B.51. PUERTA DEL SOL Z2.



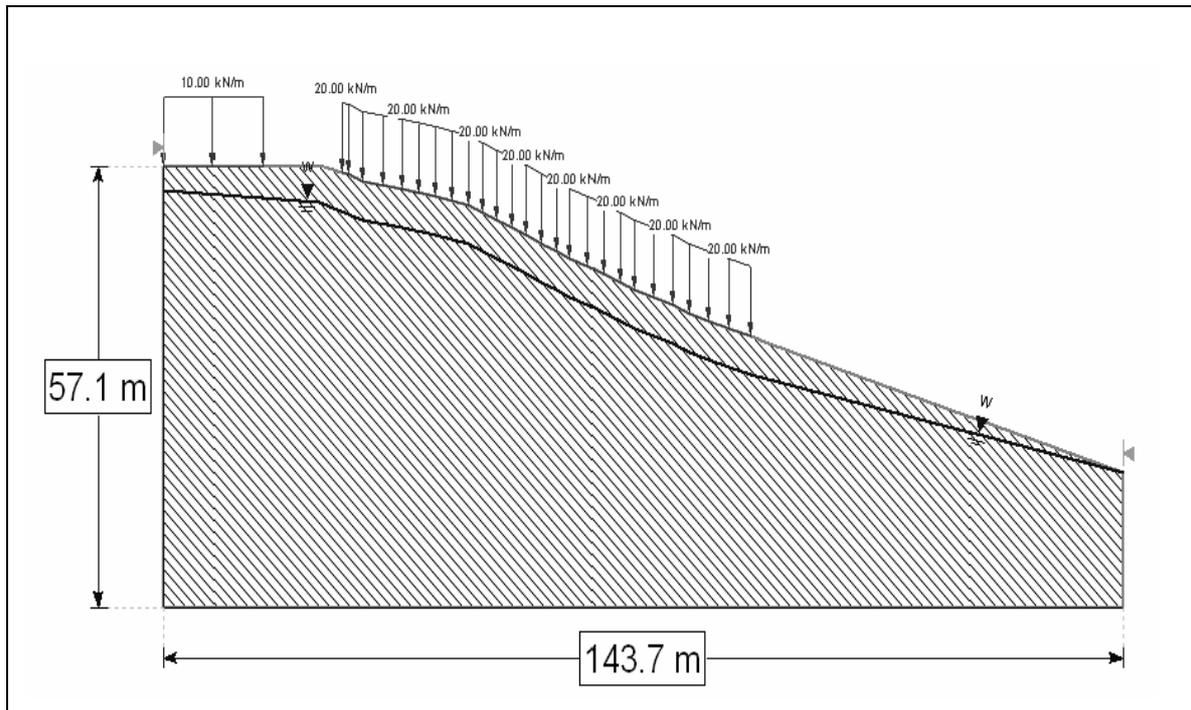
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxo	C (kN/m ²)	13,5	
	ϕ (°)	25,2	
	γ (kN/m ³)	18,9	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	1,20	
Variança do fator de segurança	$V(FS)$	0,19	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,43	
Indice de confiabilidade	β	0,50	
Probabilidade de ruptura	PR	32,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		34.031,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		13,3	

ANEXO B.52. PUERTA DEL SOL Z3.



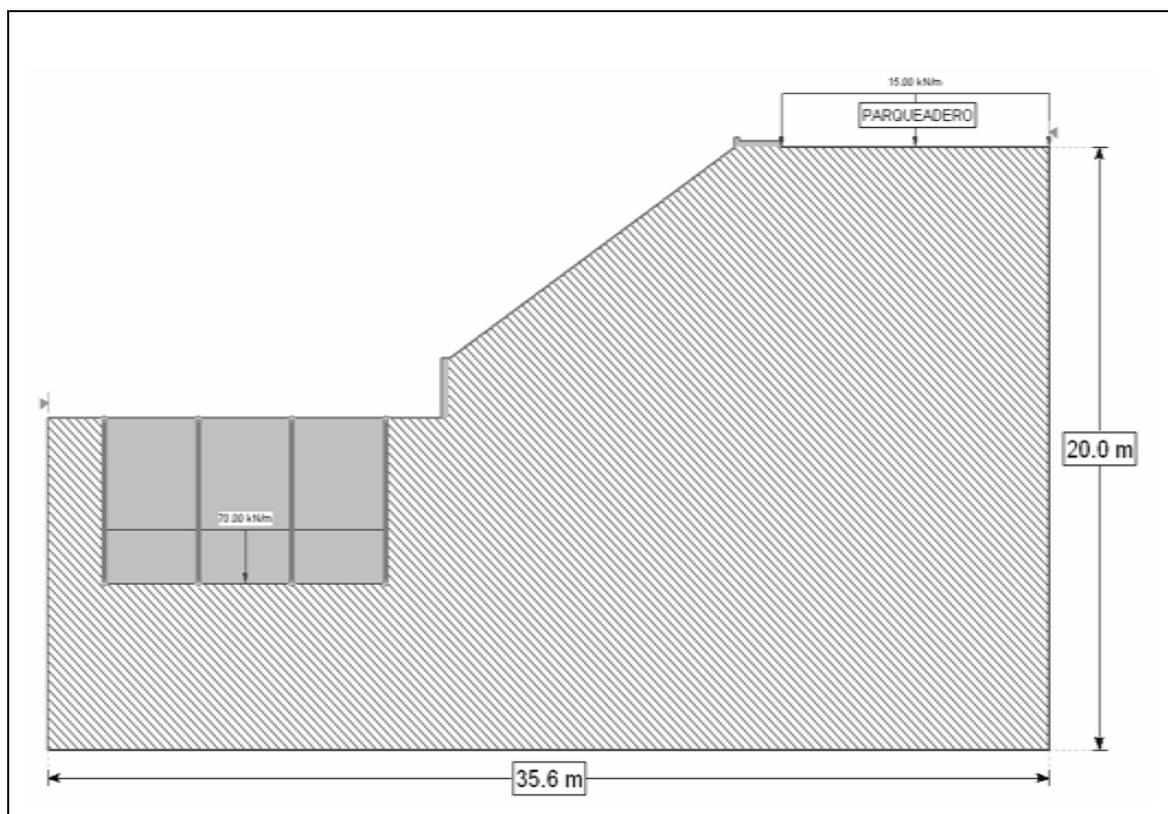
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxo	C (kN/m ²)	13,5	
	φ (°)	25,2	
	γ (kN/m ³)	18,9	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	144	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,23	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,48	
Indice de confiabilidade	β	0,90	
Probabilidade de ruptura	PR	17,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		8.939,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		9,7	

ANEXO B.53. PUERTA DEL SOL Z4.



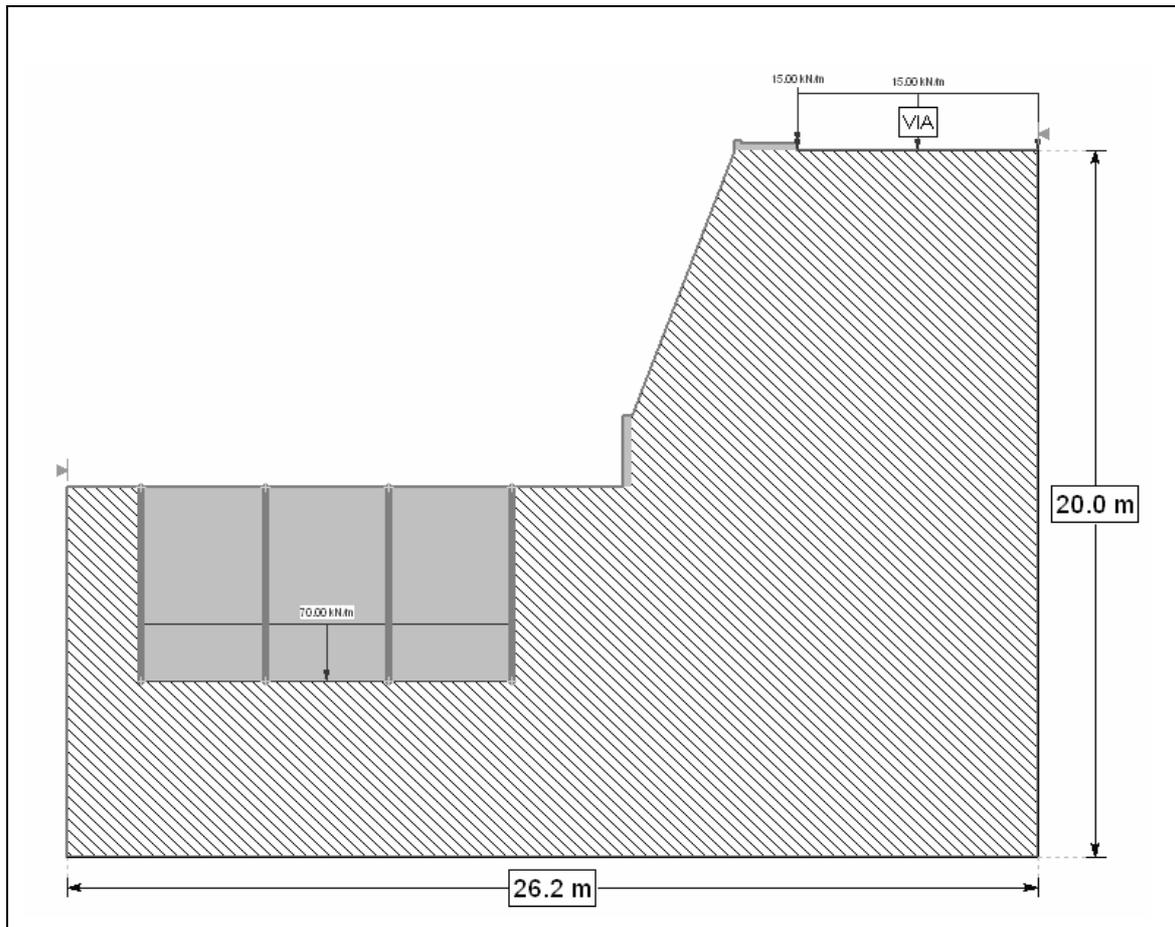
CAMADA		PARÂMETROS	
 Deposito de fluxo	C (kN/m ²)	13,5	
	φ (°)	25,2	
	γ (kN/m ³)	18,9	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,15	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,09	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Indice de confiabilidade	β	0,50	
Probabilidade de ruptura	PR	30,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		40.247,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		16,5	

ANEXO B.54. LA AURORA Z1.



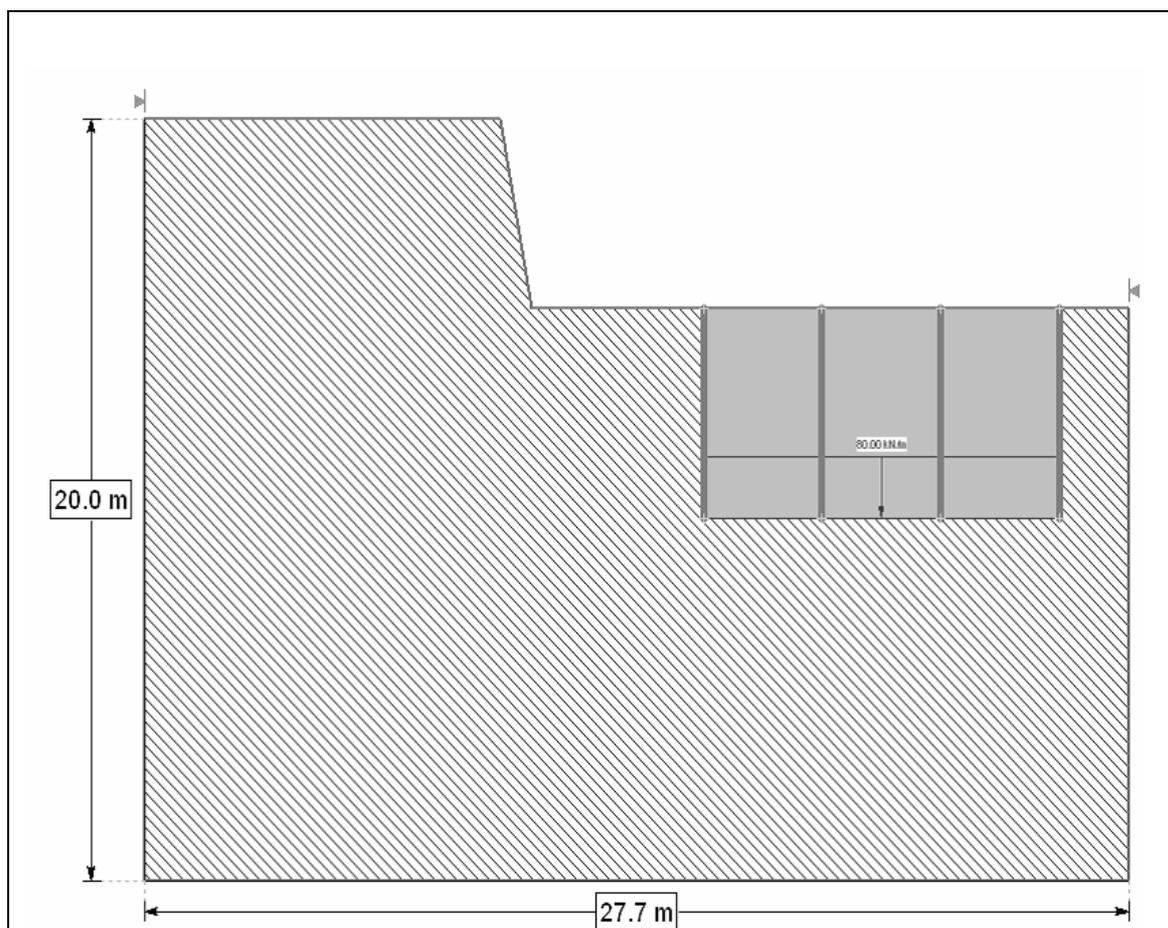
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo em solos finos	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,56	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,13	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,36	
Índice de confiabilidade	β	1,60	
Probabilidade de ruptura	PR	5,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		21.586,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,9	

ANEXO B.55. LA AURORA Z2.



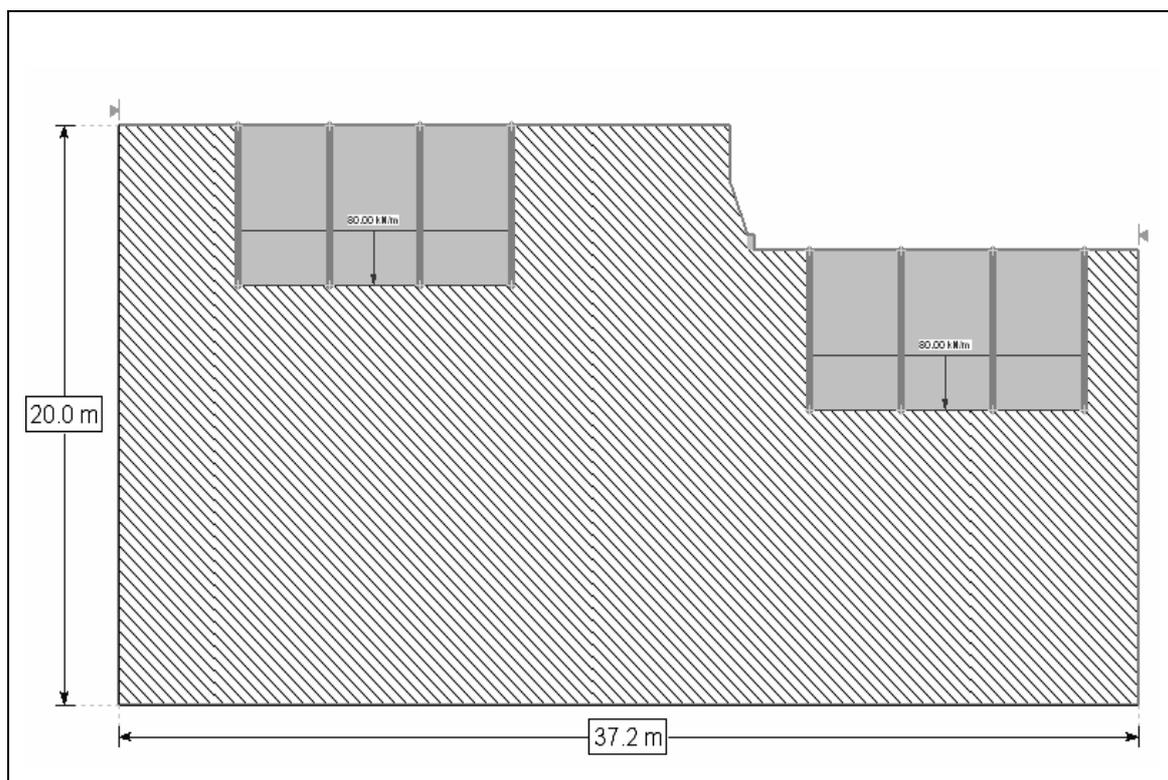
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo em solos finos	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio		E(FS)	0,91
Variança do fator de segurança		V(FS)	0,06
Desvio padrão do fator de segurança		σ (FS)	0,25
Índice de confiabilidade		β	-0,40
Probabilidade de ruptura		PR	63,9%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		237.824,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		25,1	

ANEXO B.56. LA AURORA Z3.



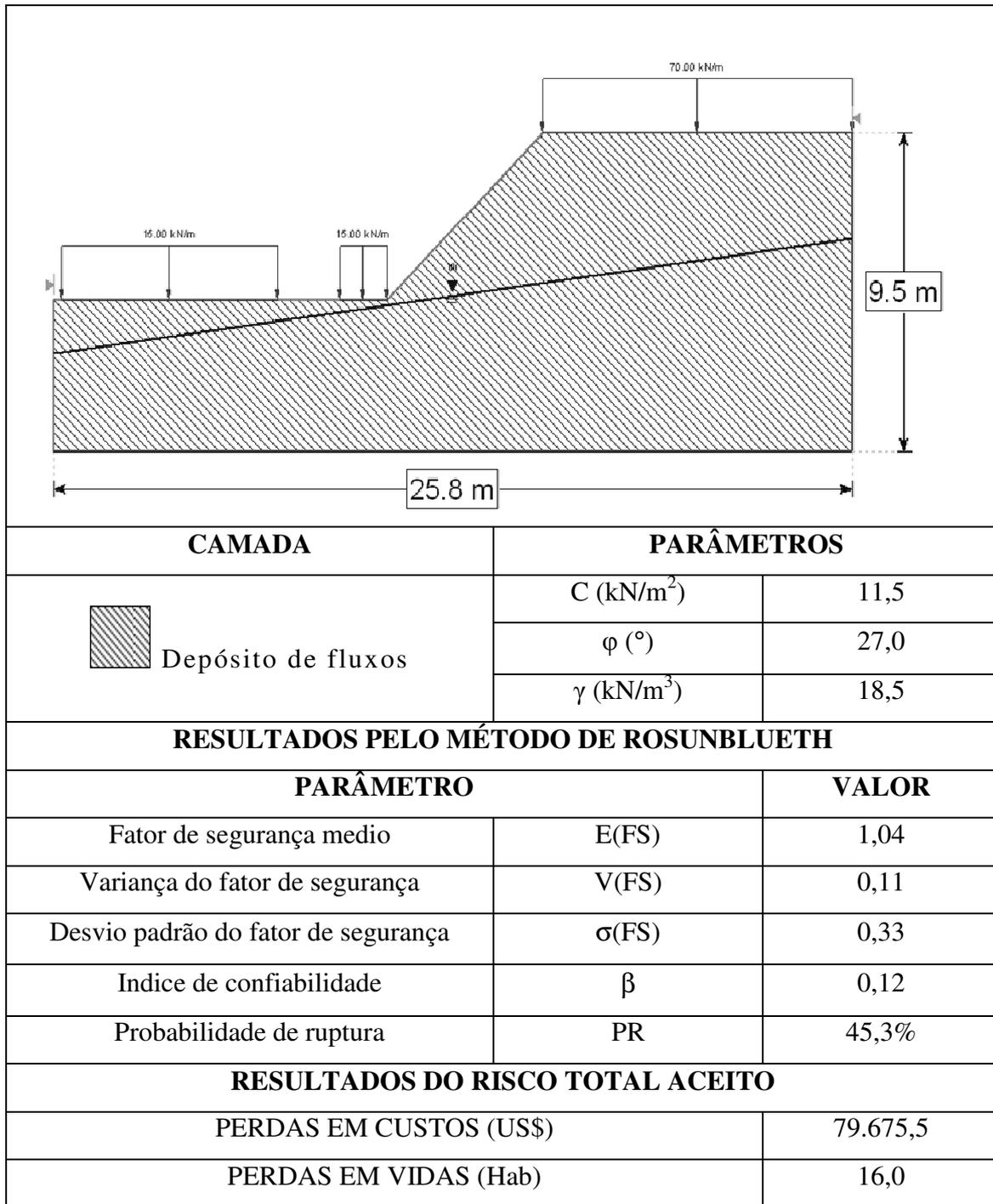
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo em solos finos	C (kN/m ²)	17,0	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,18	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,14	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,38	
Índice de confiabilidade	β	0,50	
Probabilidade de ruptura	PR	31,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		87.298,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		7,9	

ANEXO B.57. LA AURORA Z4.

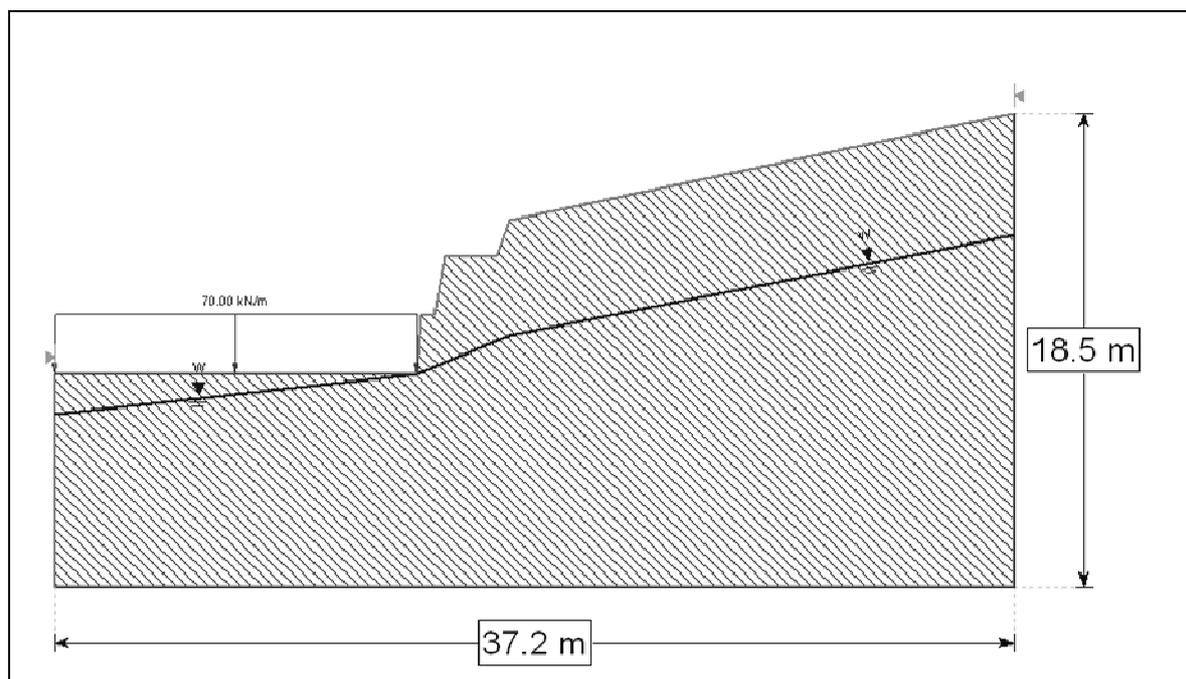


CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo em solos finos	C (kN/m ²)	17,0	
	ϕ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,58	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,26	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,51	
Indice de confiabilidade	β	1,10	
Probabilidade de ruptura	PR	12,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		79.241,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		3,9	

ANEXO B.58. LAS FLORES Z1.

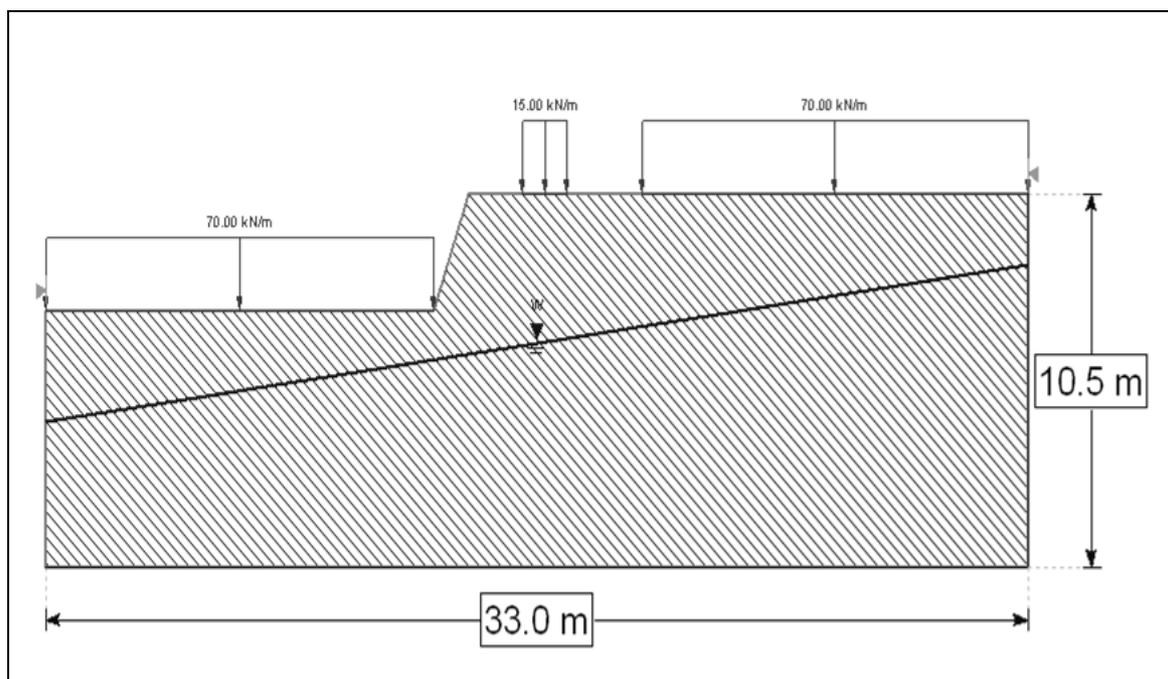


ANEXO B.59. LAS FLORES Z2.



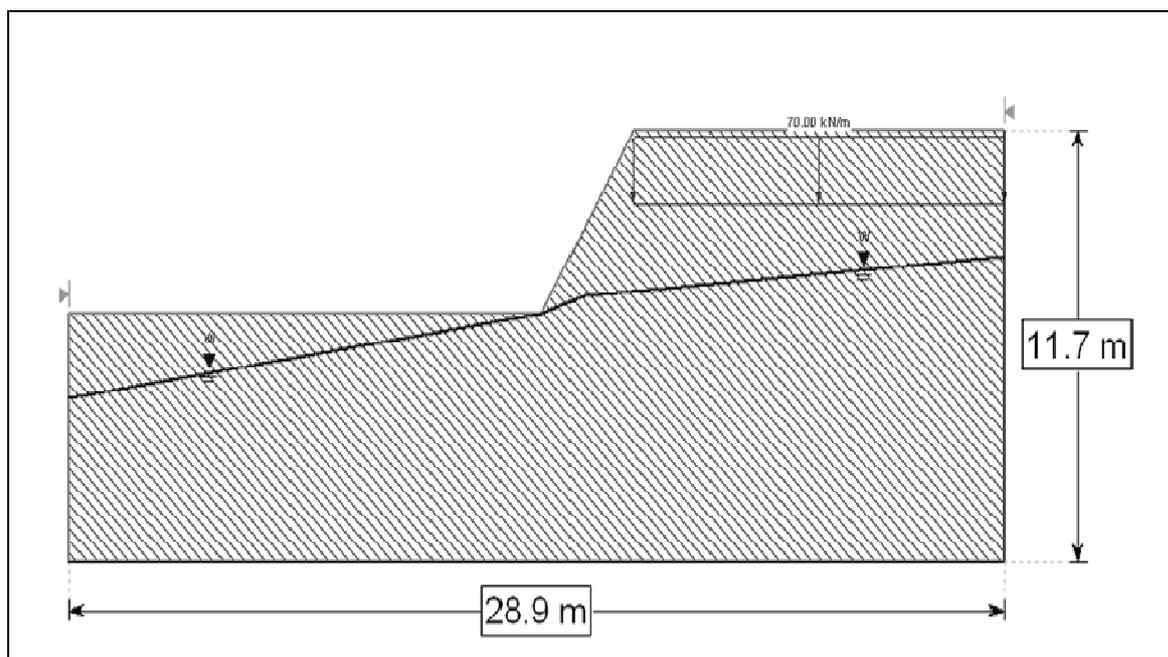
CAMADA		PARÂMETROS	
 Depósito de fluxos	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,18	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,23	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,47	
Indice de confiabilidade	β	0,40	
Probabilidade de ruptura	PR	35,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		62.614,8	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		10,8	

ANEXO B.60. LAS FLORES Z3.



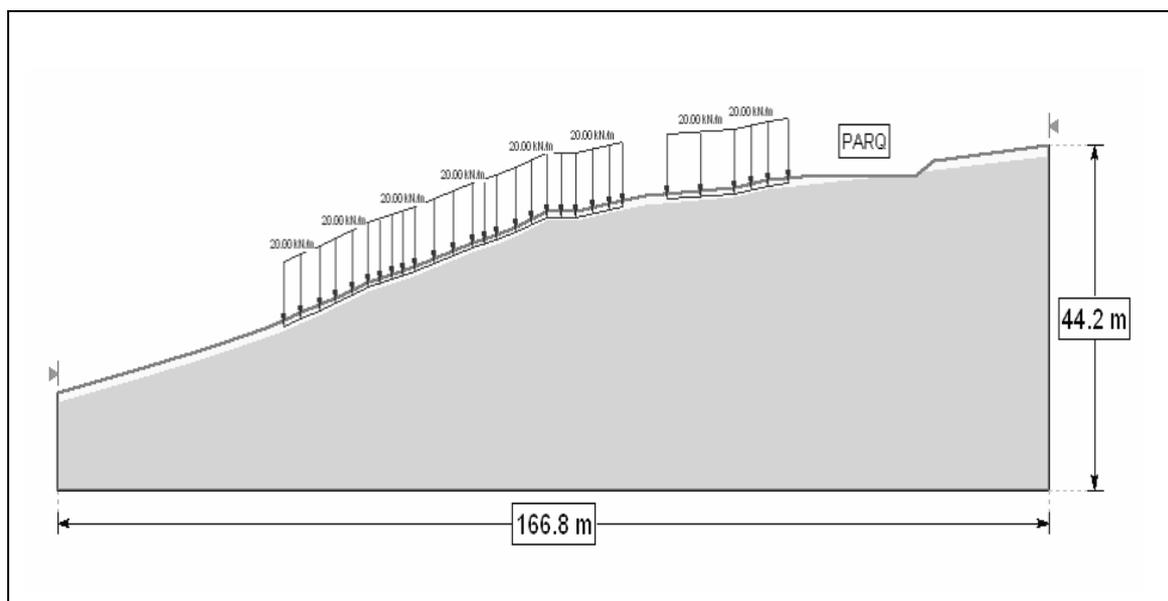
CAMADA		PARÂMETROS	
 Depósito de fluxos	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,36	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,36	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,60	
Índice de confiabilidade	β	0,60	
Probabilidade de ruptura	PR	27,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		93.922,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		22,8	

ANEXO B.61. LAS FLORES Z4.



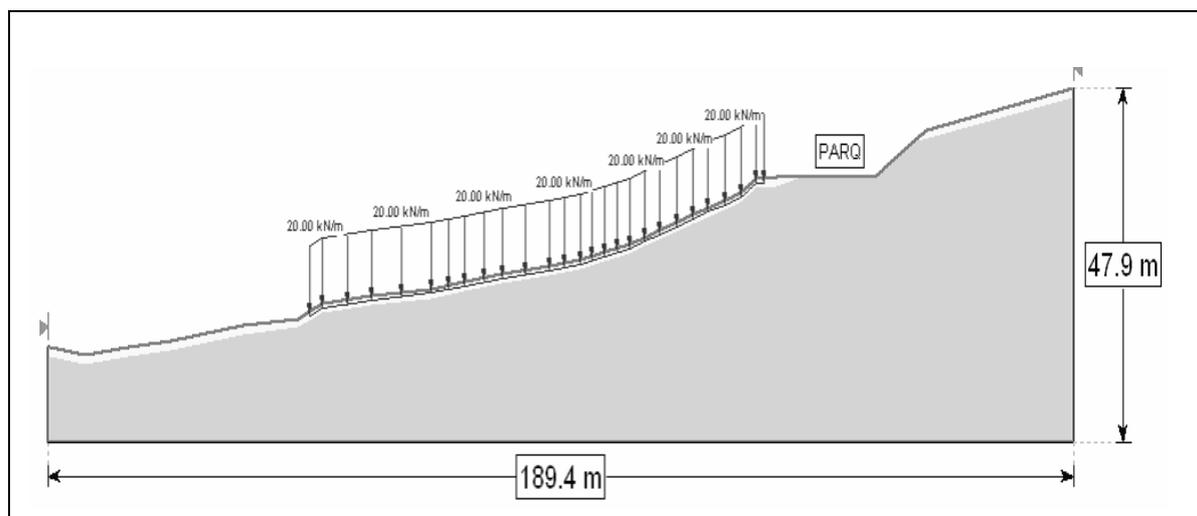
CAMADA		PARÂMETROS	
 Depósito de fluxos	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,80	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,28	
Índice de confiabilidade	β	-0,71	
Probabilidade de ruptura	PR	76,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		133.672,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		42,8	

ANEXO B.62. SANTA CATALINA Z1.



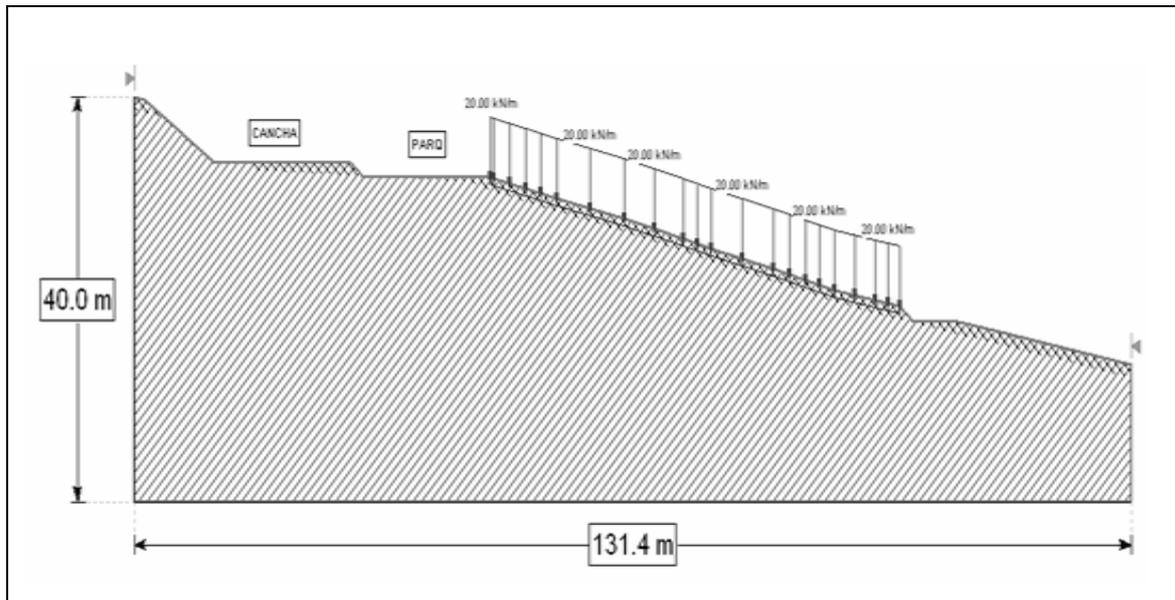
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,0	
	φ (°)	11,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
 Solo residual de anfíbilito	C (kN/m ²)	15,1	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,66	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,17	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,42	
Índice de confiabilidade	β	1,60	
Probabilidade de ruptura	PR	5,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		9.654,8	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		4,0	

ANEXO B.63. SANTA CATALINA Z2.



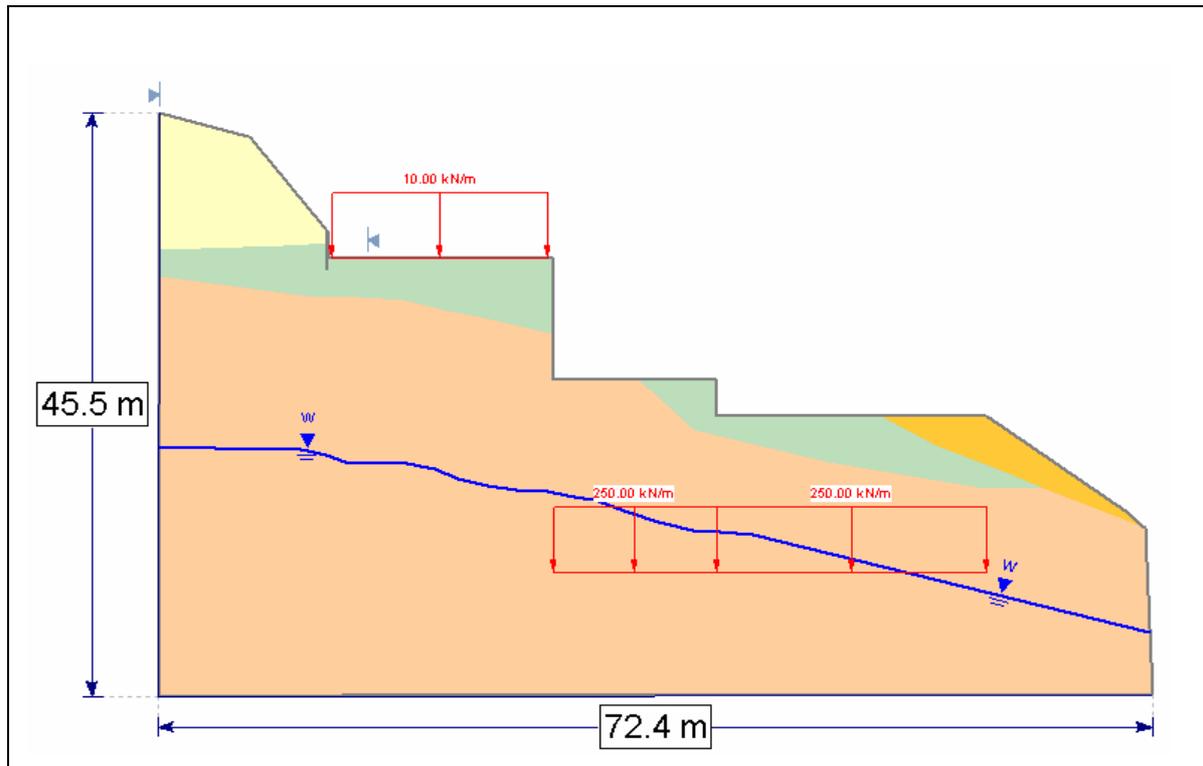
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,0	
	φ (°)	11,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
 Solo residual de anfíbilito	C (kN/m ²)	15,1	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,57	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,14	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,37	
Índice de confiabilidade	β	1,50	
Probabilidade de ruptura	PR	6,20%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		9.827,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		4,5	

ANEXO B.64. SANTA CATALINA Z3.



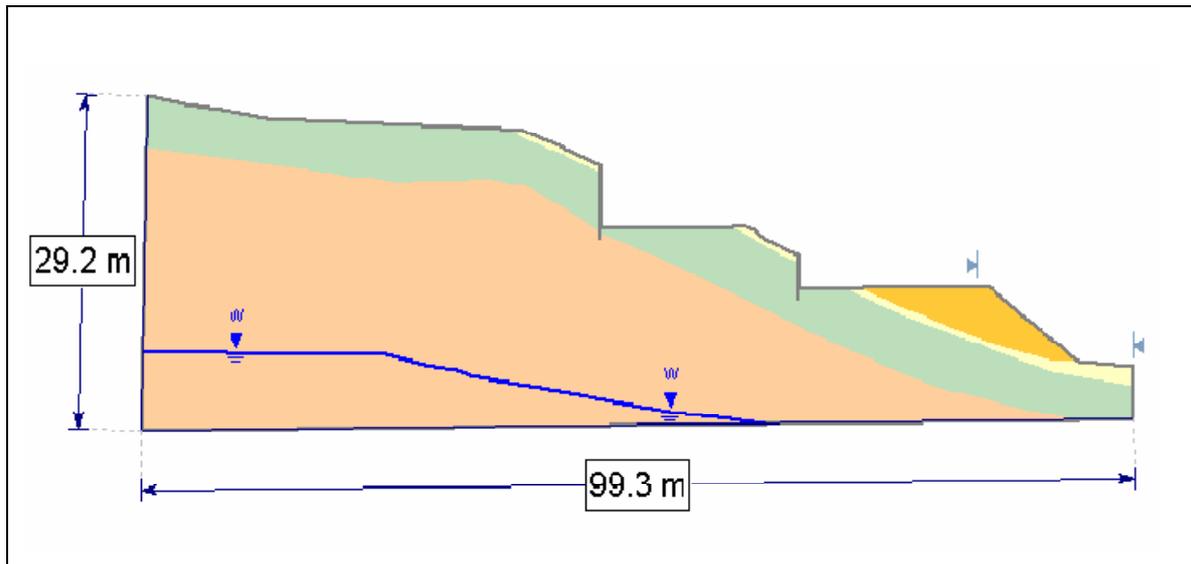
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,0	
	φ (°)	11,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
 Solo residual de anfibilito	C (kN/m ²)	15,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,92	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,20	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,45	
Indice de confiabilidade	β	2,1	
Probabilidade de ruptura	PR	2,00%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		5.008,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,8	

ANEXO B.65. ENTREPALMAS DE SAN DIEGO 1.



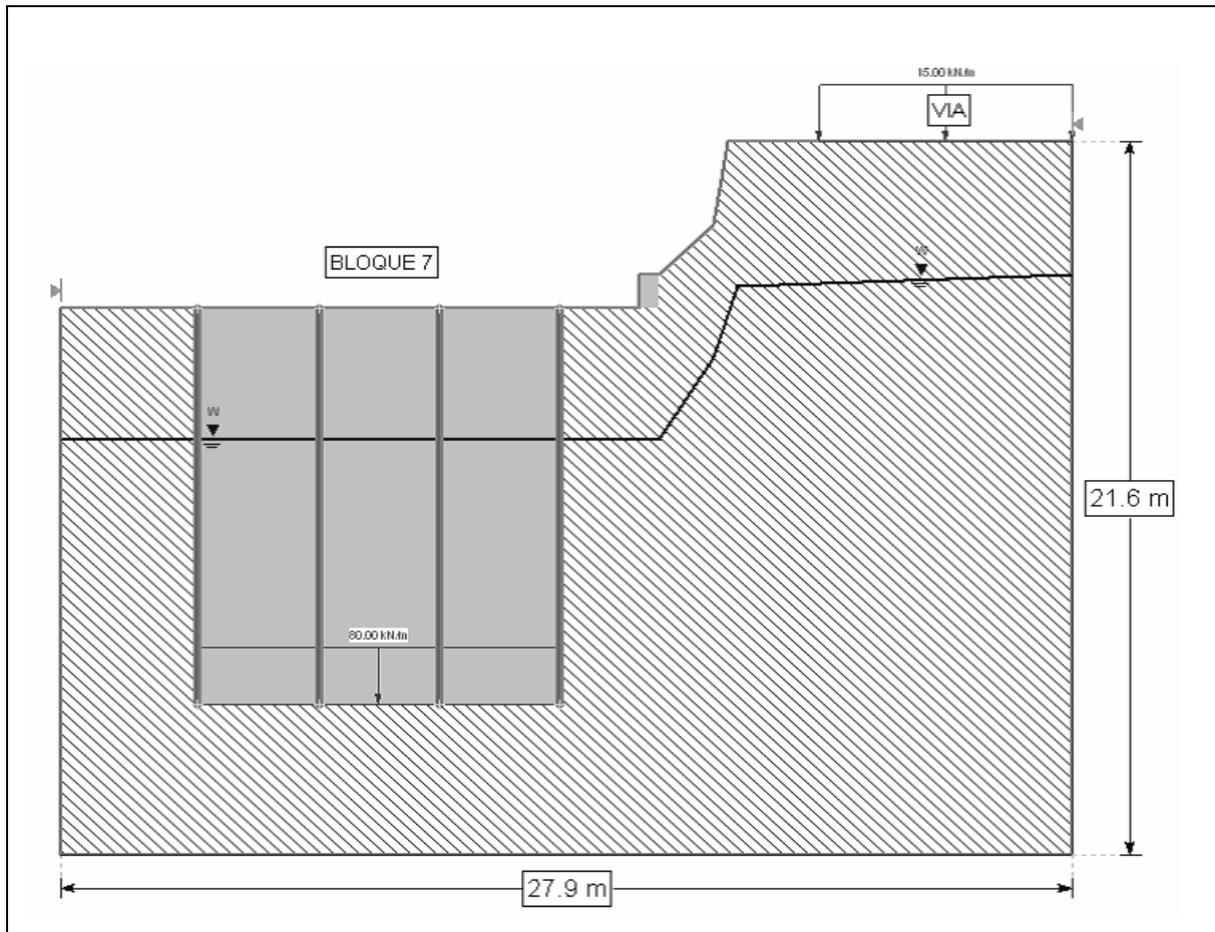
CAMADA		PARÂMETROS	
Fluxo de lama	C (kN/m ²)	6,4	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
Residual de gabro	C (kN/m ²)	51,7	
	φ (°)	35,8	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,03	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,17	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	42,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		353.994,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		15,7	

ANEXO B.66. ENTREPALMAS DE SAN DIEGO 2.



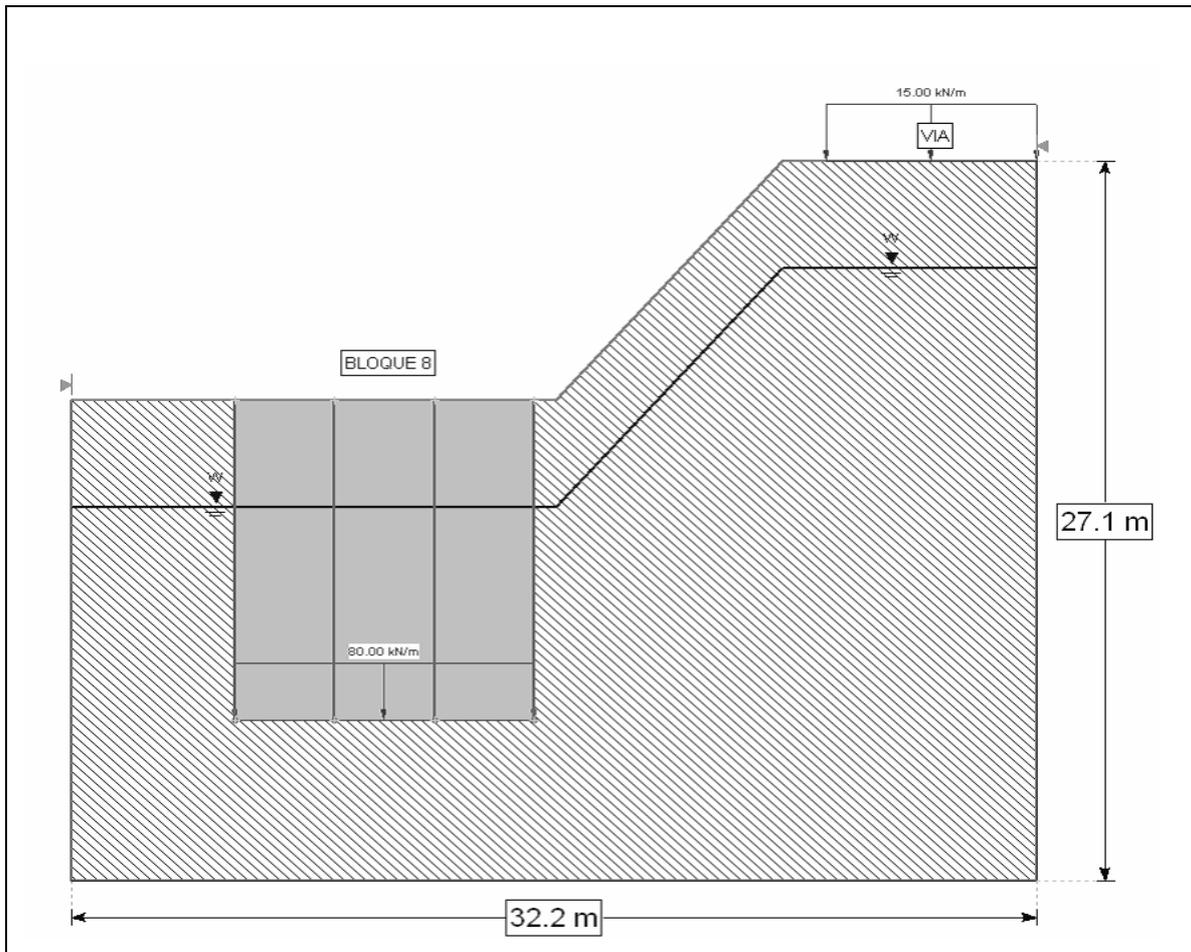
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	1,0	
	ϕ (°)	30,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
 Camada orgânica	C (kN/m ²)	3,6	
	ϕ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,97	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,94	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,07	
Indice de confiabilidade	β	-0,50	
Probabilidade de ruptura	PR	68,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.111.906,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		25,5	

ANEXO B.67. COLINAS DEL VIENTO Z1.



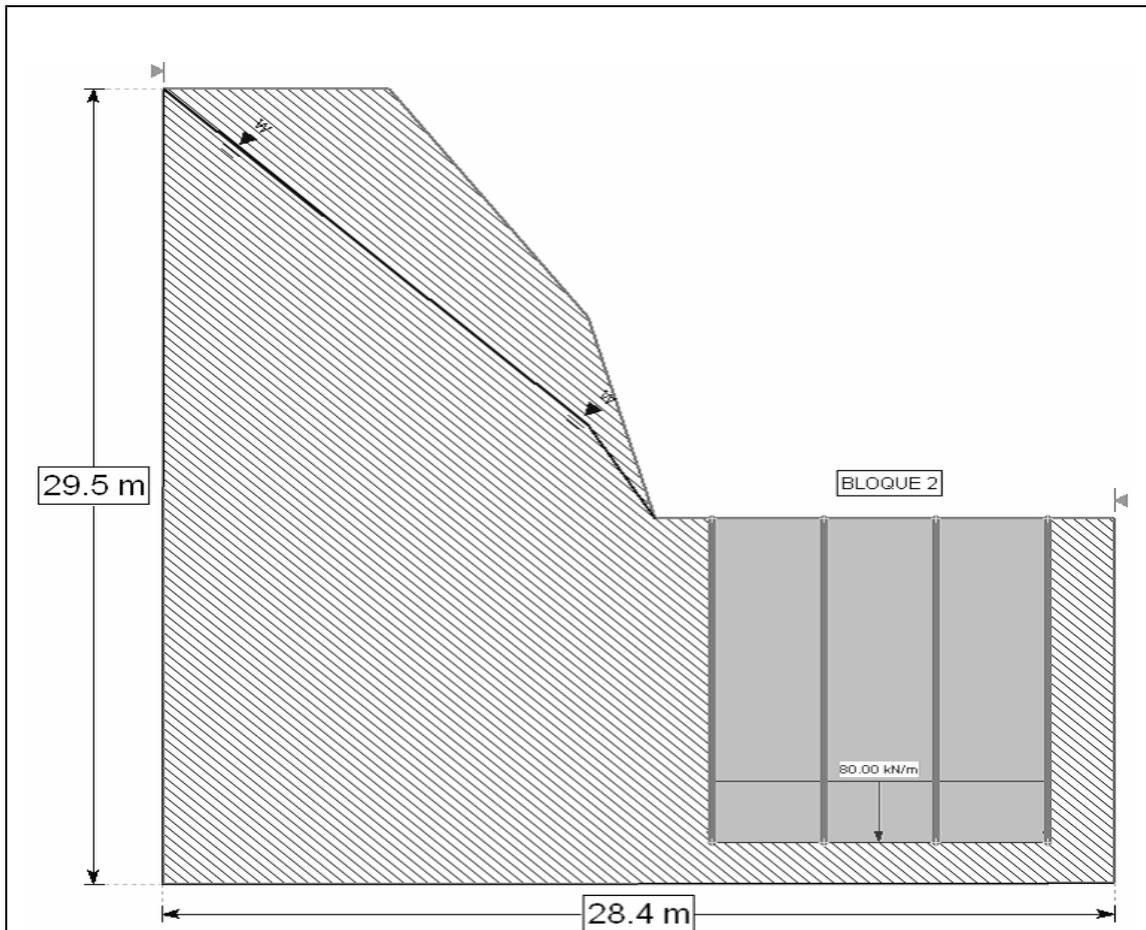
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	11,4	
	φ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	1,12	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,76	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,87	
Índice de confiabilidade	β	0,11	
Probabilidade de ruptura	PR	44,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		98.696,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		17,2	

ANEXO B.68. COLINAS DEL VIENTO Z2.



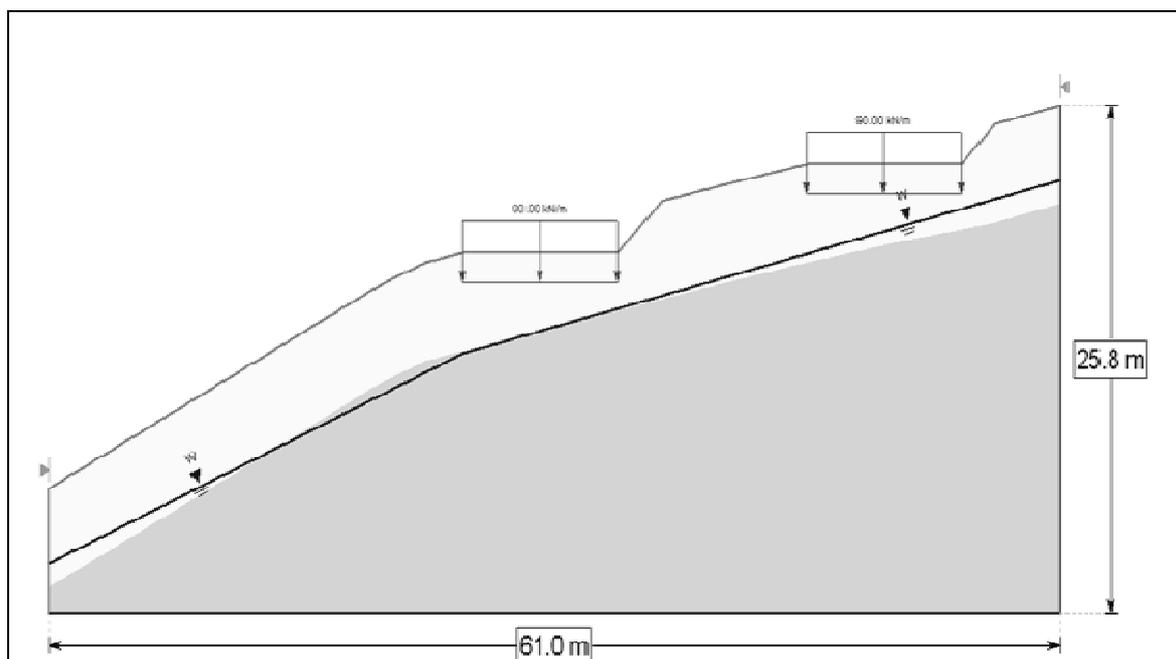
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	11,4	
	φ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,99	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,25	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,50	
Índice de confiabilidade	β	-0,02	
Probabilidade de ruptura	PR	50,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		112.225,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		15,2	

ANEXO B.69. COLINAS DEL VIENTO Z3.



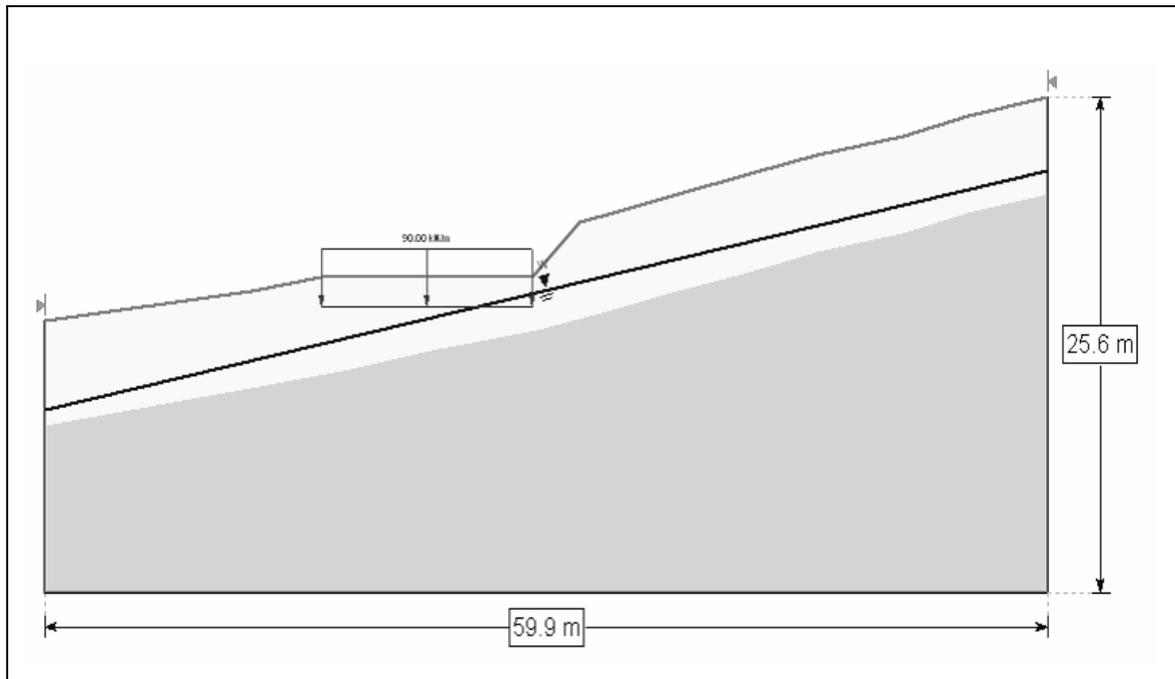
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	11,4	
	φ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	0,56	
Variança do fator de segurança	$V(FS)$	0,10	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,31	
Indice de confiabilidade	β	-1,40	
Probabilidade de ruptura	PR	92,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		205.155,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		63,6	

ANEXO B.70. POBLADO DE VERACRUZ Z1.



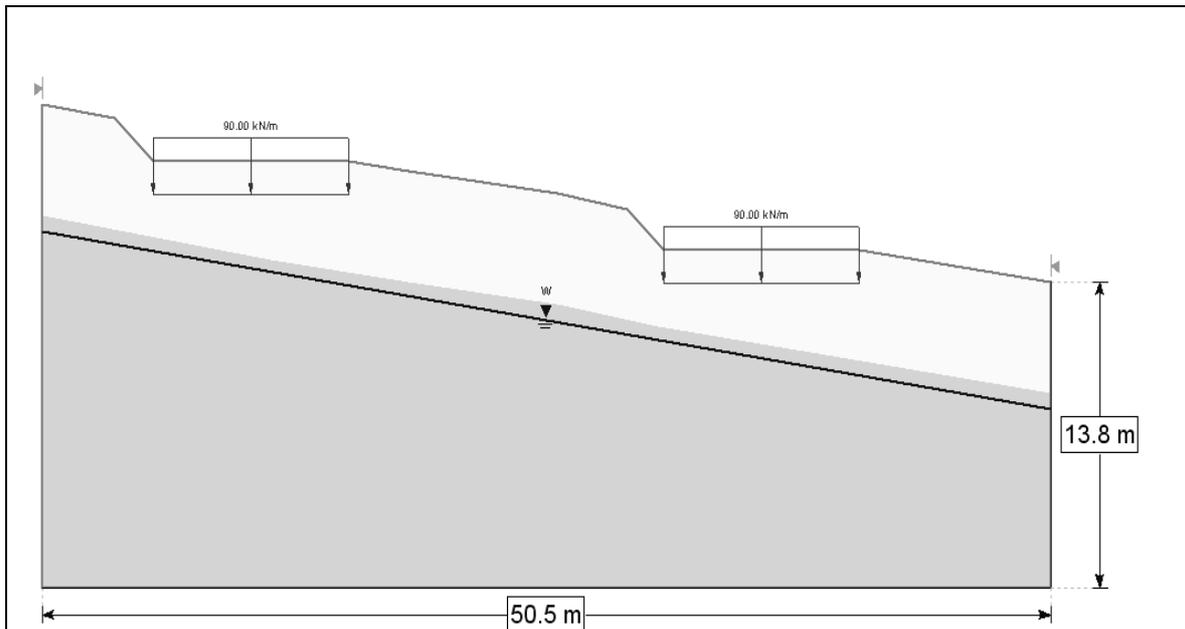
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Silte argiloso com camada argilosa	C (kN/m ²)	43,0	
	φ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,51	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,26	
Indice de confiabilidade	β	2,00	
Probabilidade de ruptura	PR	2,4%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.677,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,5	

ANEXO B.71. POBLADO DE VERACRUZ Z2.



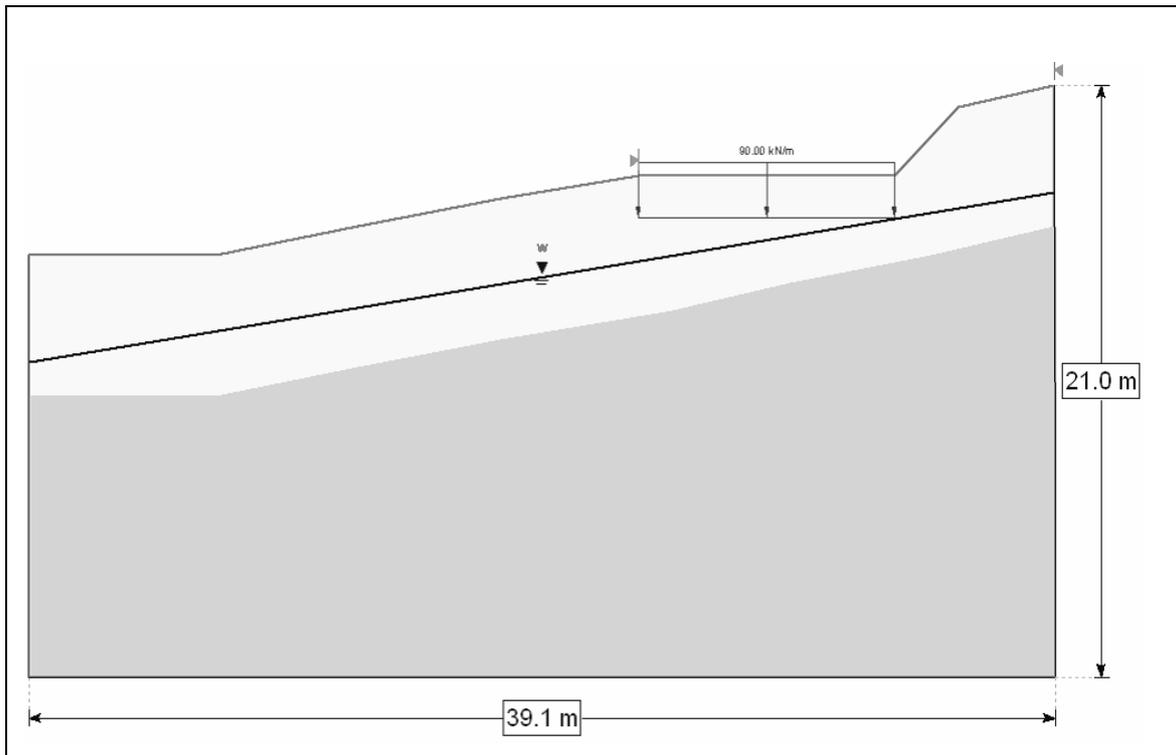
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	ϕ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Silte argiloso com camada argilosa	C (kN/m ²)	43,0	
	ϕ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	2,17	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,23	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,48	
Índice de confiabilidade	β	2,4	
Probabilidade de ruptura	PR	0,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		489,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,0	

ANEXO B.72. POBLADO DE VERACRUZ Z3.



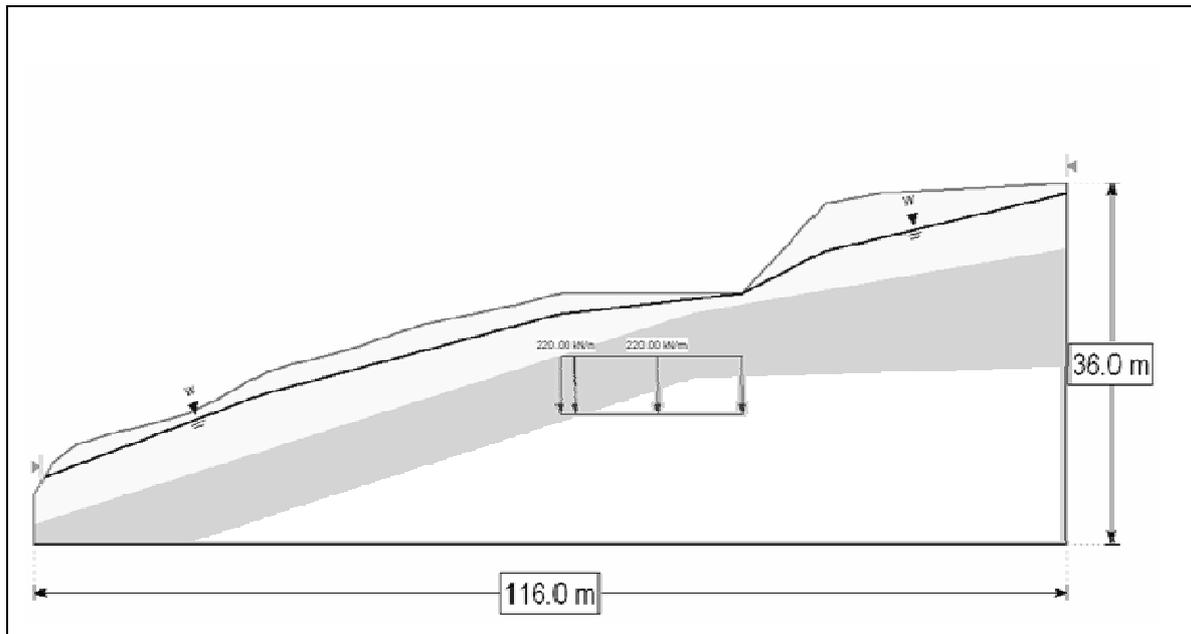
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Silte argiloso com camada argilosa	C (kN/m ²)	43,0	
	φ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio		E(FS)	2,30
Variança do fator de segurança		V(FS)	0,17
Desvio padrão do fator de segurança		σ (FS)	0,40
Indice de confiabilidade		β	3,2
Probabilidade de ruptura		PR	0,08%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		55,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,0	

ANEXO B.73. POBLADO DE VERACRUZ Z4.



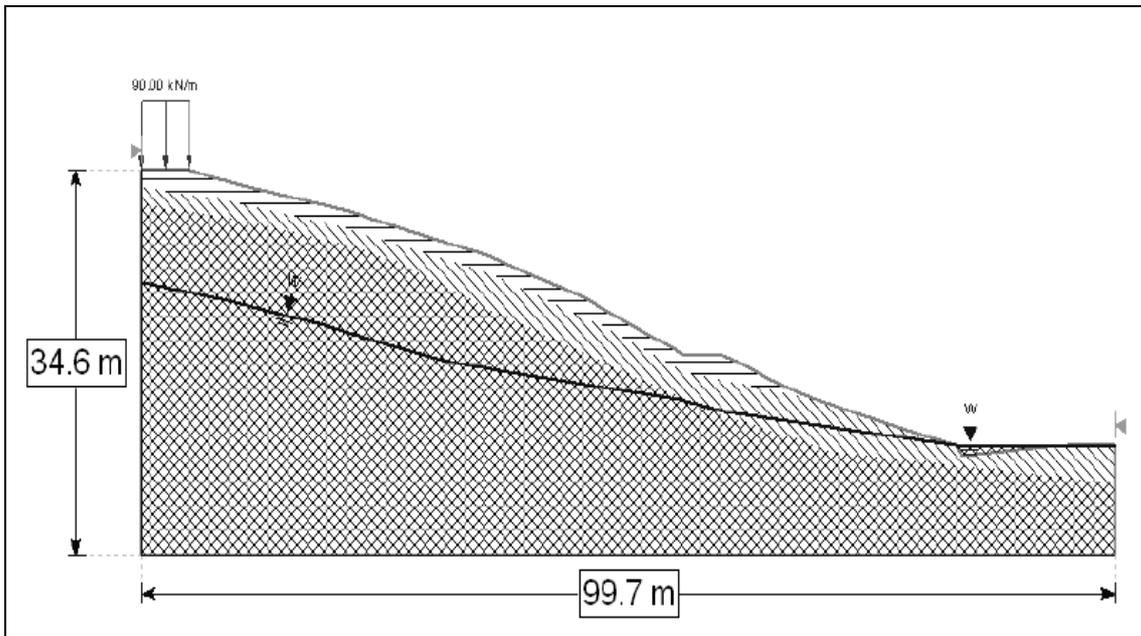
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Silte argiloso com camada argilosa	C (kN/m ²)	43,0	
	φ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	20,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,75	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,65	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	2,20	
Indice de confiabilidade	β	2,1	
Probabilidade de ruptura	PR	1,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.048,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,3	

ANEXO B.74. SANTA MARIA DEL BUEN AIRE.



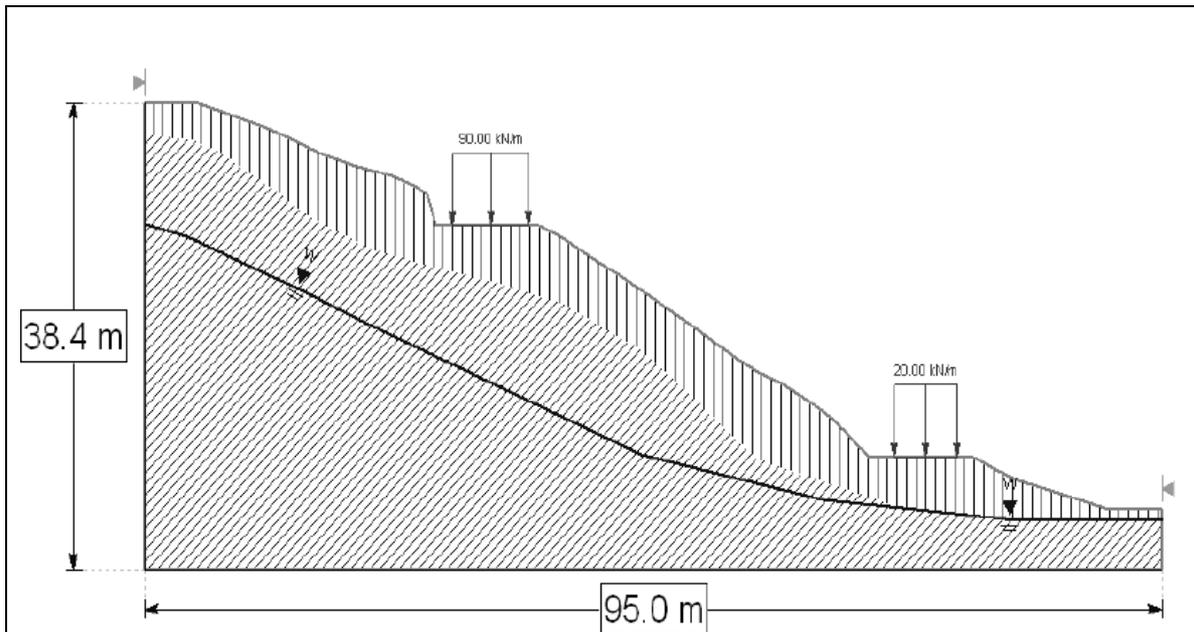
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte cinza	C (kN/m ²)	9,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	17,4	
 Silte com fragmentos de rocha	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	17,4	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,18	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,16	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,41	
Índice de confiabilidade	β	0,50	
Probabilidade de ruptura	PR	32,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		148.486,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		6,7	

ANEXO B.75. EL LIMONAR 1.



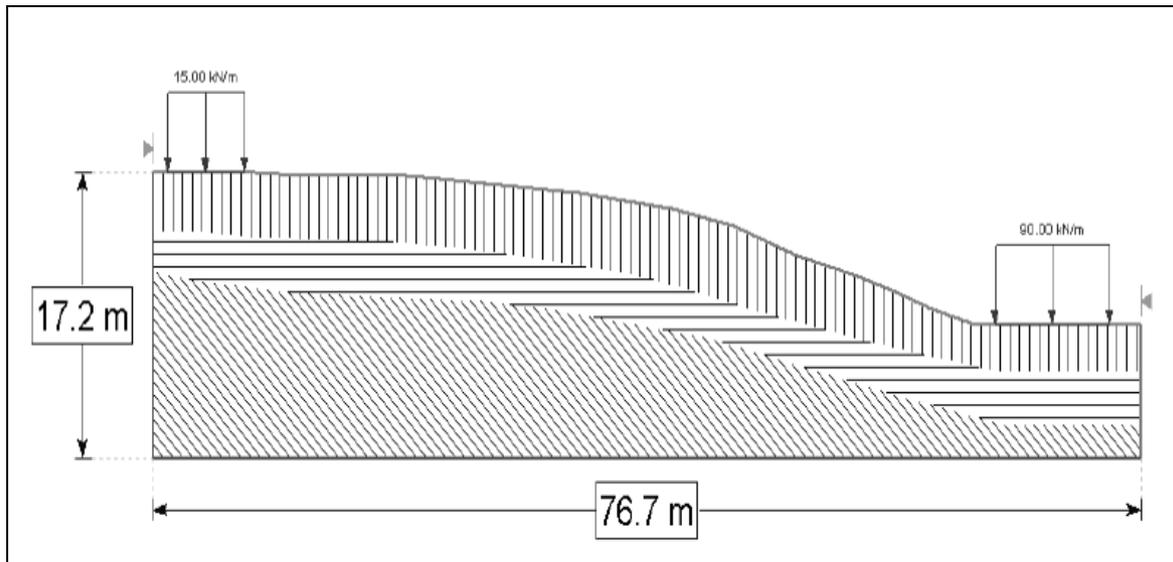
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte preto orgânico	C (kN/m ²)	3,9	
	φ (°)	24,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte amarelo avermelhado	C (kN/m ²)	5,2	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,15	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,15	
Índice de confiabilidade	β	1,04	
Probabilidade de ruptura	PR	14,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		16.125,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		5,9	

ANEXO B.76. EL LIMONAR 2.



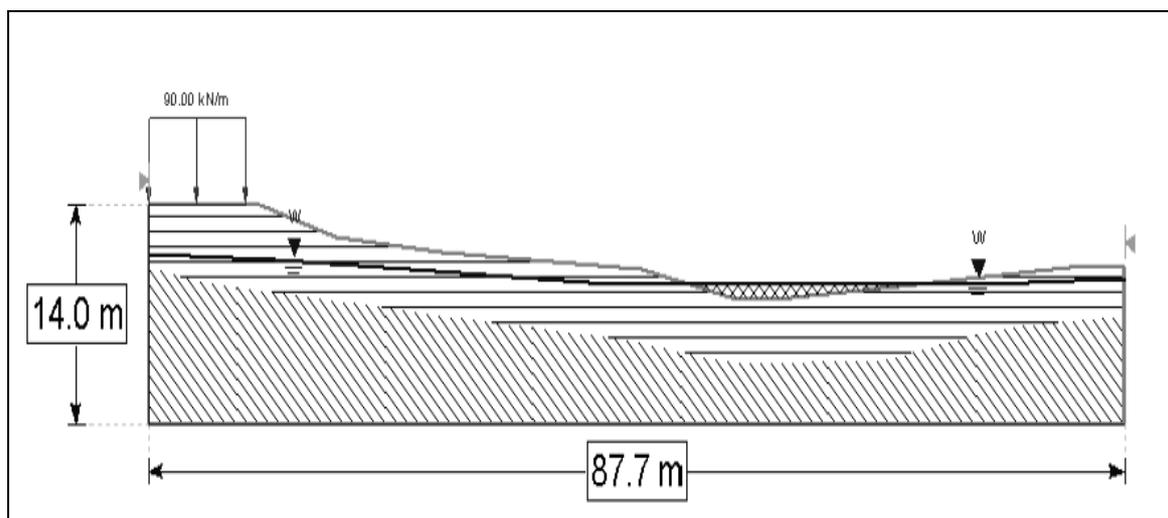
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte Cinza vulcânico	C (kN/m ²)	5,2	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte vermelho	C (kN/m ²)	14,5	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,10	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,18	
Índice de confiabilidade	β	0,55	
Probabilidade de ruptura	PR	29,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		39.824,8	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		15,3	

ANEXO B.77. EL LIMONAR 3.



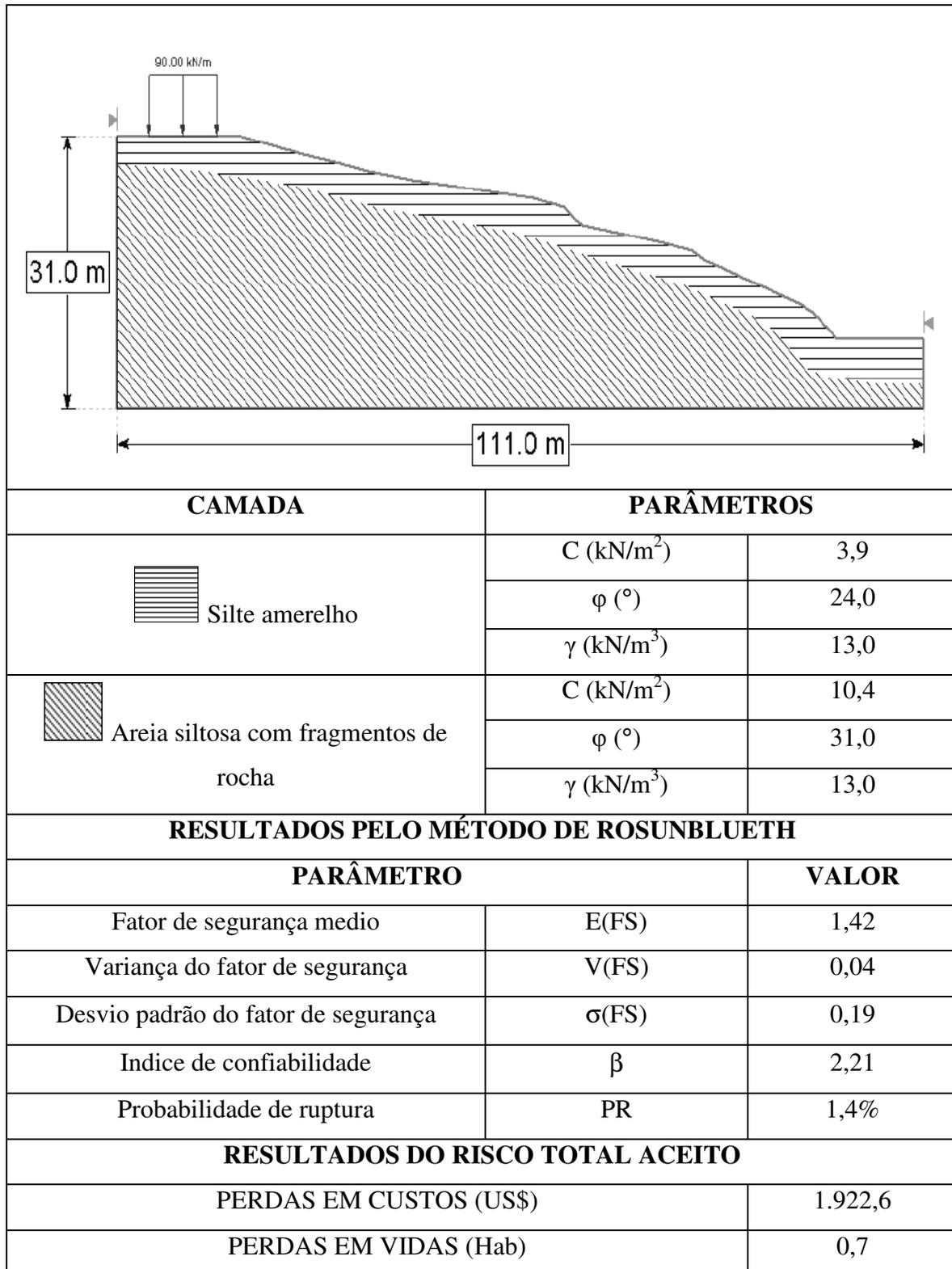
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte amarelo	C (kN/m ²)	3,9	
	φ (°)	24,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte com fragmentos de rocha	C (kN/m ²)	12,9	
	φ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,17	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Índice de confiabilidade	β	4,07	
Probabilidade de ruptura	PR	0,002%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		2,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,0	

ANEXO B.78. EL LIMONAR 4.

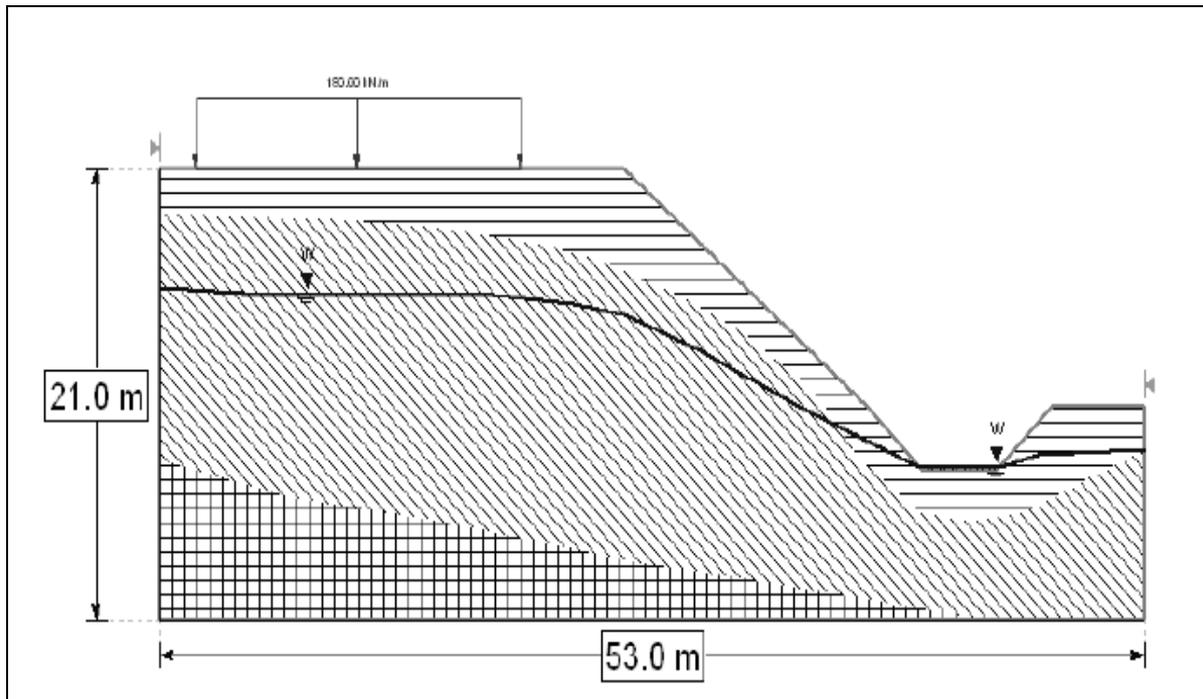


CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte amarelo	C (kN/m ²)	8,0	
	ϕ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte com areia	C (kN/m ²)	9,5	
	ϕ (°)	34,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,61	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,06	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,25	
Indice de confiabilidade	β	2,41	
Probabilidade de ruptura	PR	0,80%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		871,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,6	

ANEXO B.79. EL LIMONAR 5.

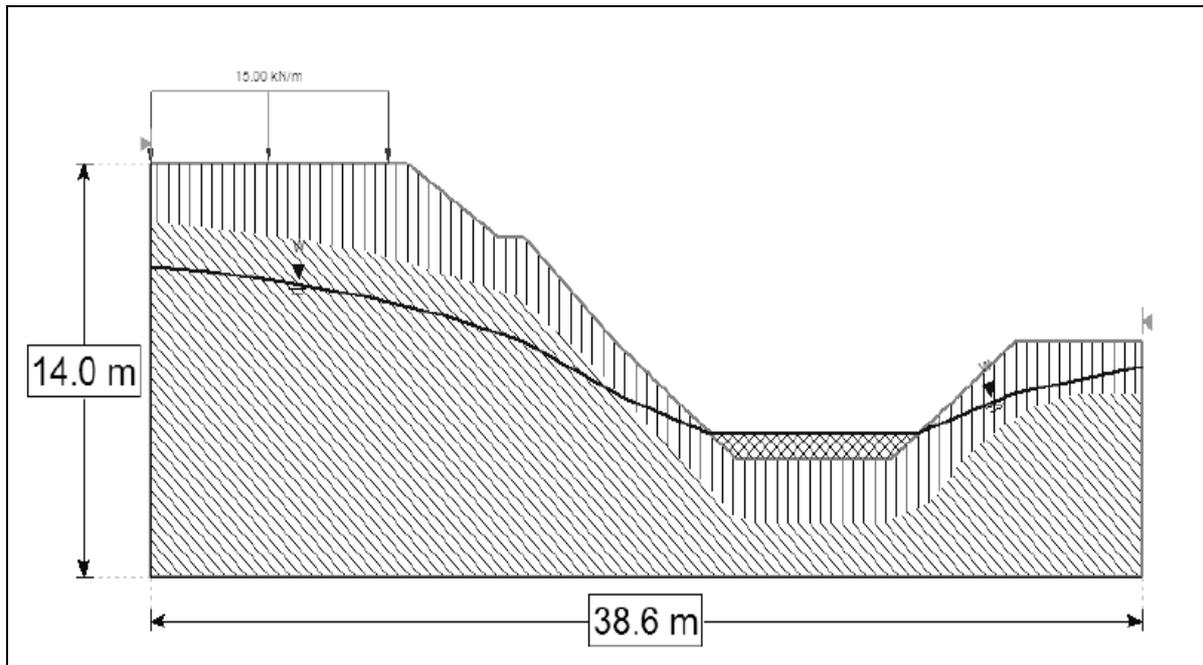


ANEXO B.80. PRADO VERDE.



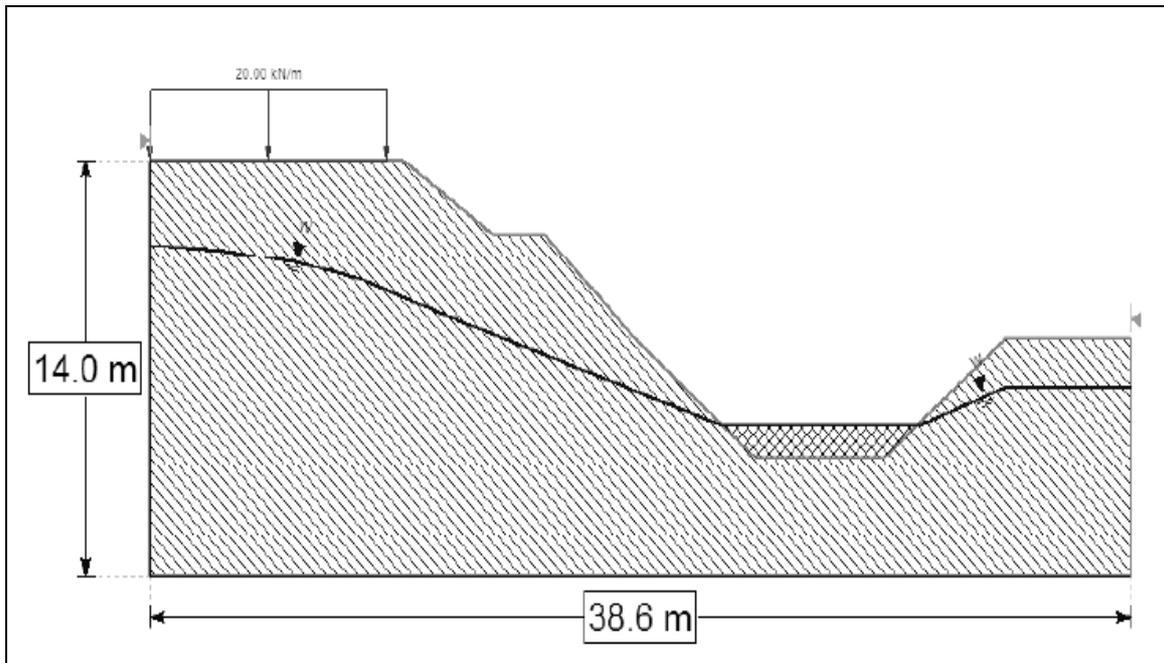
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte marrom amarelhado Cinzas vulcânica	C (kN/m ²)	5,0	
	ϕ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte amarelho avermelhado	C (kN/m ²)	19,5	
	ϕ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,94	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,18	
Índice de confiabilidade	β	-0,33	
Probabilidade de ruptura	PR	63,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		322.747,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		22,2	

ANEXO B.81. VEGAS DE ALCALA 1.



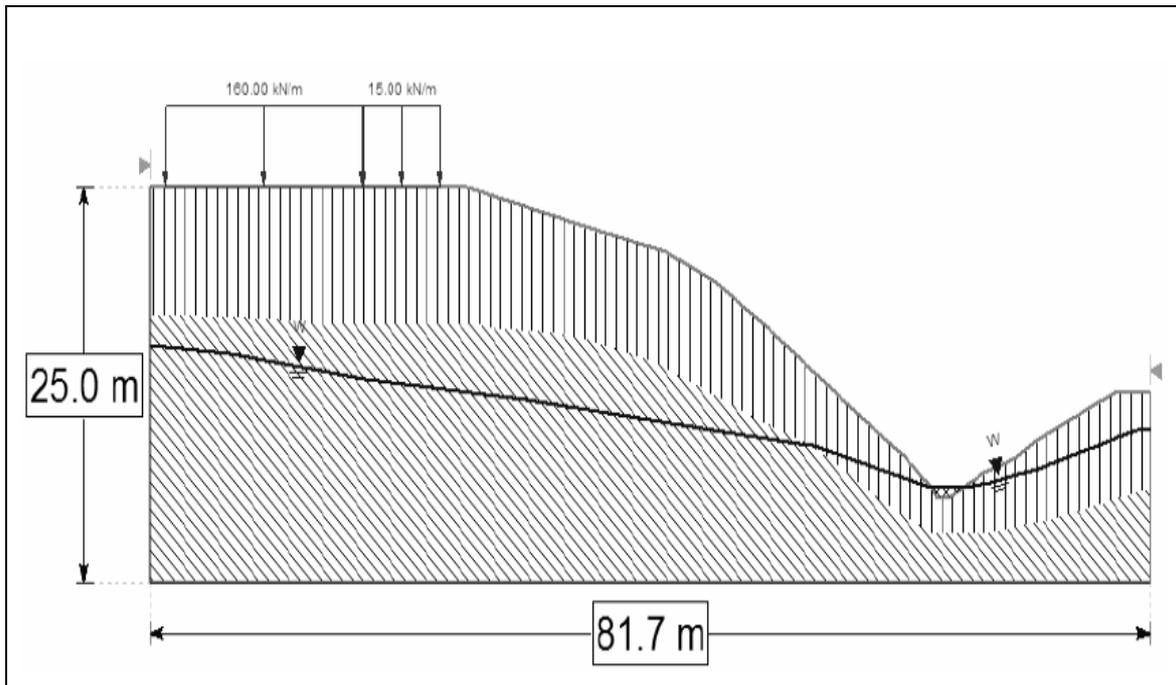
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia-argiloso	C (kN/m ²)	10,0	
	ϕ (°)	15,0	
	γ (kN/m ³)	13,0	
 Silte argilo-areia	C (kN/m ²)	15,0	
	ϕ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	13,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,03	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,17	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	41,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		18.919,7	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		15,5	

ANEXO B.82. VEGAS DE ALCALA 2.



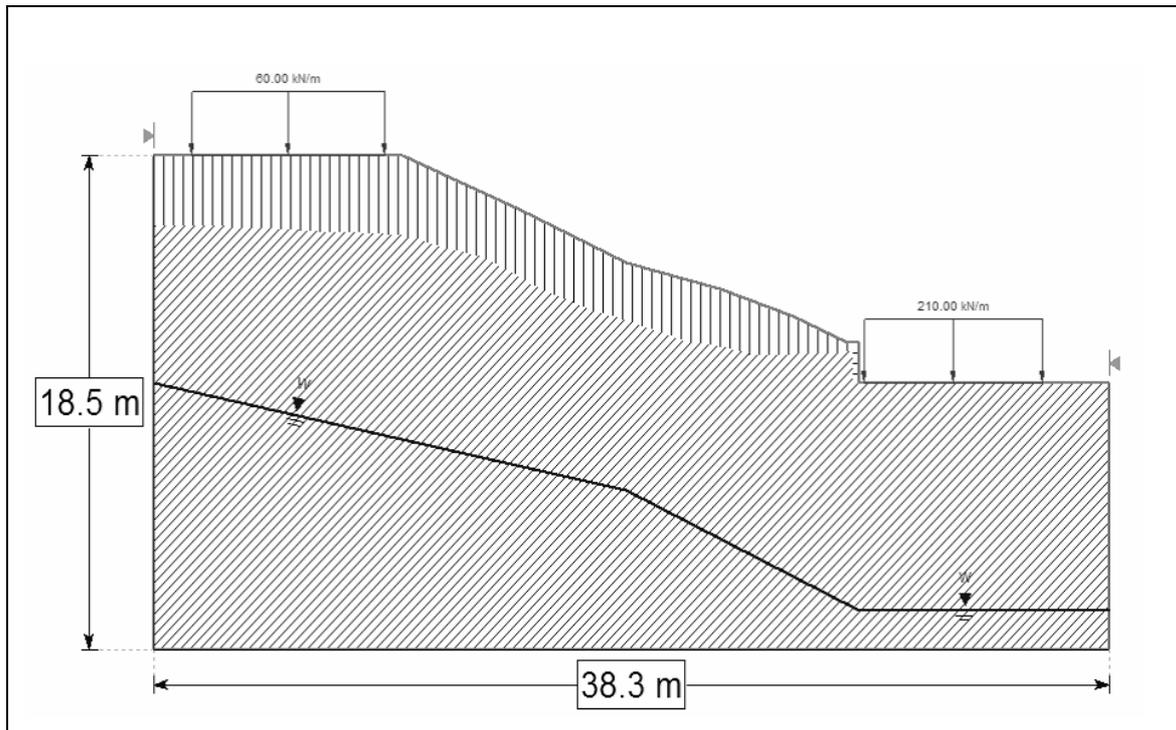
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso (Coluvião)	C (kN/m ²)	3,5	
	φ (°)	17,5	
	γ (kN/m ³)	17,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,93	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,19	
Índice de confiabilidade	β	-0,36	
Probabilidade de ruptura	PR	64,2%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		52.707,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		18,5	

ANEXO B.83. ARROYO DE LOS BERNAL.



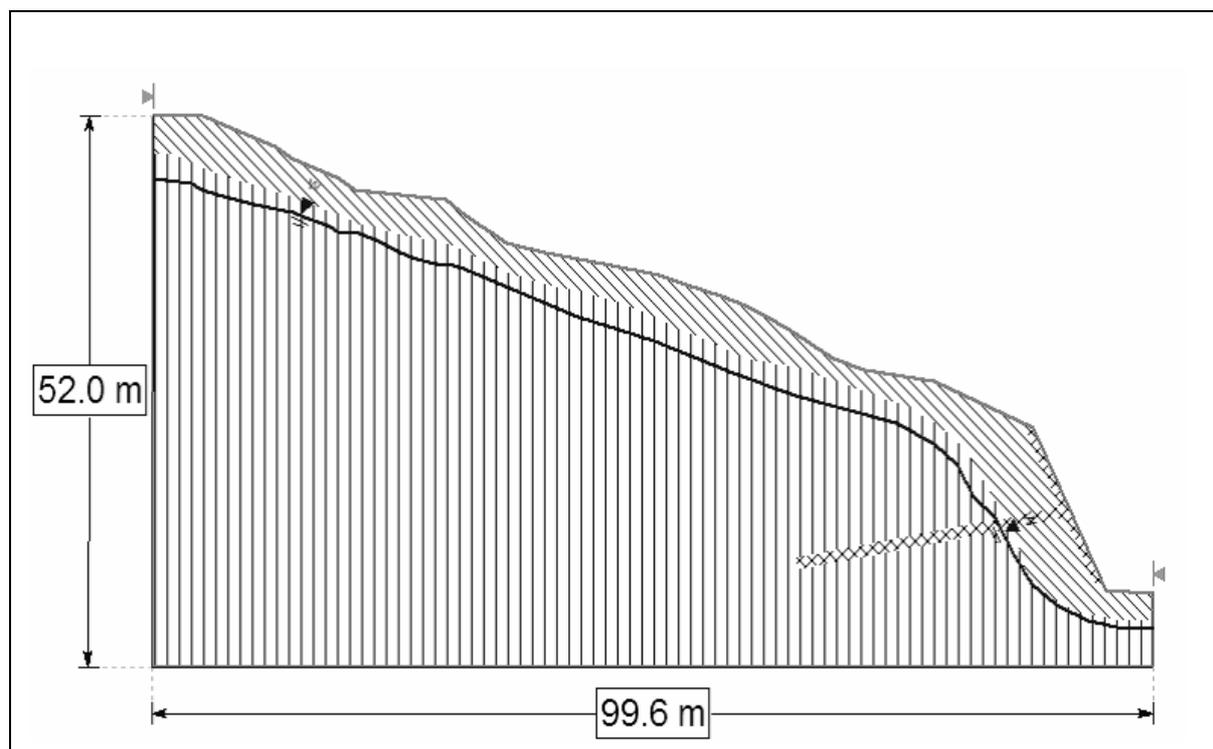
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo residual maduro	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Solo residual	C (kN/m ²)	15,0	
	φ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,99	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,09	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Indice de confiabilidade	β	-0,05	
Probabilidade de ruptura	PR	51,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		868.040,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		34,4	

ANEXO B.84. CALASANZ AZUL 1.



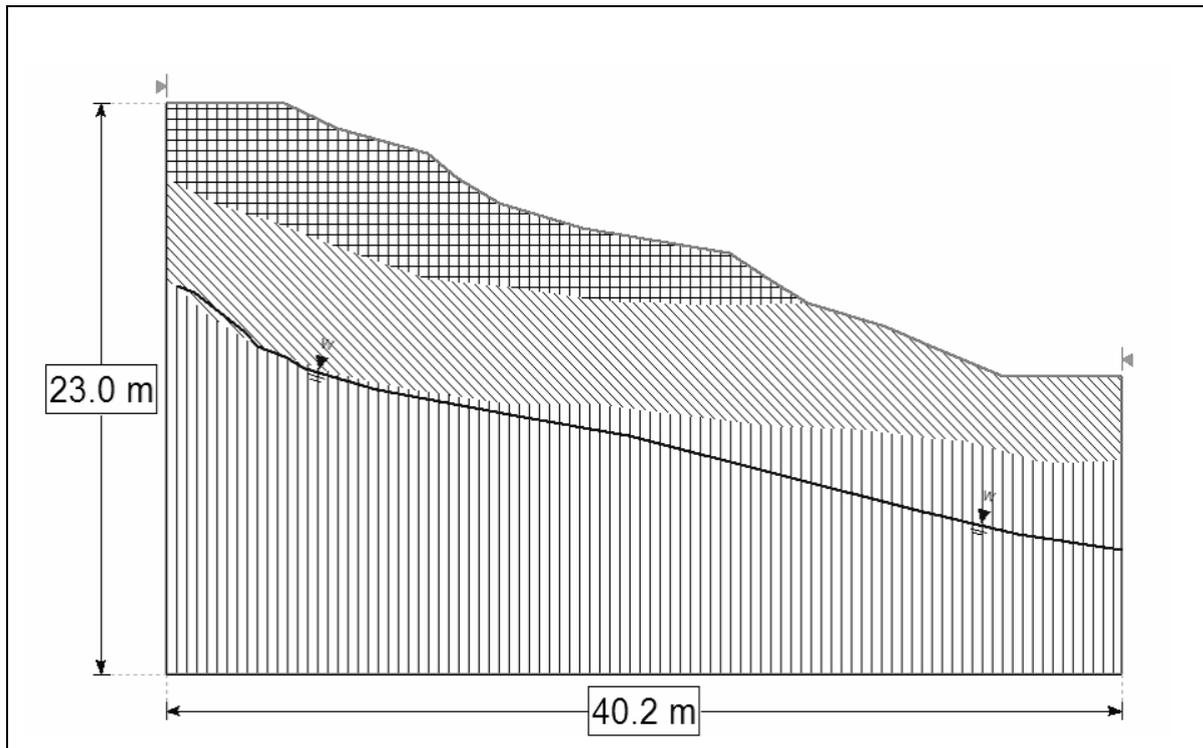
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia	C (kN/m ²)	7,8	
	φ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Areia siltosa	C (kN/m ²)	11,7	
	φ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,84	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,06	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,24	
Indice de confiabilidade	β	3,49	
Probabilidade de ruptura	PR	0,02%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		286,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,0	

ANEXO B.85. CALASANZ AZUL 2.



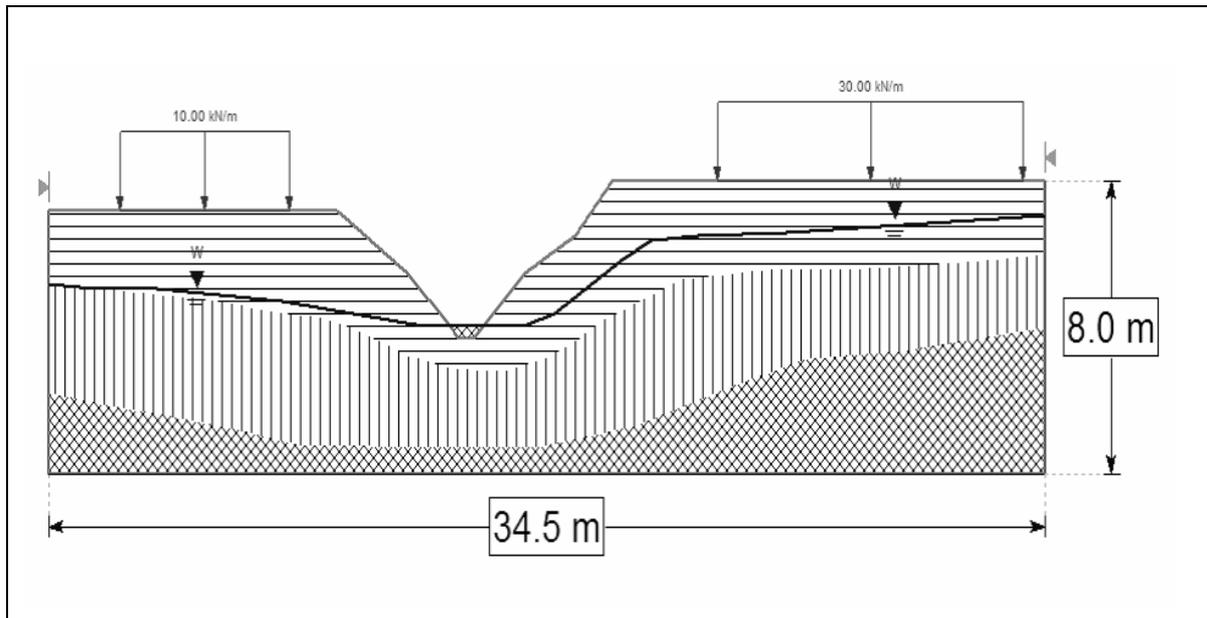
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	34,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Areia siltosa	C (kN/m ²)	9,1	
	φ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,17	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,27	
Indice de confiabilidade	β	0,64	
Probabilidade de ruptura	PR	25,9%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		370.941,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		9,0	

ANEXO B.86. CALASANZ AZUL 3.



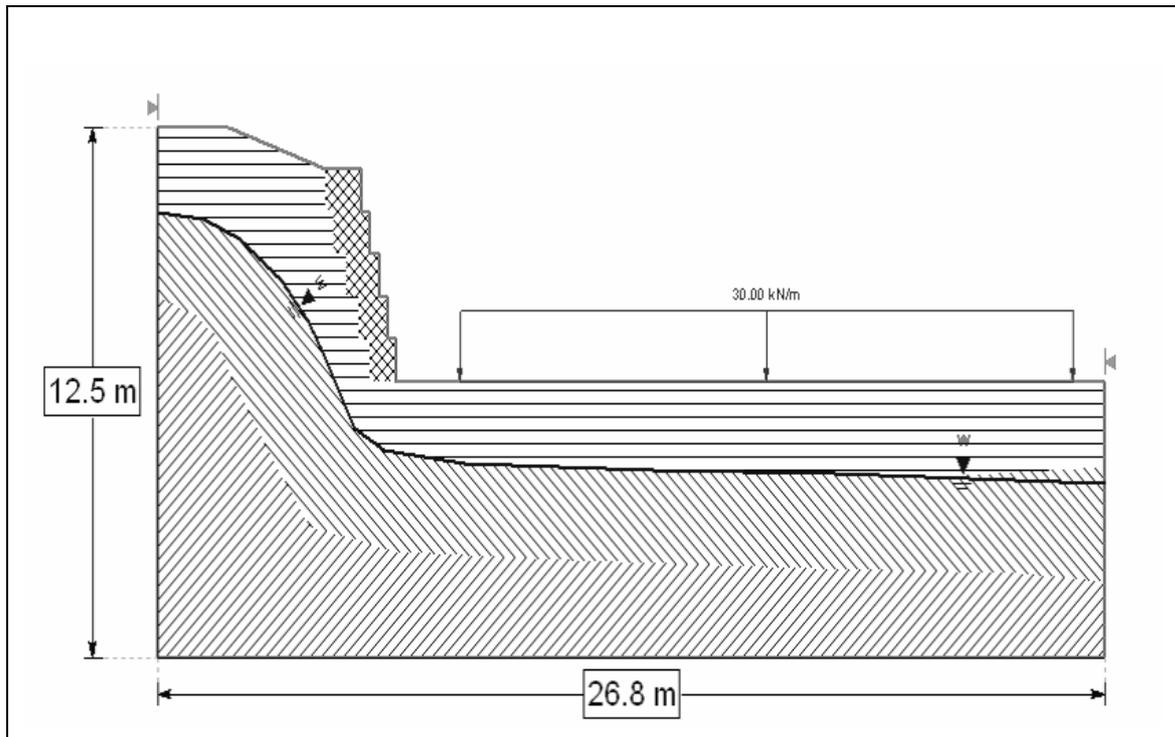
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia	C (kN/m ²)	7,8	
	ϕ (°)	29,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Areia siltosa	C (kN/m ²)	11,0	
	ϕ (°)	34,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	2,37	
Variança do fator de segurança	$V(FS)$	0,11	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,32	
Indice de confiabilidade	β	4,21	
Probabilidade de ruptura	PR	0,001%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.432,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.87. COLINAS DEL RODEO 1.



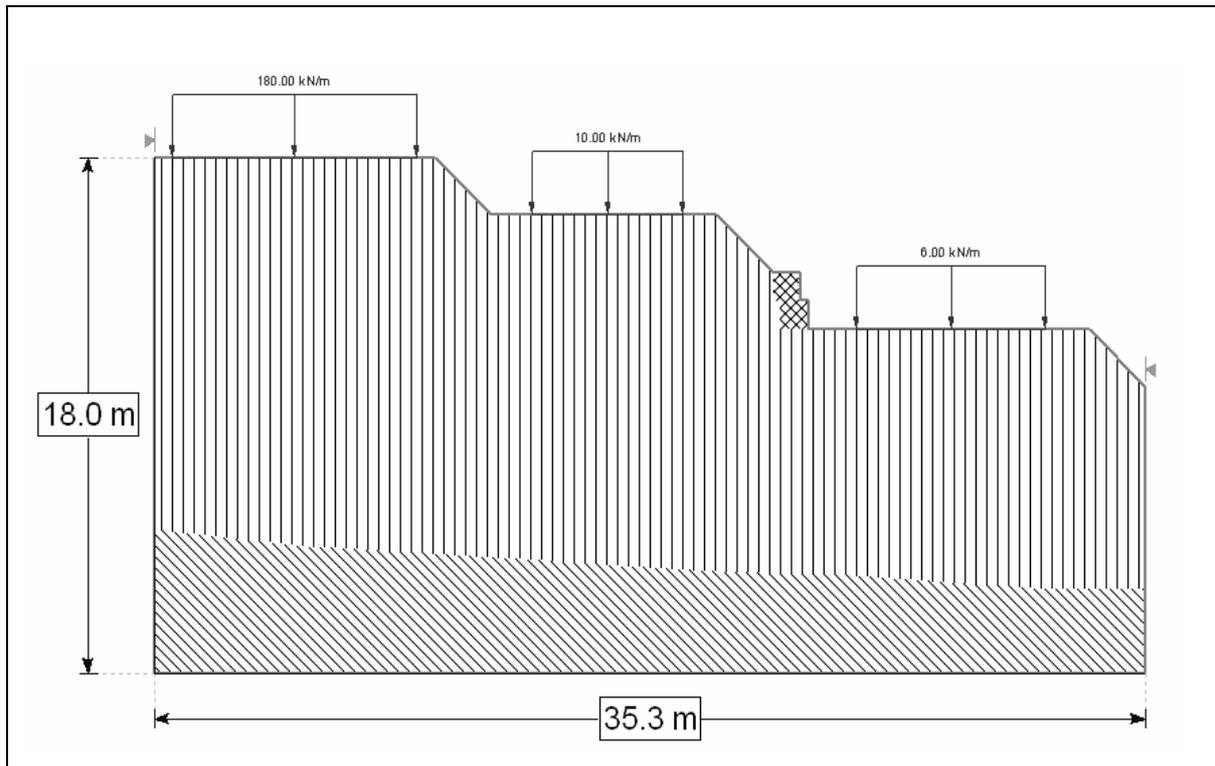
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	10,1	
	φ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Silte argiloso com fragmentos de rocha	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,66	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,12	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,34	
Indice de confiabilidade	β	1,93	
Probabilidade de ruptura	PR	2,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		7.481,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,7	

ANEXO B.88. COLINAS DEL RODEO 2.



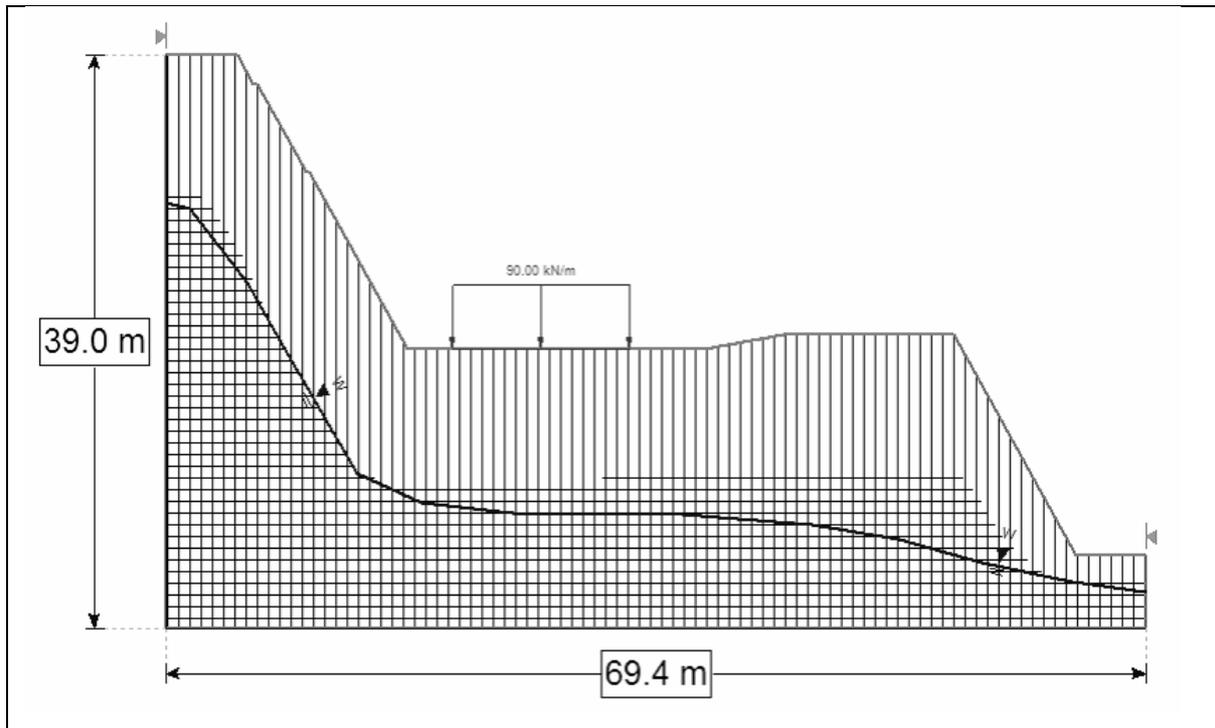
CAMADA		PARÂMETROS	
 Argila silte-areia	C (kN/m ²)	5,2	
	ϕ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
 Argila silte-areia com fragmentos de rocha	C (kN/m ²)	12,9	
	ϕ (°)	36,0	
	γ (kN/m ³)	18,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,35	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,17	
Indice de confiabilidade	β	2,13	
Probabilidade de ruptura	PR	1,7%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		4.710,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,5	

ANEXO B.89. FRONTEIRA DE LOS BERNAL.



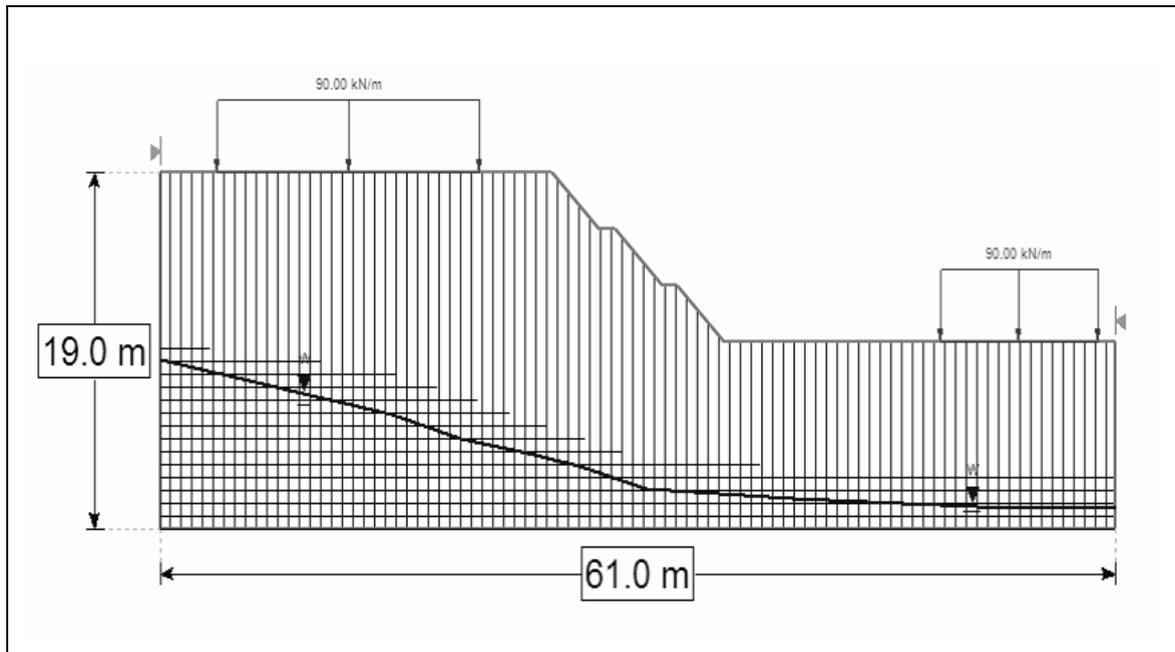
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama, silte argiloso	C (kN/m ²)	15,6	
	φ (°)	32,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
 Solo residual, silte argiloso	C (kN/m ²)	20,8	
	φ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,32	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,23	
Indice de confiabilidade	β	1,39	
Probabilidade de ruptura	PR	8,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		131.077,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,5	

ANEXO B.90. NEW YORK 1.



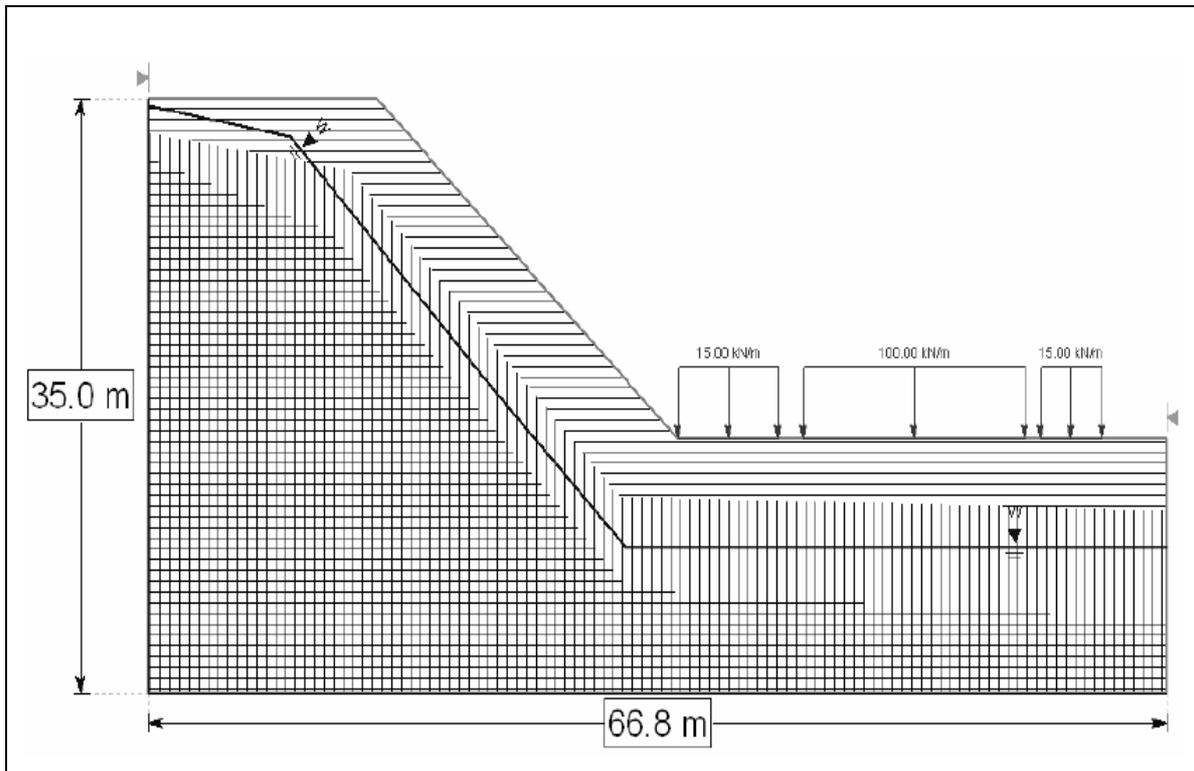
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argilo-areia	C (kN/m ²)	18,0	
	φ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	17,0	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	20,8	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	1,01	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,18	
Índice de confiabilidade	β	0,03	
Probabilidade de ruptura	PR	48,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		120.192,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		77,8	

ANEXO B.91. NEW YORK 2.



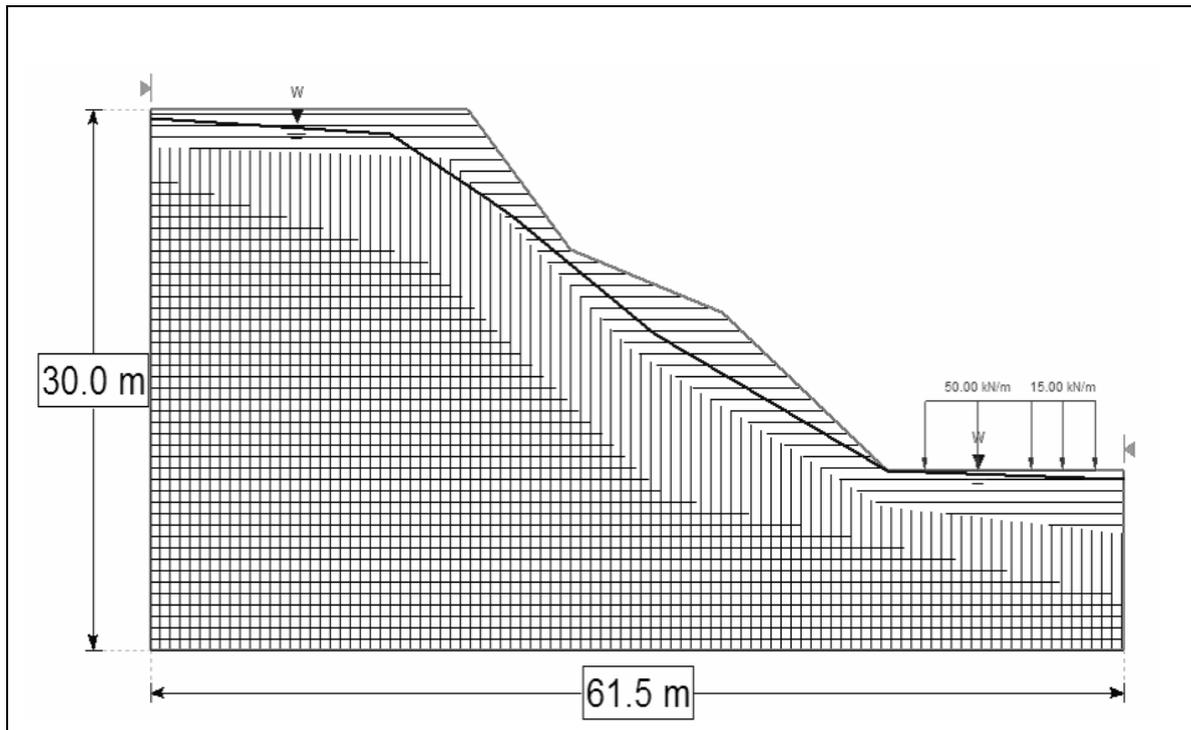
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argilo-areia	C (kN/m ²)	18,0	
	φ (°)	33,0	
	γ (kN/m ³)	17,0	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	20,8	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	17,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,89	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,08	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,29	
Índice de confiabilidade	β	3,10	
Probabilidade de ruptura	PR	0,10%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		246,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,2	

ANEXO B.92. BALCONES DE BELEN.



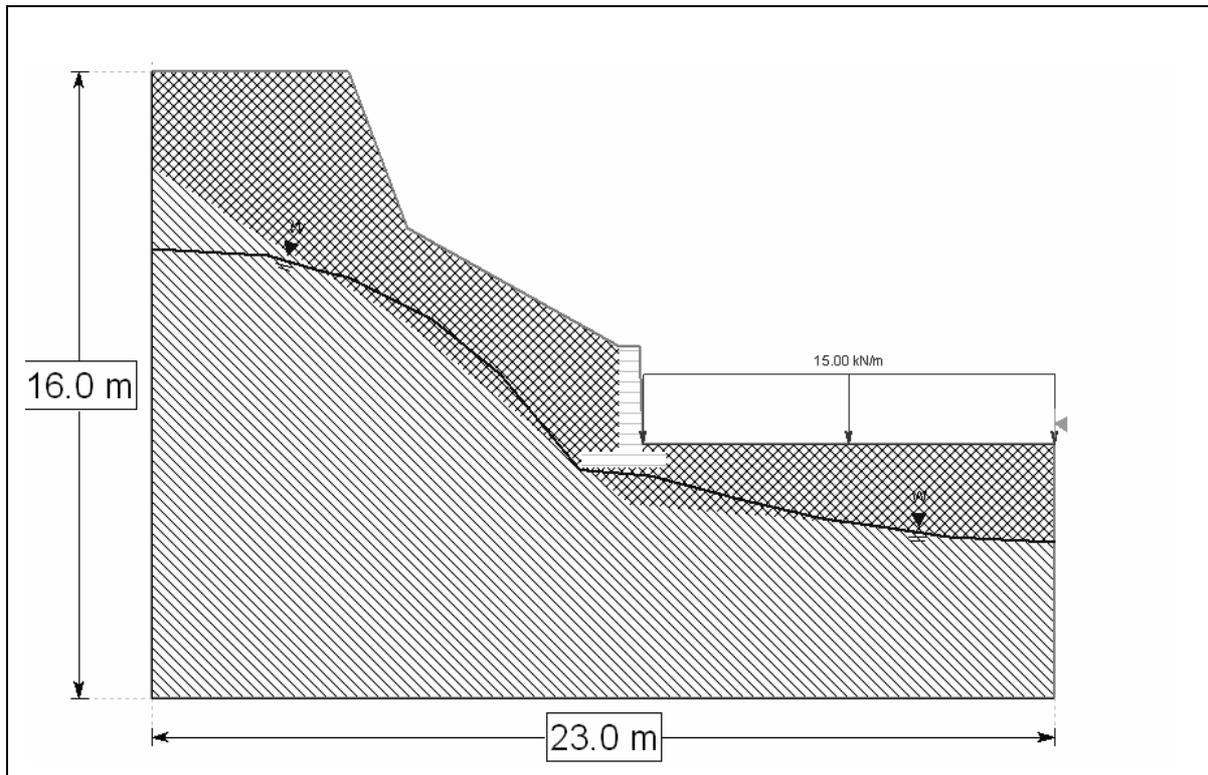
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	15,0	
	φ (°)	26,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	16,0	
	φ (°)	36,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,00	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,17	
Indice de confiabilidade	β	0,10	
Probabilidade de ruptura	PR	49,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		162.884,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,9	

ANEXO B.93. PORTAL DE LA COLINA.



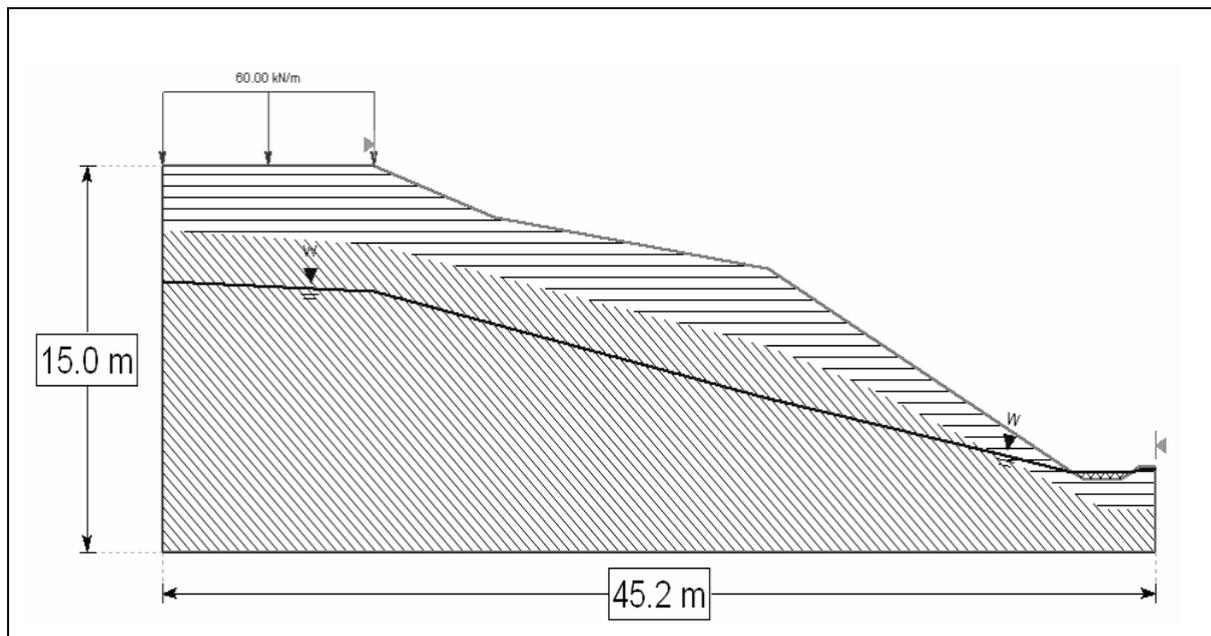
CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	25,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	9,0	
	φ (°)	36,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,91	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,17	
Indice de confiabilidade	β	-0,55	
Probabilidade de ruptura	PR	71,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		121.438,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		2,6	

ANEXO B.94. LOS ROBLES 1.



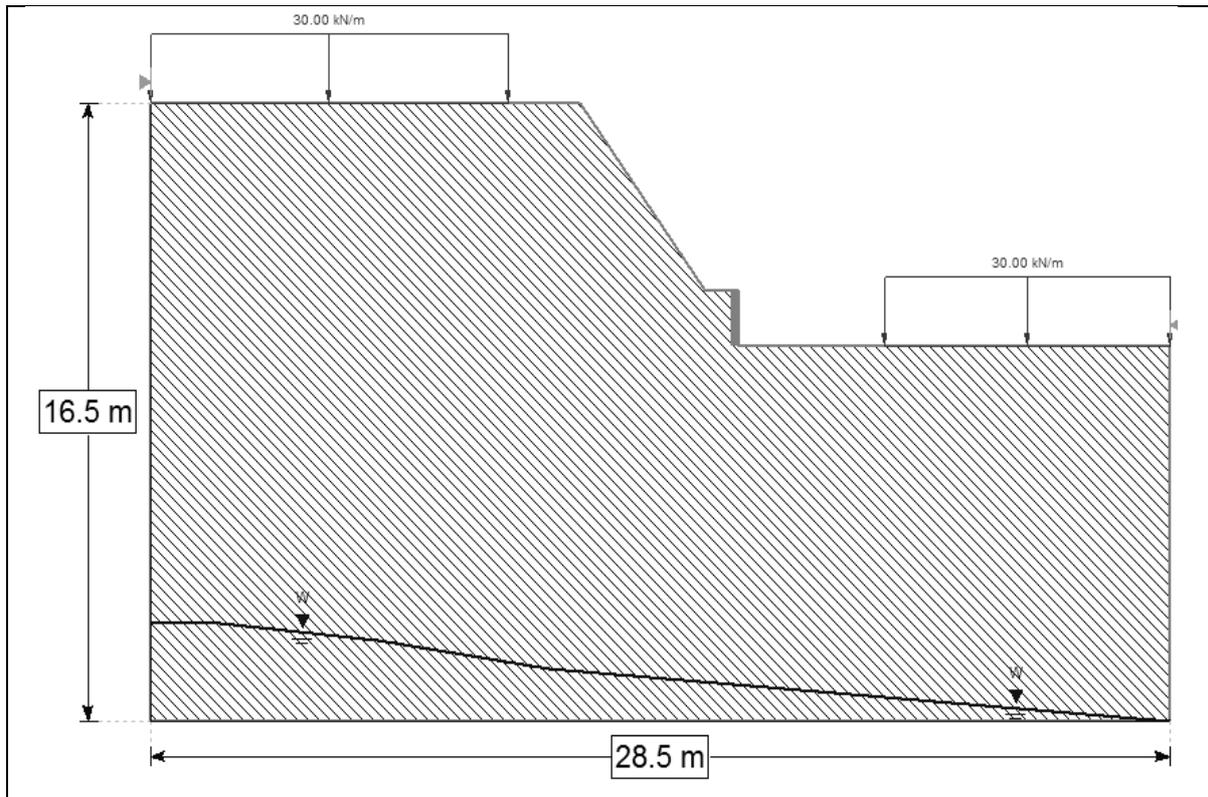
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia	C (kN/m ²)	8,0	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
 Argila silte areia	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	38,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,11	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,23	
Indice de confiabilidade	β	0,48	
Probabilidade de ruptura	PR	31,6%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		17.836,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		5,2	

ANEXO B.95. LOS ROBLES 2.



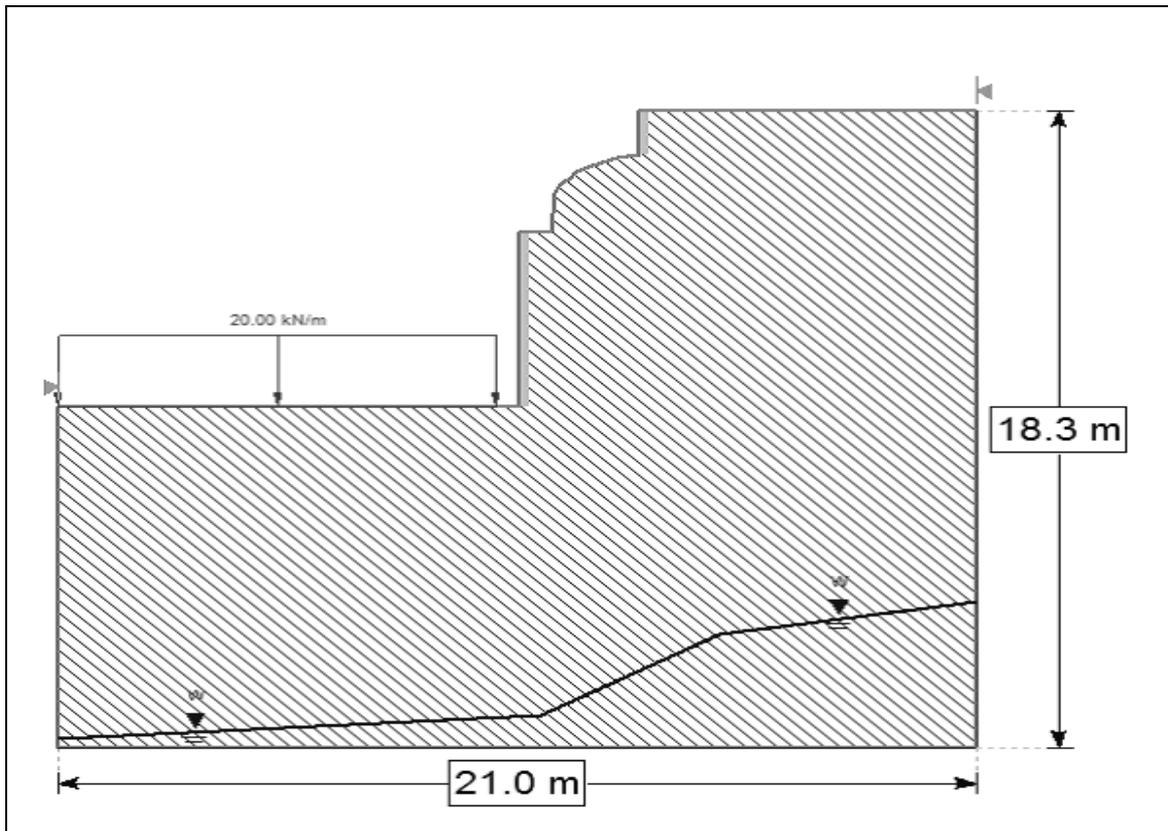
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte areia	C (kN/m ²)	8,0	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
 Argila silte areia	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	38,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,65	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,27	
Indice de confiabilidade	β	2,52	
Probabilidade de ruptura	PR	0,80%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		451,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.96. BALUARTE DE SAN DIEGO ZONA 2.



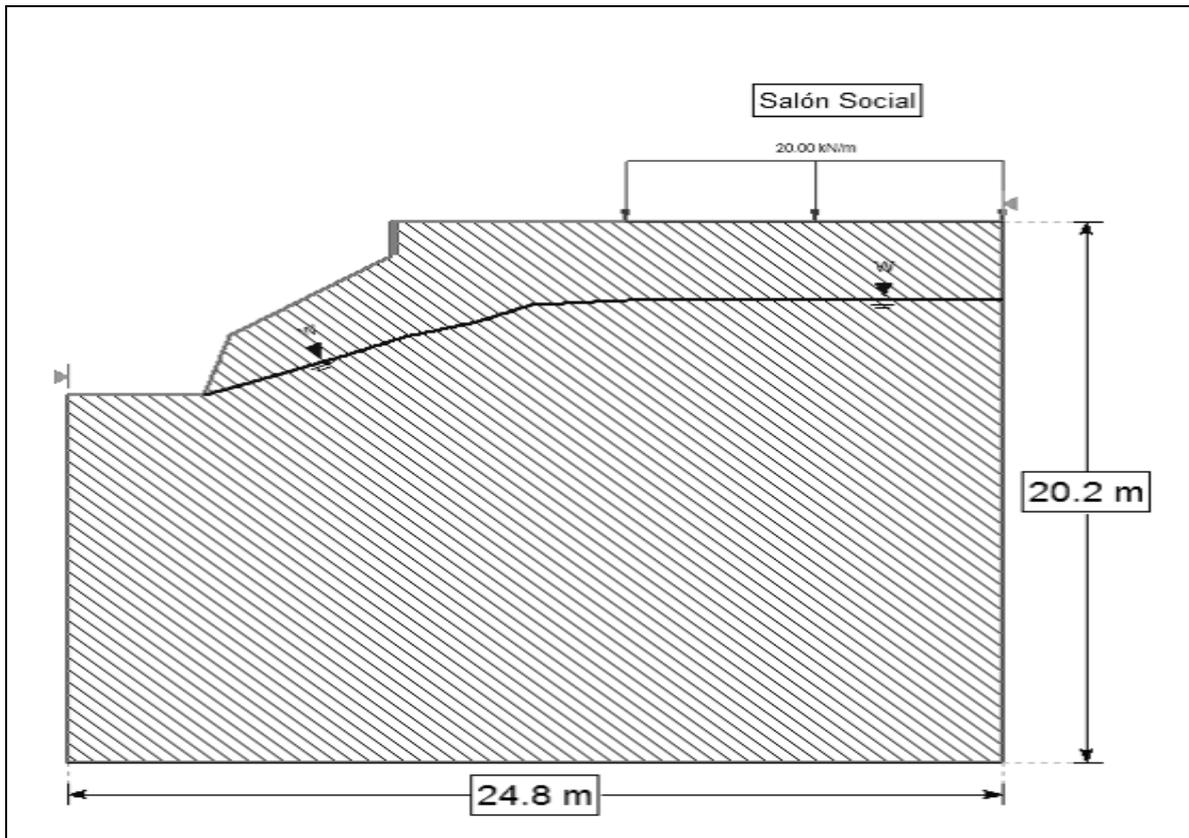
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7	
	ϕ (°)	11,4	
	γ (kN/m ³)	24,3	
 Concreto	Concreto		
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,20	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,23	
Indice de confiabilidade	β	0,80	
Probabilidade de ruptura	PR	20,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		5.766,5	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		10,0	

ANEXO B.97. BALCONES DE PANORAMA ZONA 1.



CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7	
	φ (°)	11,4	
	γ (kN/m ³)	24,3	
 Concreto	Concreto		
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	1,48	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,18	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,43	
Índice de confiabilidade	β	1,10	
Probabilidade de ruptura	PR	13,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		38.930,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		3,6	

ANEXO B.98. BALCONES DE PANORAMA ZONA 2.



CAMADA	PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7
	φ (°)	11,4
	γ (kN/m ³)	24,3
 Concreto	Concreto	

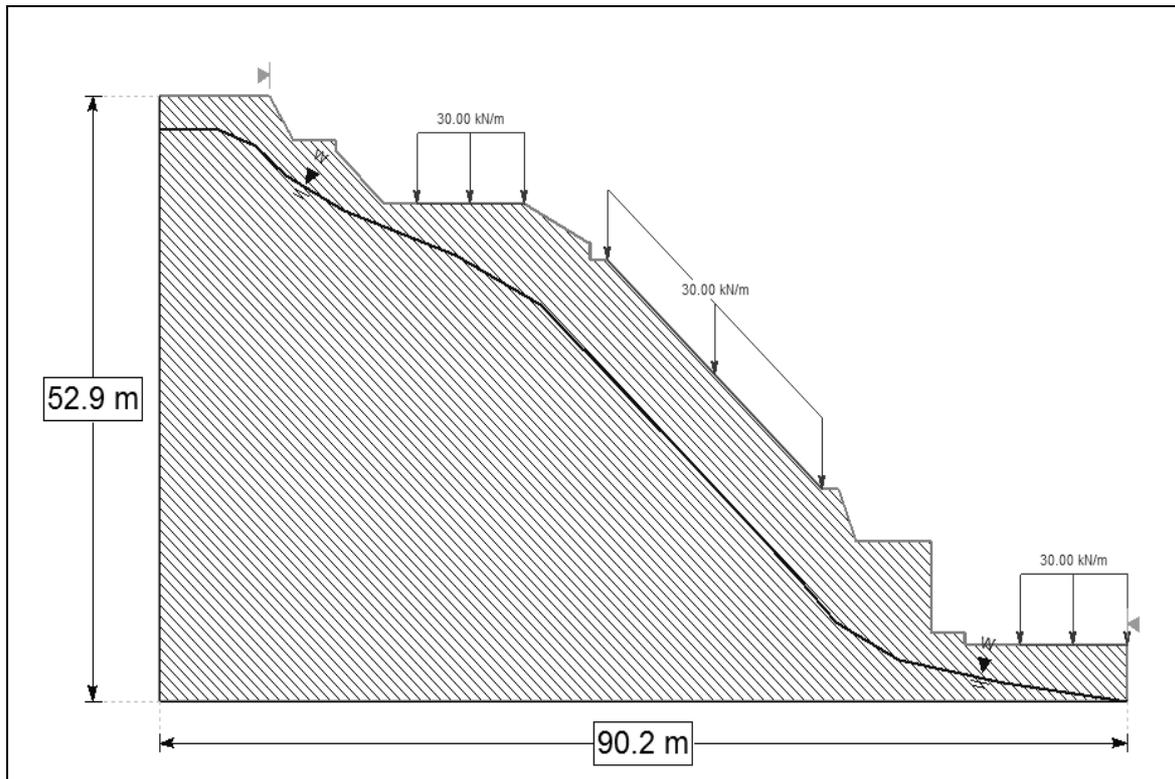
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH

PARÂMETRO	VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,26
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,27
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,07
Índice de confiabilidade	β	1,00
Probabilidade de ruptura	PR	16,8%

RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO

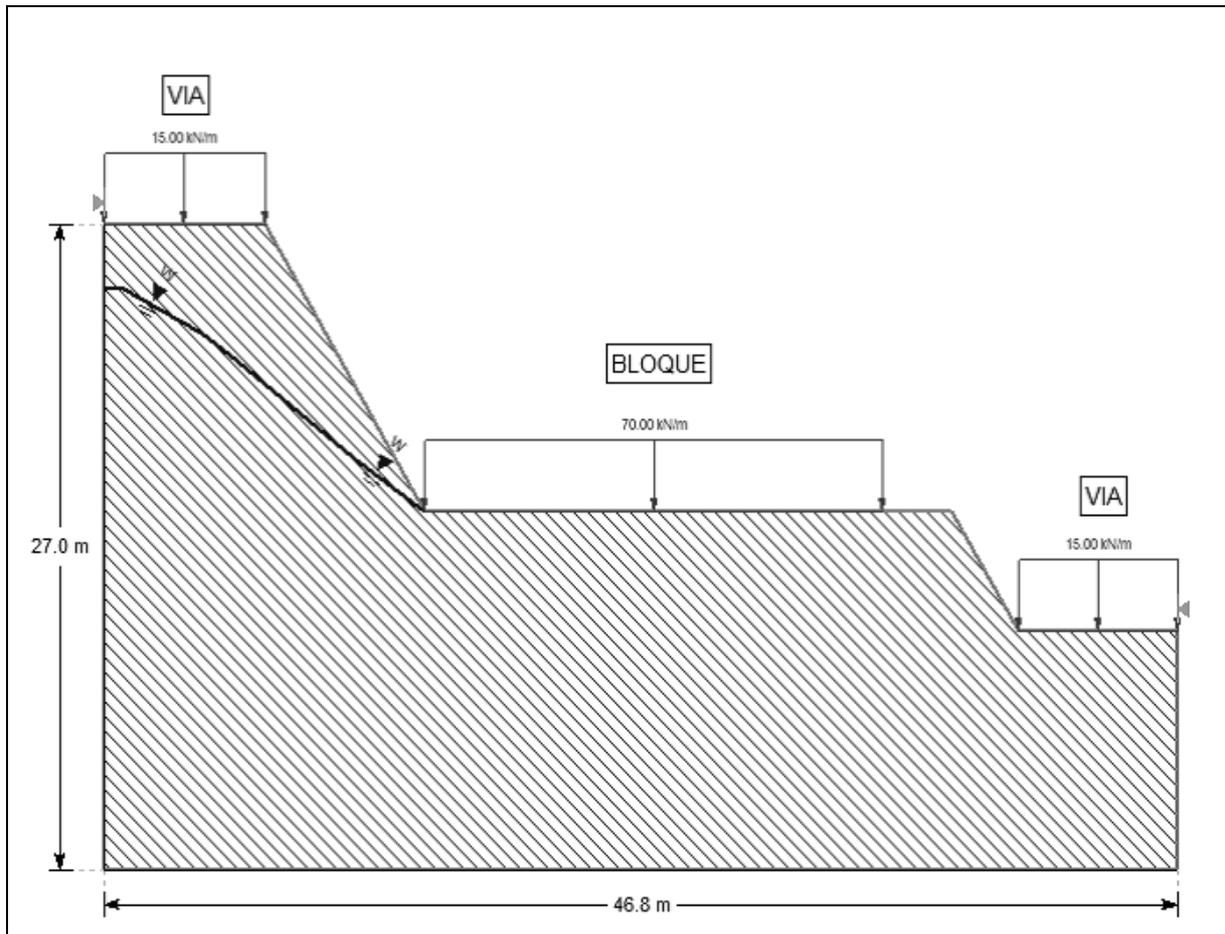
PERDAS EM CUSTOS (US\$)	19.187,4
PERDAS EM VIDAS (Hab)	4,6

ANEXO B.99. BALCONES DE PANORAMA ZONA 3.



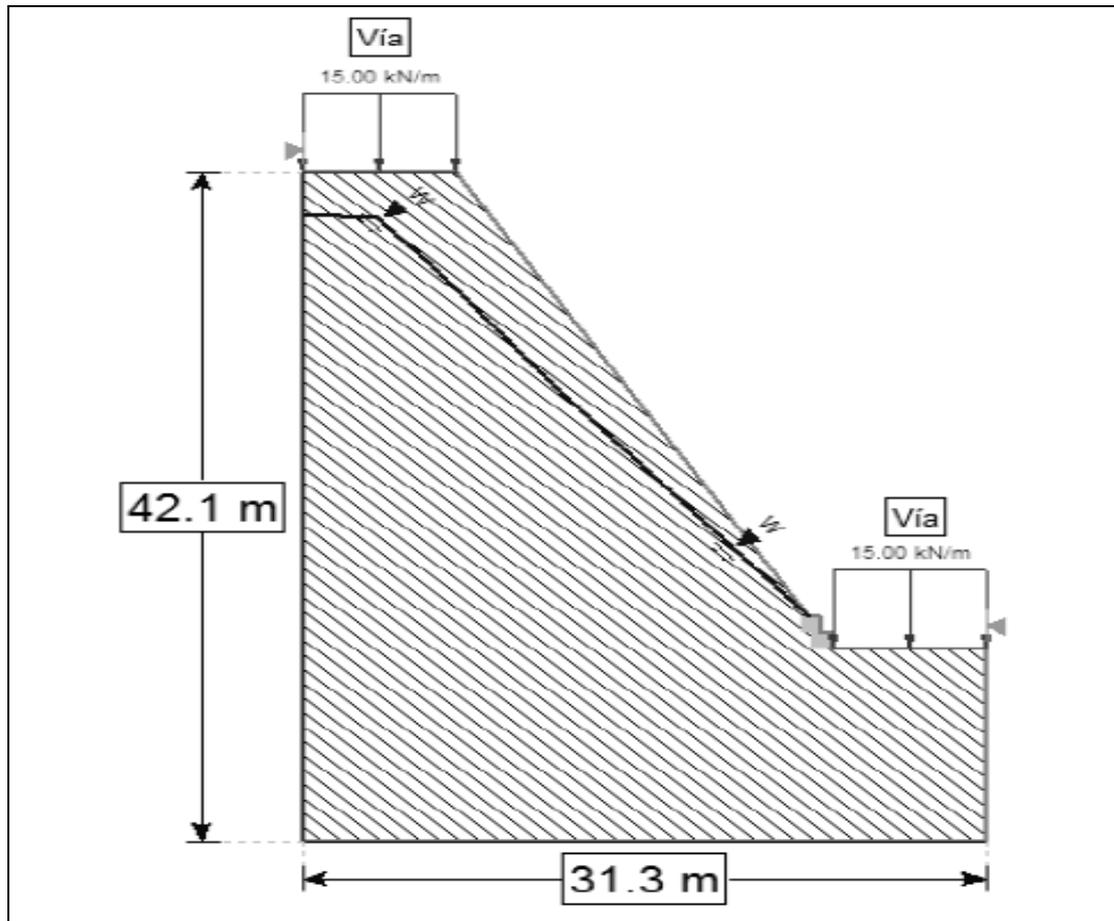
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7	
	φ (°)	11,4	
	γ (kN/m ³)	24,3	
 Concreto	Concreto		
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,68	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,03	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,17	
Índice de confiabilidade	β	-1,86	
Probabilidade de ruptura	PR	96,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		729.004,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		70,4	

ANEXO B.100. GUAYACANES DE SAN DIEGO ZONA 1.



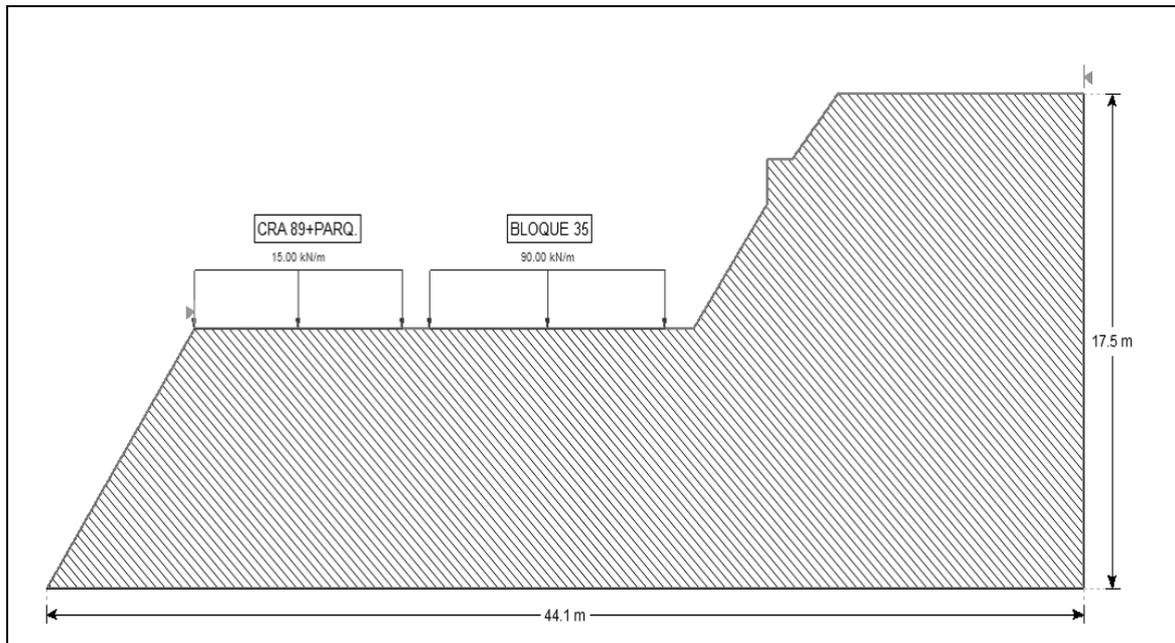
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7	
	φ (°)	11,4	
	γ (kN/m ³)	24,3	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,73	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,14	
Índice de confiabilidade	β	-2,00	
Probabilidade de ruptura	PR	97,8%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.525.432,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		52,9	

ANEXO B.101. GUAYACANES DE SAN DIEGO ZONA 2.



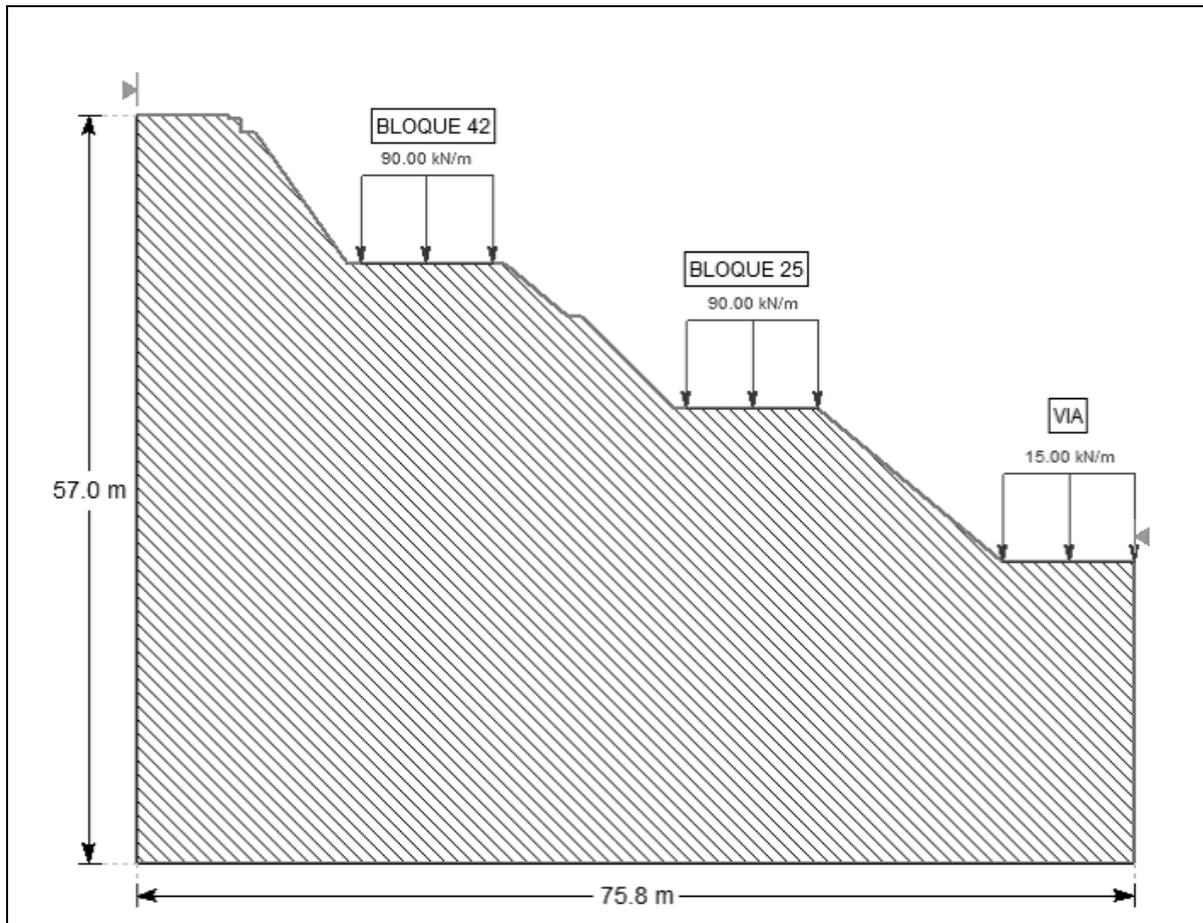
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	18,7	
	φ (°)	11,4	
	γ (kN/m ³)	24,3	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,44	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,13	
Índice de confiabilidade	β	-4,30	
Probabilidade de ruptura	PR	100,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		1.559.747,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		63,1	

ANEXO B.102. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 1.



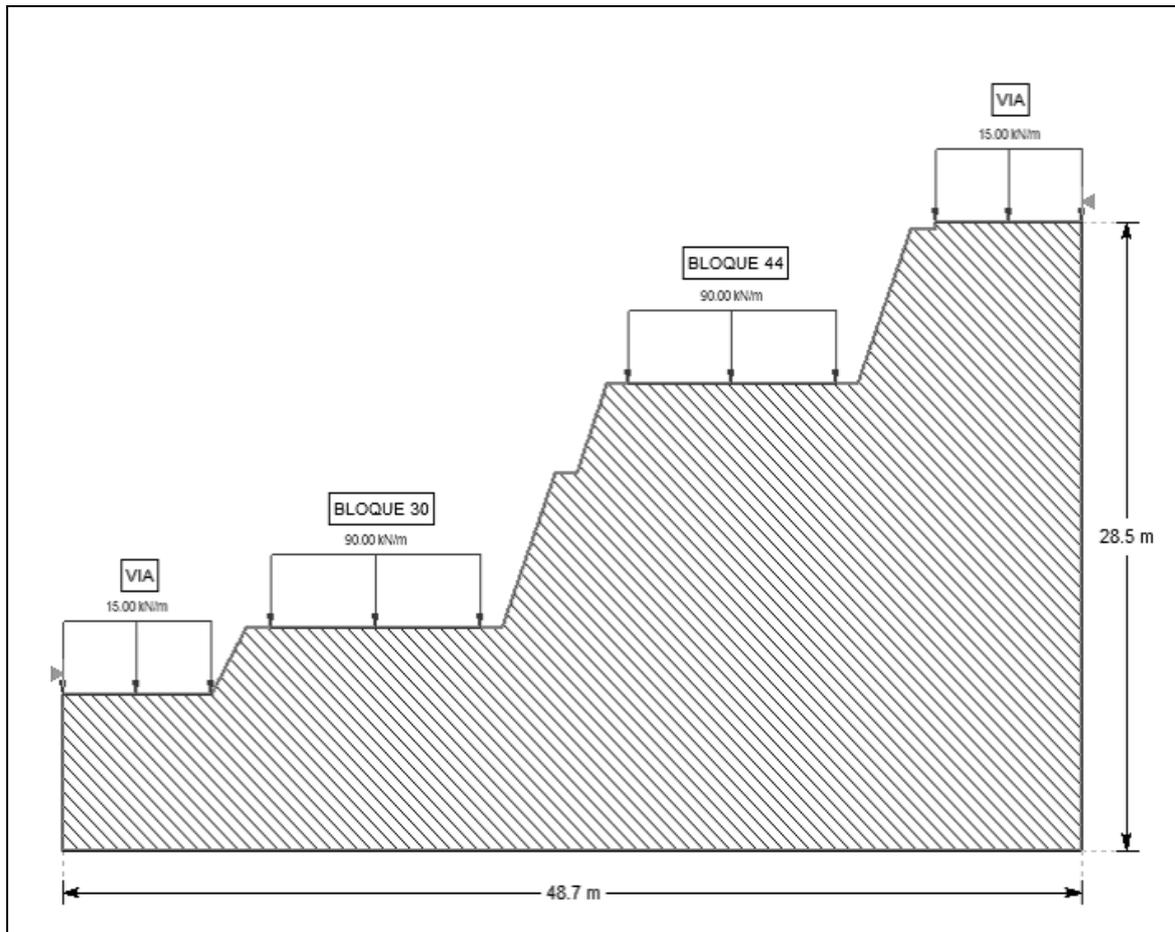
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,65	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,16	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,40	
Índice de confiabilidade	β	1,60	
Probabilidade de ruptura	PR	5,30%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		4.920,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,4	

ANEXO B.103. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 2.



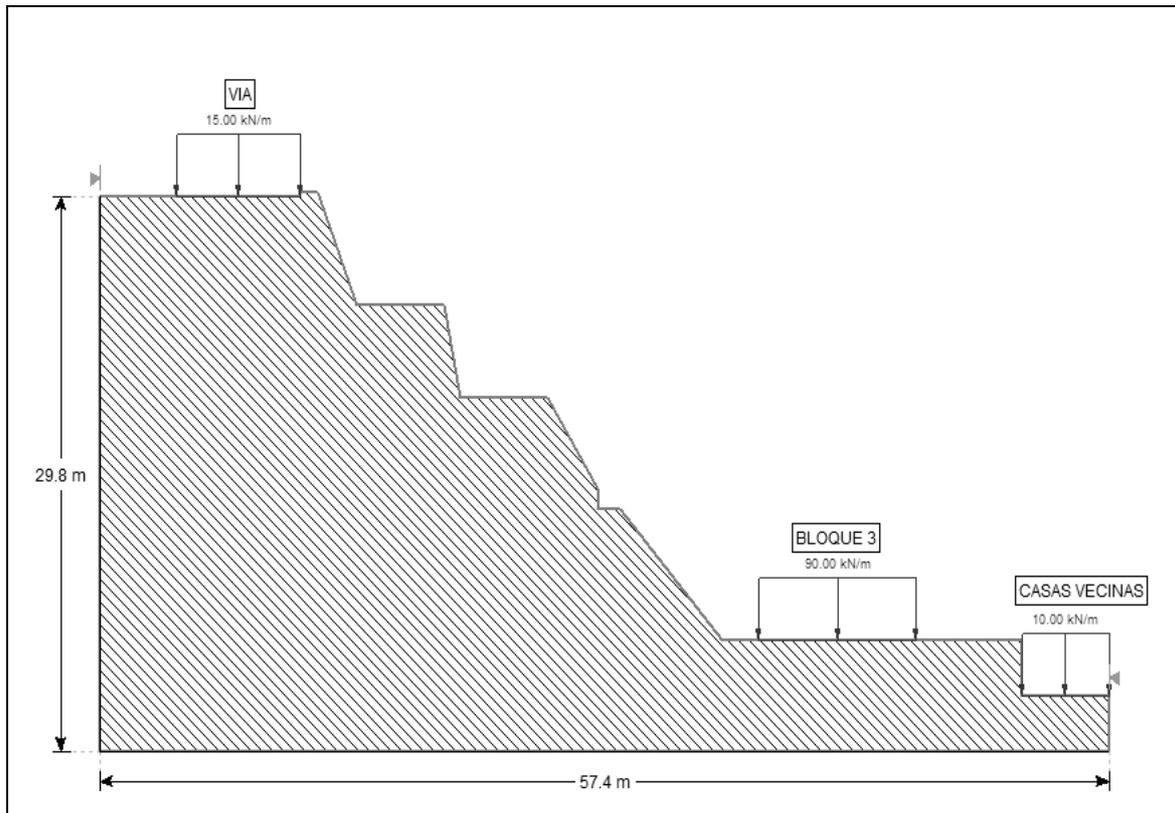
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,40	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Indice de confiabilidade	β	1,40	
Probabilidade de ruptura	PR	8,30%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		7.705,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,8	

ANEXO B.104. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 3.



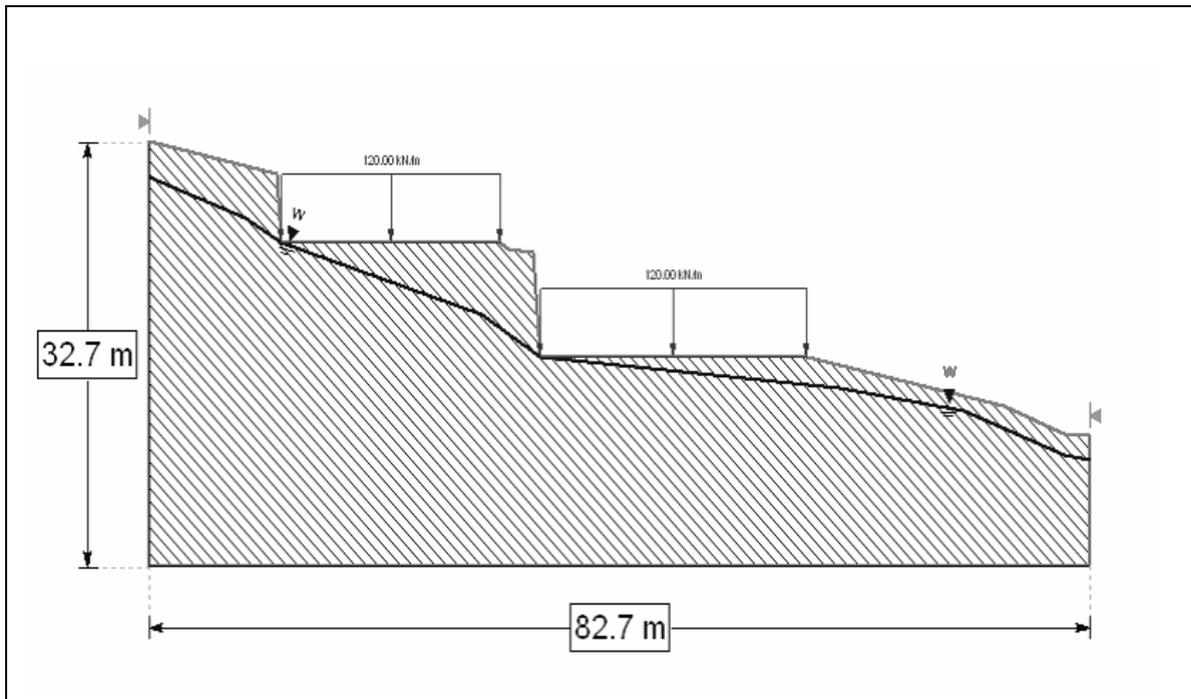
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança médio	E(FS)	1,40	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Índice de confiabilidade	β	-0,30	
Probabilidade de ruptura	PR	62,2%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		115.495,6	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		11,1	

ANEXO B.105. MIRADOR DE CALASANZ ZONA 4.



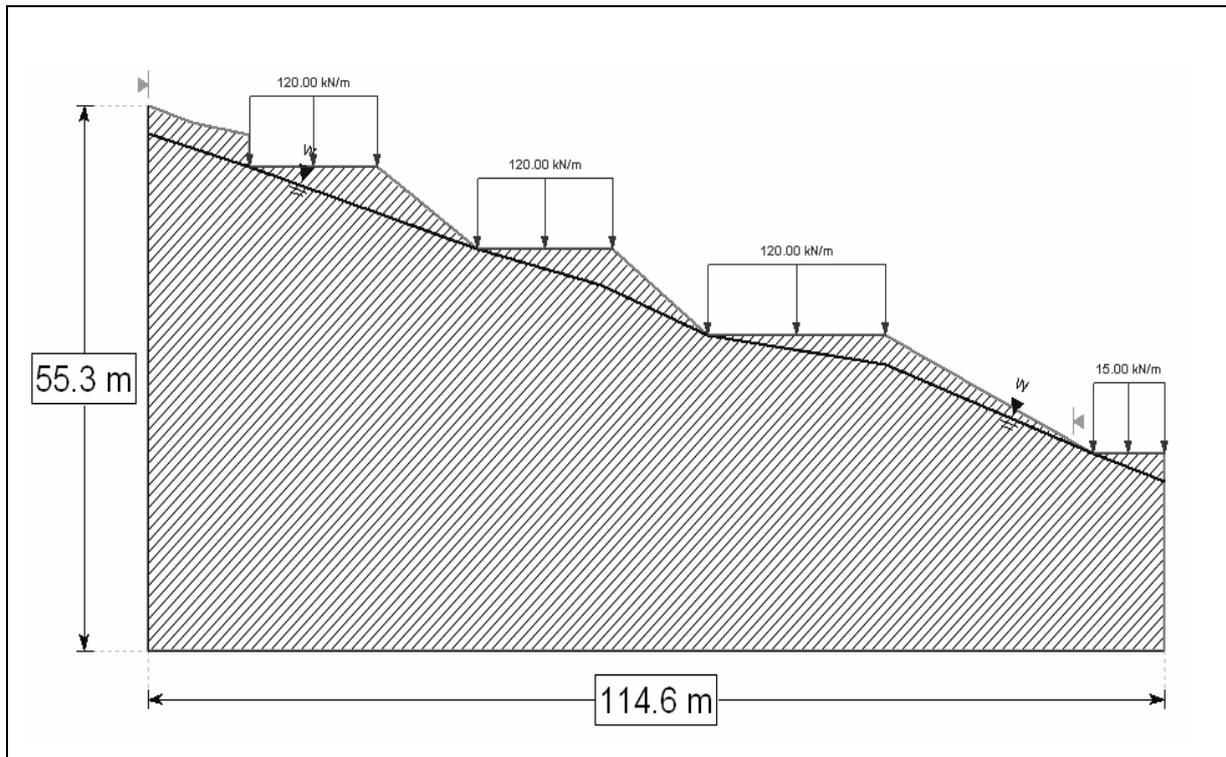
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	25,0	
	φ (°)	28,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	$E(FS)$	1,18	
Variança do fator de segurança	$V(FS)$	0,04	
Desvio padrão do fator de segurança	$\sigma(FS)$	0,20	
Índice de confiabilidade	β	0,90	
Probabilidade de ruptura	PR	18,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		17.175,8	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,7	

ANEXO B.106. VILLA SURAMERICANA 1.



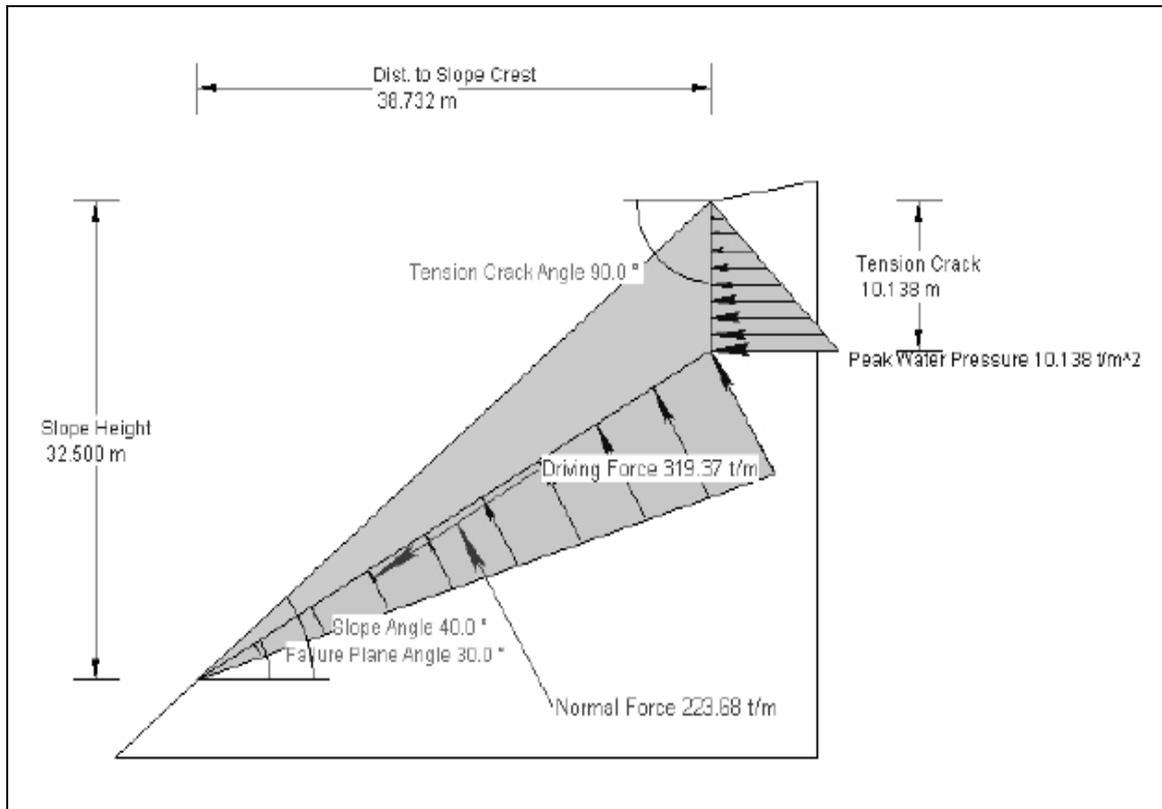
CAMADA		PARÂMETROS	
 Depositos	C (kN/m ²)	31,5	
	φ (°)	20,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio		E(FS)	0,67
Variança do fator de segurança		V(FS)	0,05
Desvio padrão do fator de segurança		σ(FS)	0,22
Indice de confiabilidade		β	-1,53
Probabilidade de ruptura		PR	93,7%
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		646.184,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		28,5	

ANEXO B.107. VILLA SURAMERICANA 2.



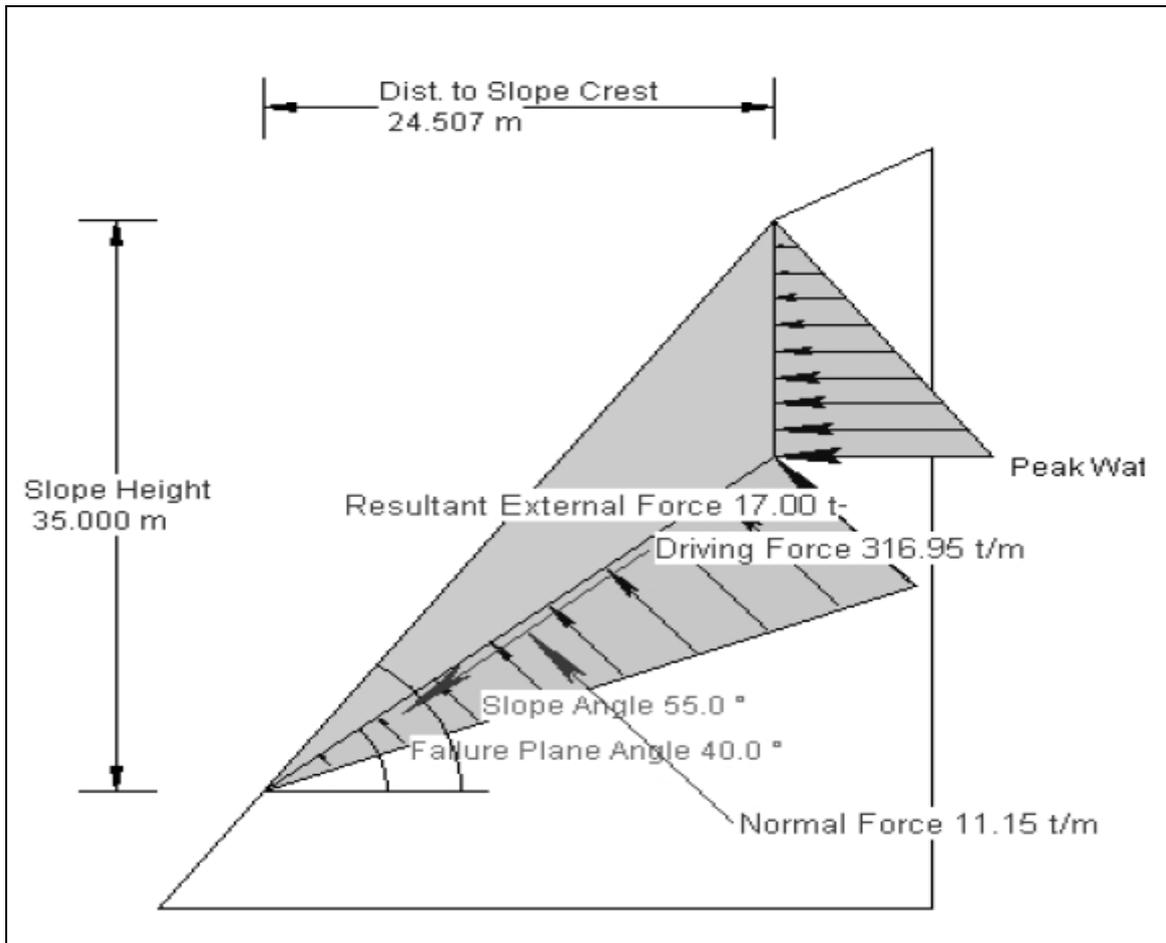
CAMADA		PARÂMETROS	
 Depositos	C (kN/m ²)	31,5	
	ϕ (°)	20,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,10	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,27	
Índice de confiabilidade	β	0,37	
Probabilidade de ruptura	PR	35,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		244.819,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		12,0	

ANEXO B.108. VILLA SURAMERICANA 3.



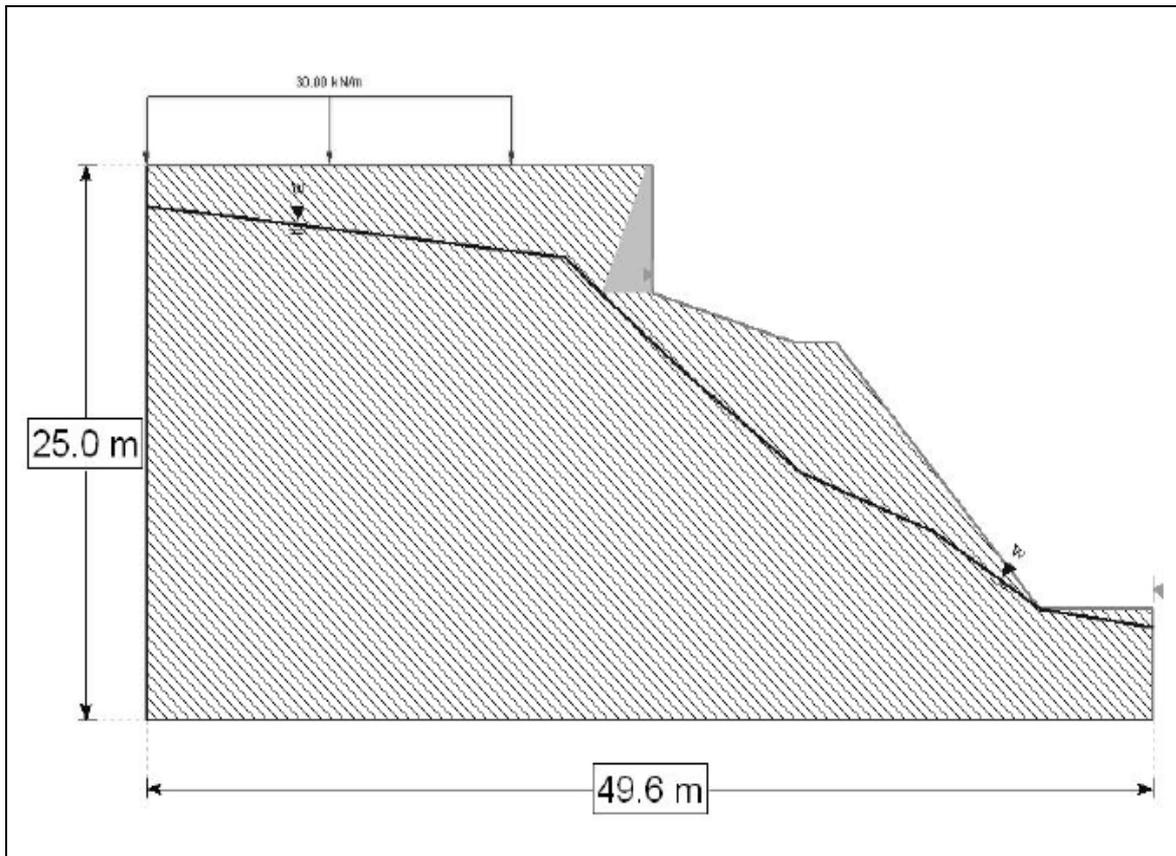
CAMADA		PARÂMETROS	
 Metagabro del Picacho	C (kN/m ²)	352	
	φ (°)	51,0	
	γ (kN/m ³)	28,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	6,44	
Variança do fator de segurança	V(FS)	6,25	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	2,50	
Indice de confiabilidade	β	2,18	
Probabilidade de ruptura	PR	1,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		5.172,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,1	

ANEXO B.109. COLORES DE CALASANIA 1.



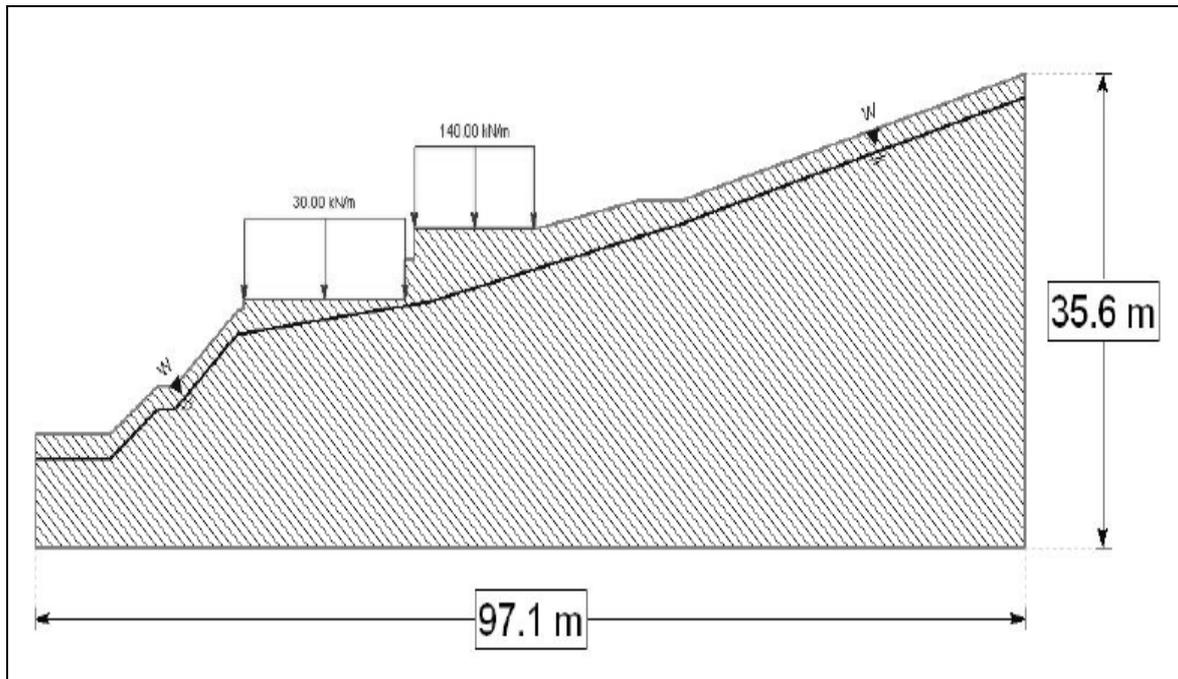
CAMADA		PARÂMETROS	
 Milonita de la Iguana	C (kN/m ²)	107	
	φ (°)	35,0	
	γ (kN/m ³)	22,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,72	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,22	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,47	
Indice de confiabilidade	β	1,53	
Probabilidade de ruptura	PR	6,20%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		19.724,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		0,6	

ANEXO B.110. COLORES DE CALASANIA 2.



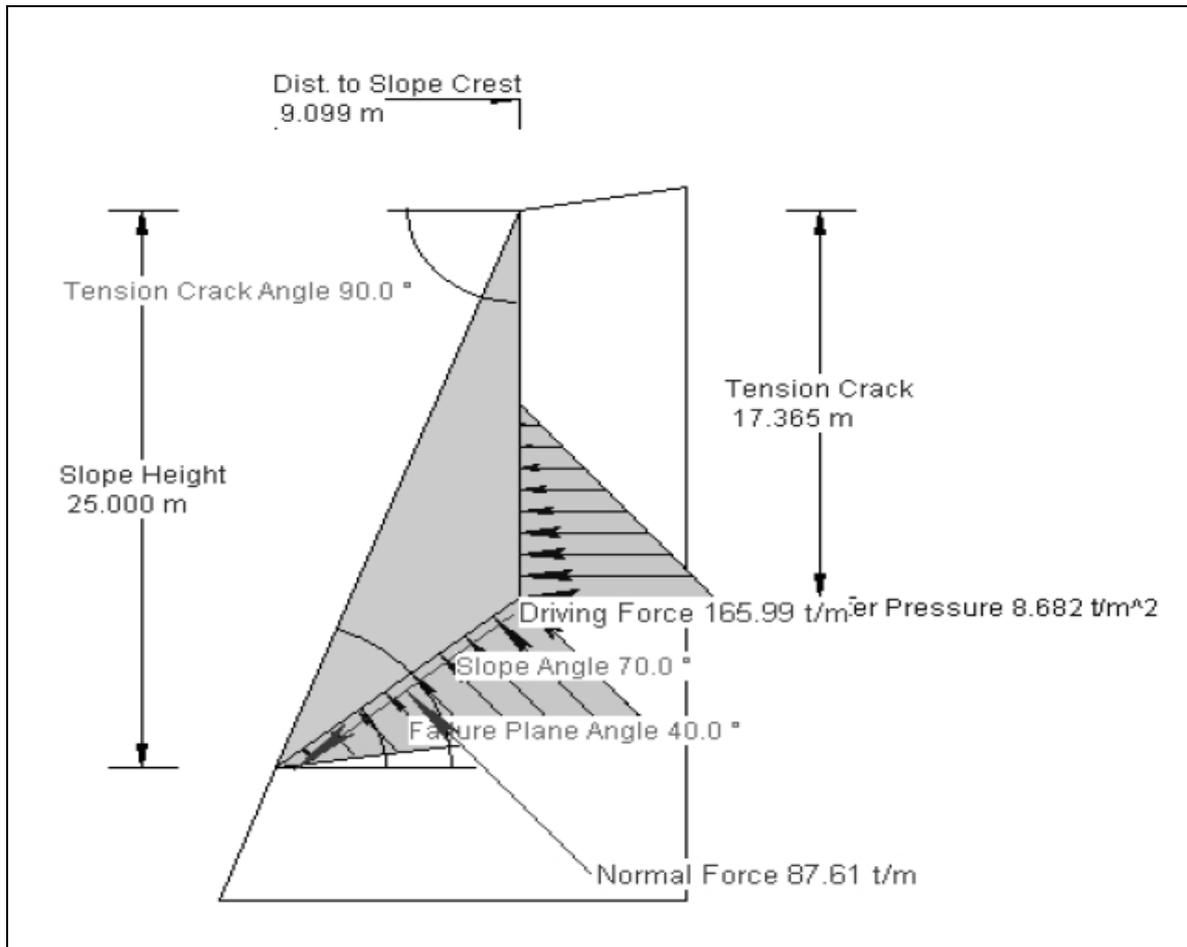
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,97	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,09	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,30	
Índice de confiabilidade	β	-0,09	
Probabilidade de ruptura	PR	53,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		169.565,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		4,7	

ANEXO B.111. COLORES DE CALASANIA 3.



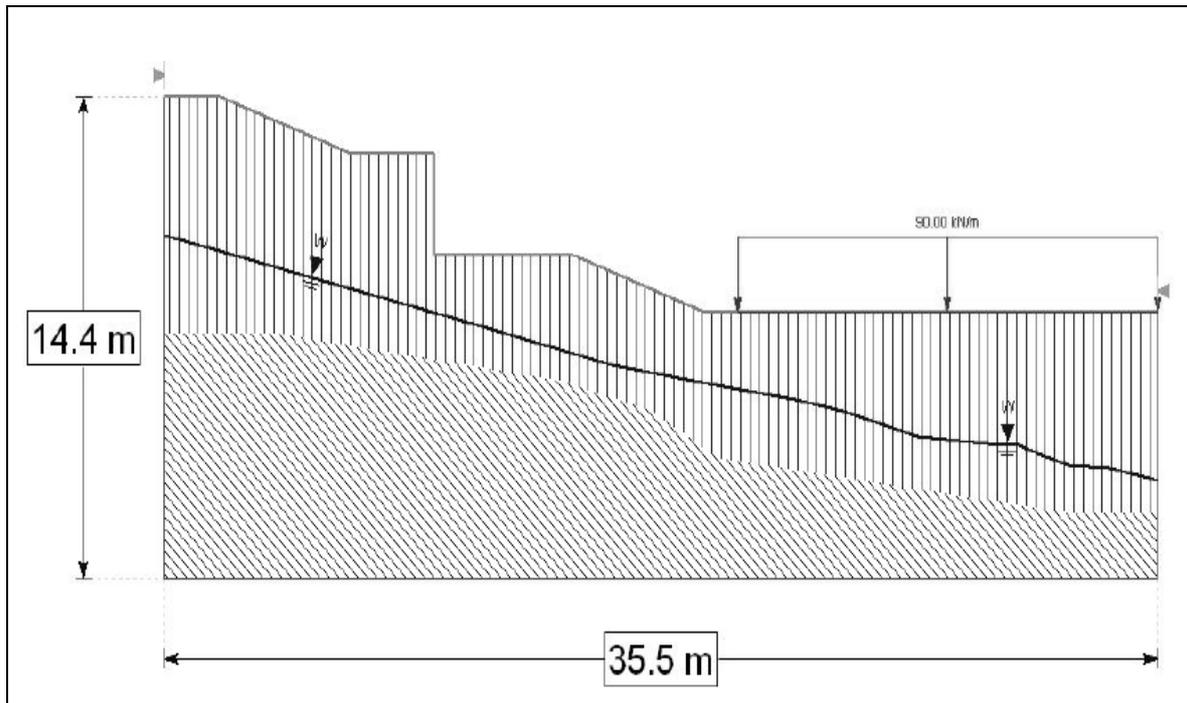
CAMADA		PARÂMETROS	
 Fluxo de lama	C (kN/m ²)	11,5	
	φ (°)	27,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,43	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,26	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,51	
Índice de confiabilidade	β	0,83	
Probabilidade de ruptura	PR	20,3%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		64.581,1	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,7	

ANEXO B.112. ATALAYA DE LA MOTA.



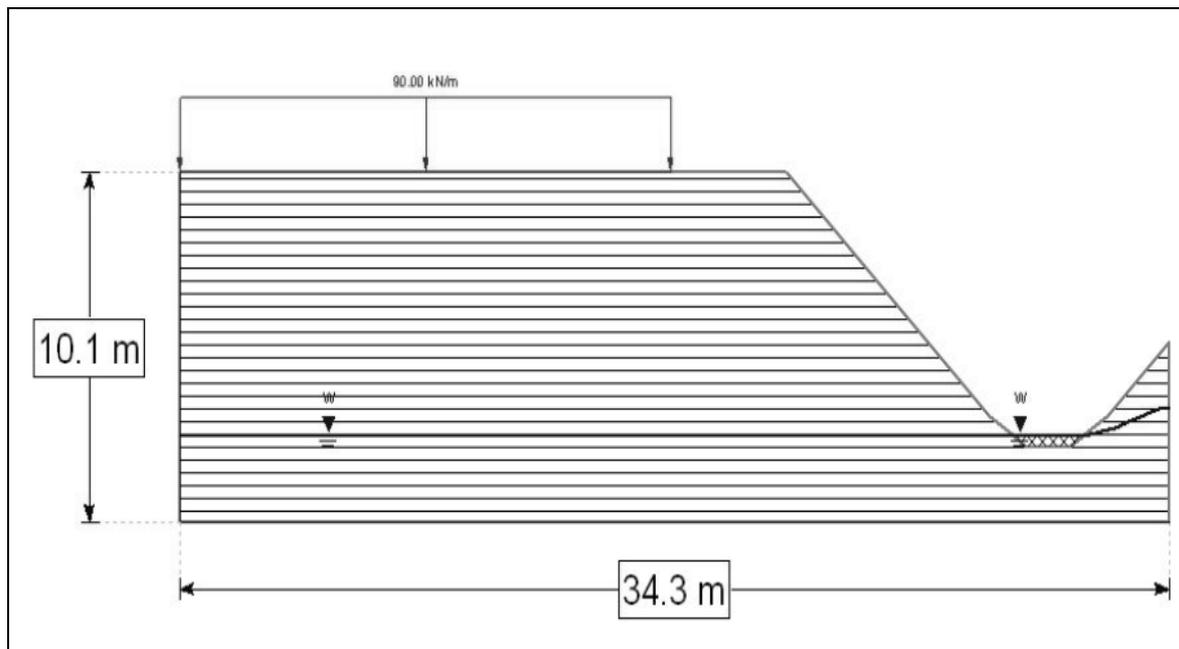
CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de Altavista	C (kN/m ²)	280	
	φ (°)	53,0	
	γ (kN/m ³)	27,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	2,70	
Variança do fator de segurança	V(FS)	1,52	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	1,23	
Indice de confiabilidade	β	1,38	
Probabilidade de ruptura	PR	8,40%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		62.170,2	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,0	

ANEXO B.113. EL CHAGUALÓN T3.



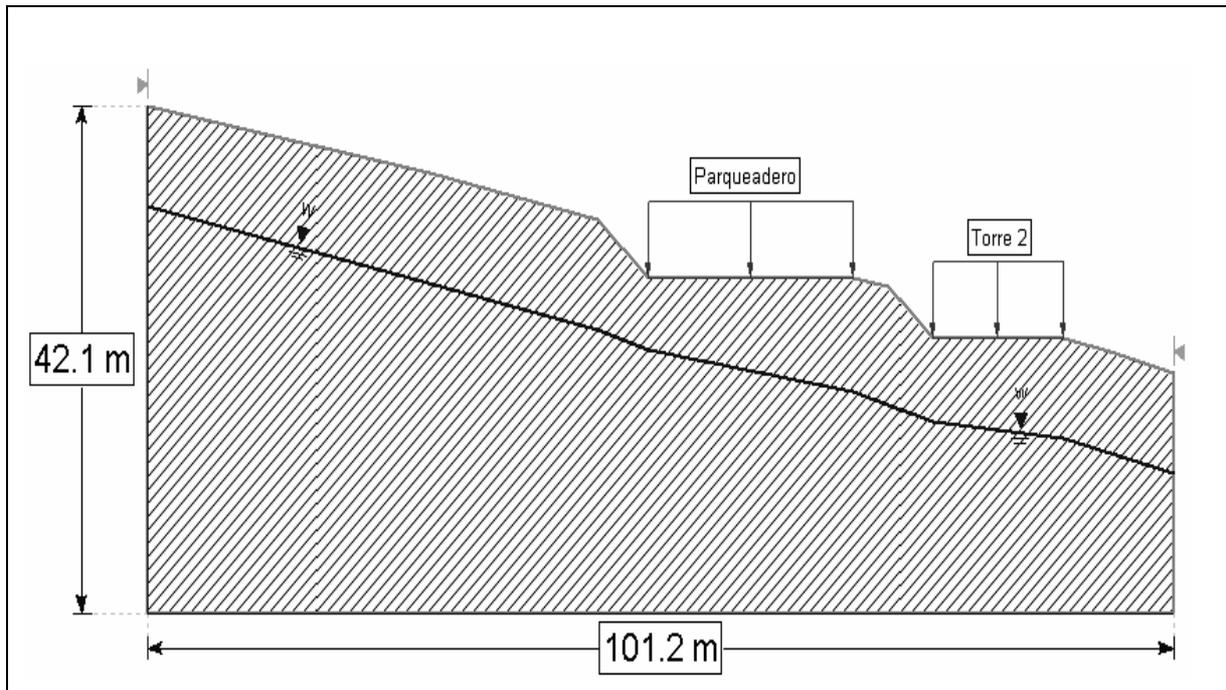
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	10,0	
	φ (°)	30,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
 Areia siltosa	C (kN/m ²)	23,0	
	φ (°)	35,0	
	γ (kN/m ³)	19,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,19	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,18	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,42	
Indice de confiabilidade	β	0,46	
Probabilidade de ruptura	PR	32,4%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		145.059,0	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		4,2	

ANEXO B.114. EL CHAGUALÓN T4.



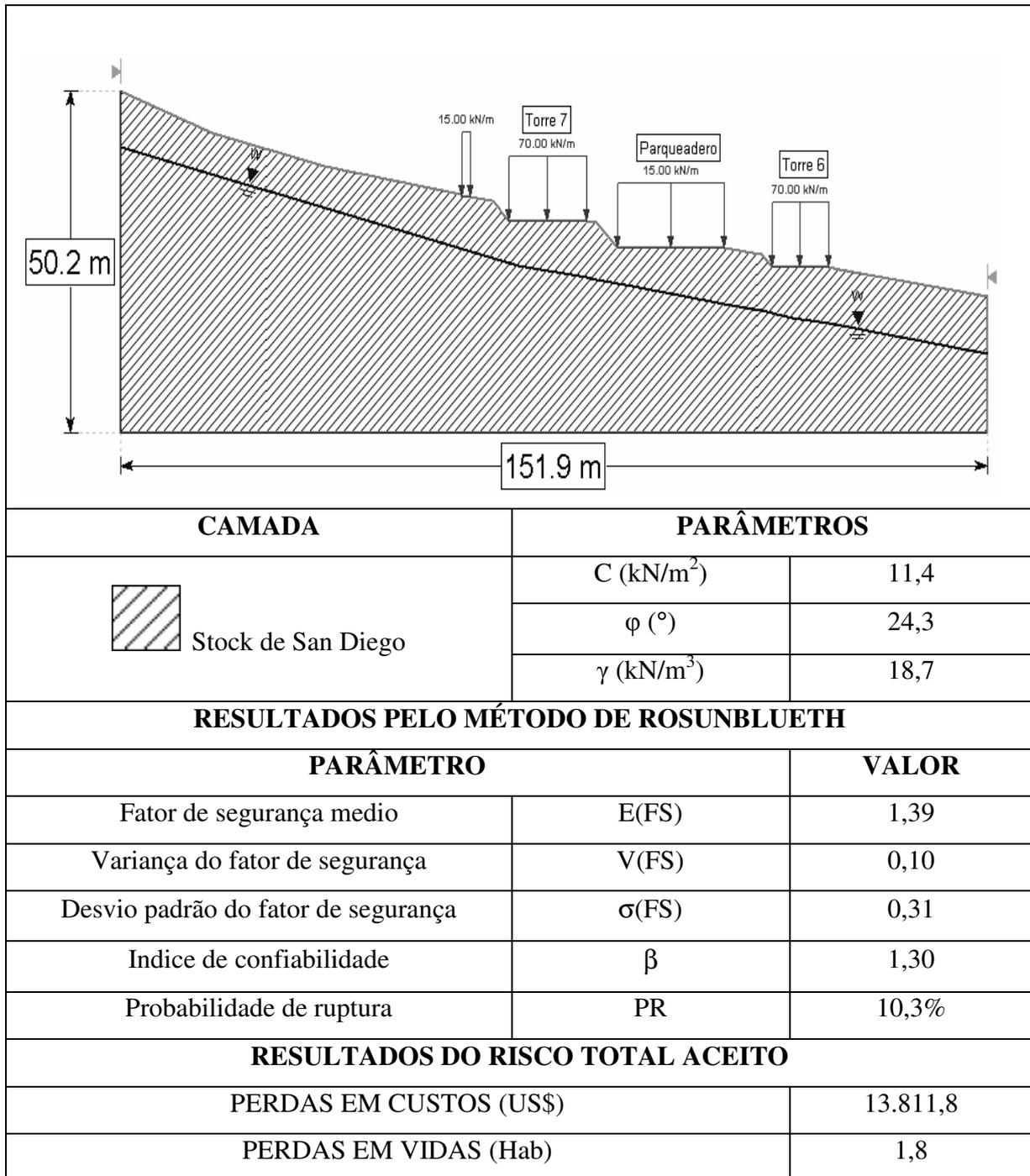
CAMADA		PARÂMETROS	
 Silte argiloso	C (kN/m ²)	13,0	
	φ (°)	31,0	
	γ (kN/m ³)	18,5	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,39	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,07	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,26	
Índice de confiabilidade	β	1,50	
Probabilidade de ruptura	PR	6,60%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		94.282,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,2	

ANEXO B.115. BOSQUES ETERNA PRIMAVERA T2.

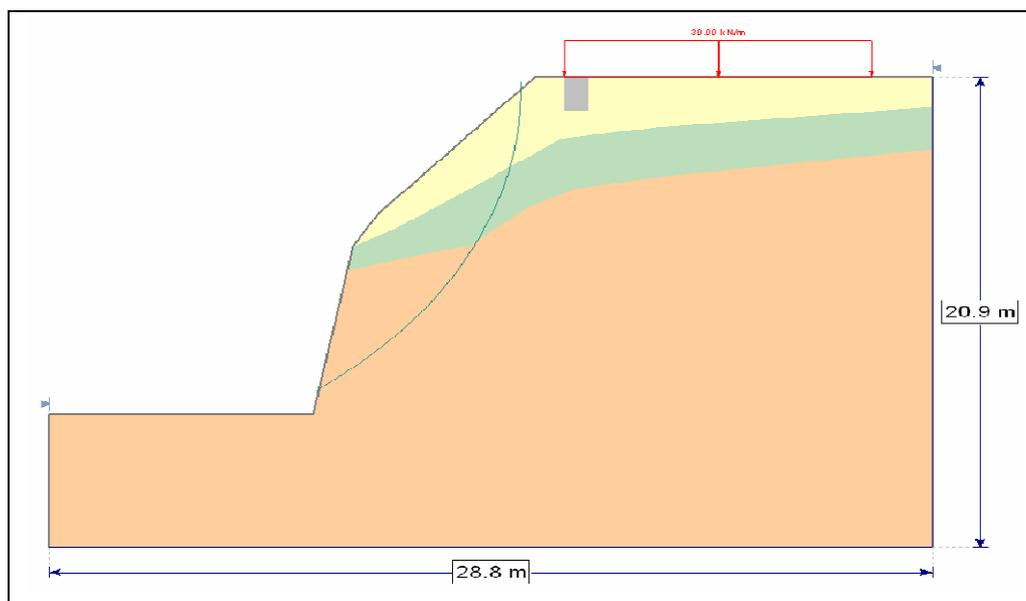


CAMADA		PARÂMETROS	
 Stock de San Diego	C (kN/m ²)	11,4	
	φ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,53	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,11	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,33	
Índice de confiabilidade	β	1,60	
Probabilidade de ruptura	PR	5,40%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		14.482,3	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		1,0	

ANEXO B.116. BOSQUES ETERNA PRIMAVERA T 6 Y 7.

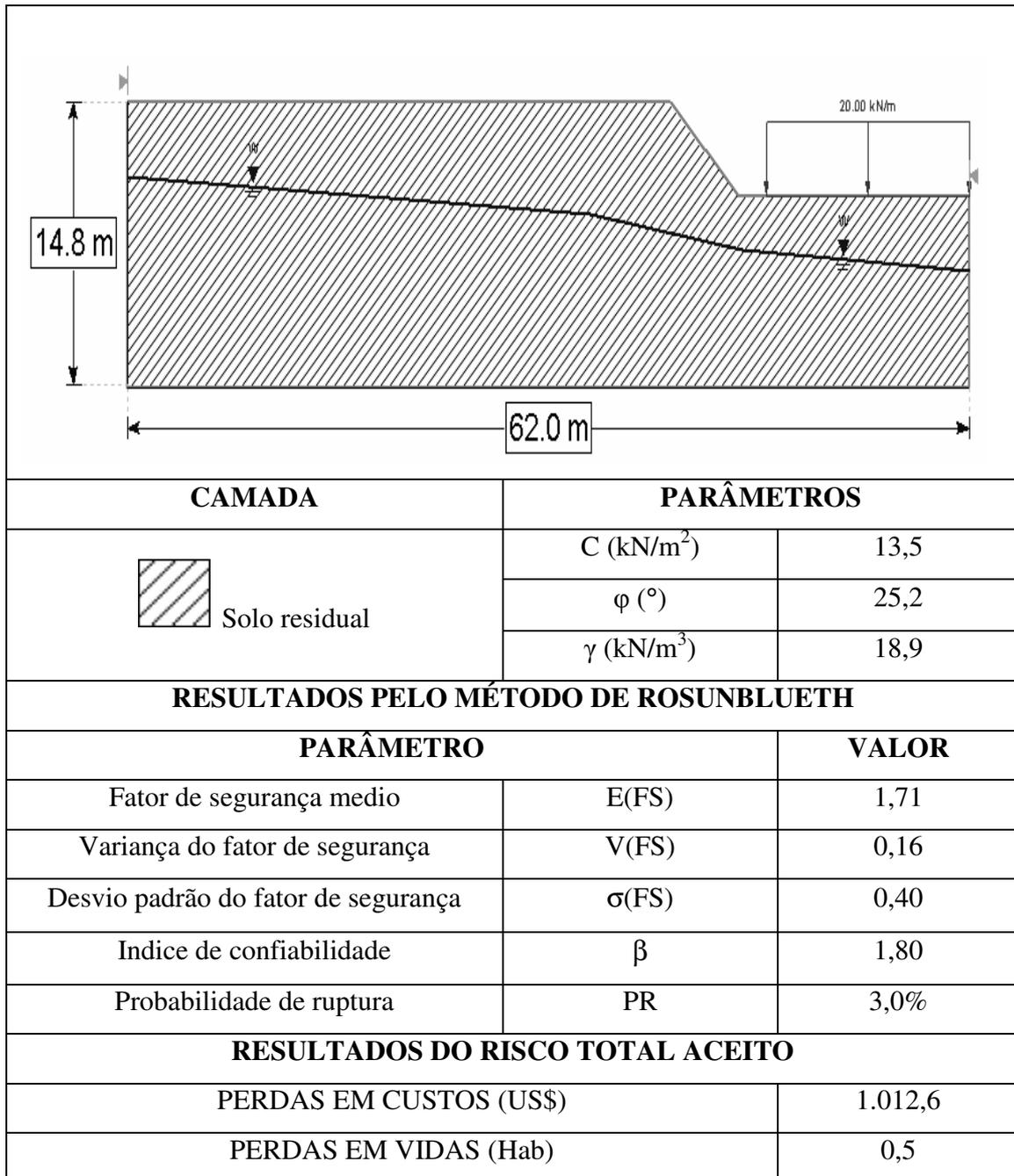


ANEXO B.117. BOSQUES DE SAN BARTOLOMÉ.

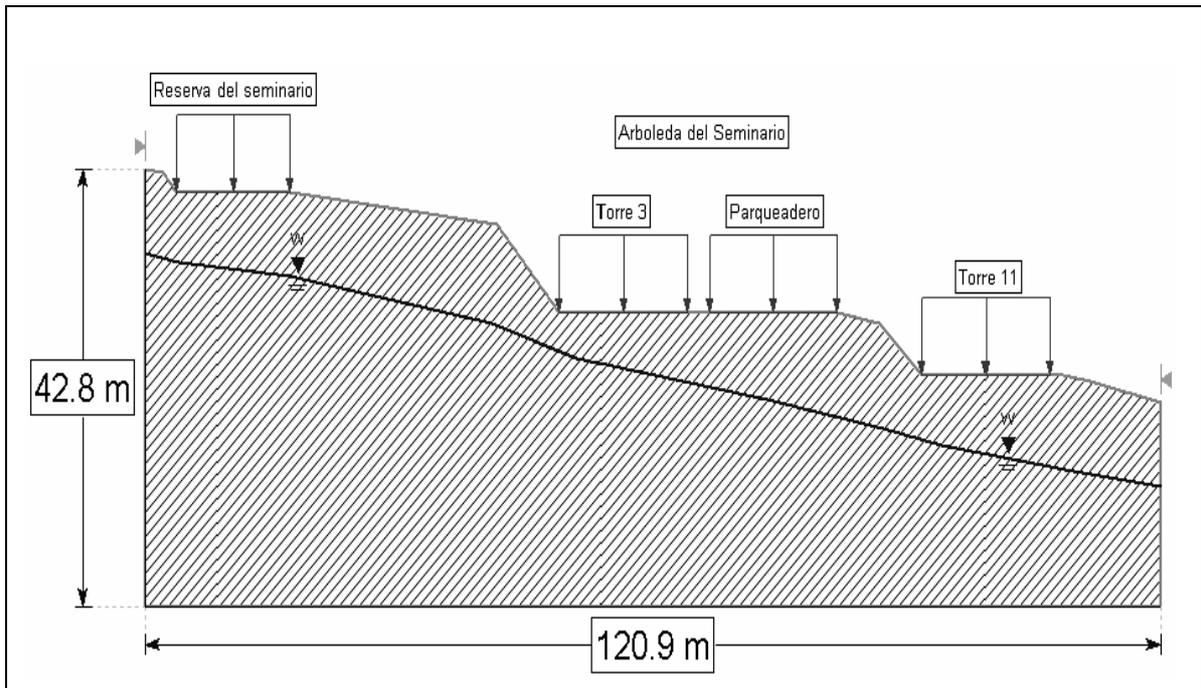


CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo Antropico	C (kN/m ²)	21,0	
	φ (°)	4,0	
	γ (kN/m ³)	16,0	
 Silte arcillo areia	C (kN/m ²)	19,8	
	φ (°)	13,0	
	γ (kN/m ³)	32,0	
 Solo GG-S residual	C (kN/m ²)	21,1	
	φ (°)	34,0	
	γ (kN/m ³)	27,0	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE FOSM			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,03	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,05	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,23	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	44,0%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		74.617,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		10,8	

ANEXO B.118. TORRE GUALANDAY.

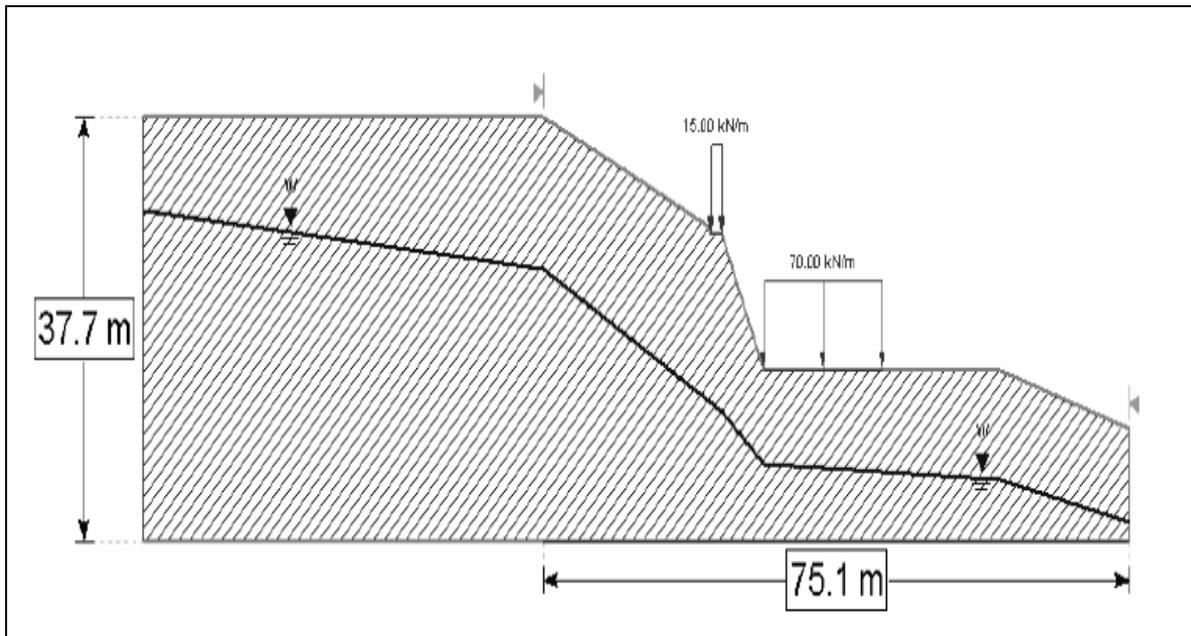


ANEXO B.119. ARBOLEDA DEL SEMINARIO T 3 Y 11.



CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo residual (Stock de San Diego)	C (kN/m ²)	11,4	
	φ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	1,05	
Variança do fator de segurança	V(FS)	0,04	
Desvio padrão do fator de segurança	σ(FS)	0,21	
Indice de confiabilidade	β	0,20	
Probabilidade de ruptura	PR	41,5%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		47.798,9	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		22,4	

ANEXO B.120. ARBOLEDA DEL SEMINARIO T5.



CAMADA		PARÂMETROS	
 Solo residual (Stock de San Diego)	C (kN/m ²)	11,4	
	ϕ (°)	24,3	
	γ (kN/m ³)	18,7	
RESULTADOS PELO MÉTODO DE ROSUNBLUETH			
PARÂMETRO		VALOR	
Fator de segurança medio	E(FS)	0,68	
Variância do fator de segurança	V(FS)	0,02	
Desvio padrão do fator de segurança	σ (FS)	0,13	
Índice de confiabilidade	β	-2,40	
Probabilidade de ruptura	PR	99,1%	
RESULTADOS DO RISCO TOTAL ACEITO			
PERDAS EM CUSTOS (US\$)		114.141,4	
PERDAS EM VIDAS (Hab)		41,1	