

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

VALEC – ENGENHARIA, CONSTRUÇÕES E FERROVIAS S.A.

PROJETO TIPO DE PASSAGEM VEICULAR 5,00 m x 4,55 m

ATERRO ATÉ 4 METROS

VOLUME 3 - MEMÓRIA DE CÁLCULO

09/2016

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	2/127

Sumário

1	Objetivo	11
2	Área de Aplicação	11
3	Referências	11
4	Definições.....	11
5	Materiais Utilizados	11
6	Modelo Matemático Estrutural	11
7	Cargas Permanentes	14
7.1	Peso Próprio.....	14
7.2	Aterro Nulo	14
7.2.1	Trilhos, Dormentes e Lastro.....	14
7.2.2	Empuxos.....	14
7.3	Aterro de 4 metros.....	16
7.3.1	Trilho, Dormente e Lastro	16
7.3.2	Empuxos e Aterro Superior.....	16
7.4	Pavimentação Laje Inferior	18
8	Carga Móvel Ferroviária.....	18
8.1	Coeficiente de Impacto	18
8.2	Aterro Nulo	19
8.2.1	Trem Tipo Sobre a Laje Superior.....	20
8.2.2	Trem Tipo Sobre o Aterro	21
8.3	Aterro de 4 metros.....	22
9	Carga Móvel Rodoviária.....	23
10	Cargas nas Alas	25
11	Solicitações	25
11.1	Momentos Transversais	26
11.1.1	Considerações Gerais.....	26
11.1.2	No Centro do Corpo – Aterro Nulo	27
11.1.3	Nas Extremidades do Corpo – Aterro Nulo	28
11.1.4	No Centro do Corpo – Aterro Máximo 4 metros	29
11.1.5	Nas Extremidades do Corpo – Aterro Máximo 4 metros.....	29
11.2	Momentos Longitudinais	30
11.2.1	Positivos e Negativos da Laje Superior	30
11.2.2	Positivos e Negativos da Laje Inferior	30

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	3/127

11.3	Esforços Cortantes.....	30
11.4	Nas Alas	31
12	Dimensionamentos	33
12.1	Considerações Gerais.....	33
12.1.1	Calculadora à flexão TQS	33
12.1.2	Calculadora de cortante TQS	35
12.2	Armadura de Flexão Transversal – Região Central do Corpo	37
12.3	Armadura de Flexão Transversal – Extremidades do Corpo	40
12.4	Armadura Secundária na Direção Longitudinal.....	41
12.5	Armadura para Cortante	42
12.6	Alas.....	44
13	Tensão no Solo	44
14	Emendas e Ancoragens.....	45
14.1	Considerações Gerais.....	45
14.2	Comprimento das armaduras.....	48
15	Fissuração.....	51
15.1	Considerações Gerais.....	51
15.2	Verificação da Seção 5	52
15.3	Verificação da Seção 1 e 2	53
16	Fadiga.....	54
16.1	Considerações Gerais.....	54
16.2	Verificação da Seção 5	55
16.3	Verificação da Seção 1 e 2	56
17	Deformação.....	58
17.1	Considerações Gerais.....	58
17.2	Flecha total e limite.	58
17.3	Flecha accidental.	58
18	Modelo – Figuras.....	61
18.1	Superfícies de Influência.....	61
18.1.1	Barra Longitudinal – Extremidade.....	61
18.1.2	Barra Transversal – Extremidade	64
18.1.3	Barra Longitudinal – Centro	66
18.1.4	Barra Transversal – Centro.....	68
18.2	Cargas Aplicadas	70

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	4/127

18.2.1	Permanentes	70
18.2.2	Trem Tipo Ferroviário VALEC.....	82
18.2.3	Laje Inferior.....	86
18.2.4	Bocas.....	88
18.3	Solicitações	90
18.3.1	Momento Fletor	90
18.3.2	Esforço Cortante	101
18.3.3	Reação de Apoio.....	105
18.3.4	Alas.....	113
19	Anexos – Extrações Bibliográficas	120
19.1	Teoria de Coulomb apud Montoya.....	120
19.2	Critério AREMA para Carga Móvel apud MANUAL FOR RAILWAY ENGINEERING.....	127

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	5/127

Lista de Figuras

Figura 1 – Discretização da estrutura em malhas de 50 cm.	12
Figura 2 – Entrada de propriedades dos materiais.	12
Figura 3 – Entrada de propriedades das seções.	13
Figura 4 – Distribuição das cargas permanentes com aterro nulo.	15
Figura 5 – Distribuição dos empuxos dos aterros laterais fora da região da via. Vista em corte transversal.	16
Figura 6 – Distribuição da carga dos dormentes, trilhos e lastros sobre aterro de 4 metros.	17
Figura 7 – Distribuição das cargas permanentes com aterro de 4 metros.	18
Figura 8 - Distribuição da carga móvel para trem tipo centrado, vista em corte transversal.	21
Figura 9 – Distribuição da carga móvel para trem tipo sobre aterro, vista em corte transversal.	21
Figura 10 – Distribuição longitudinal do Trem Tipo.	22
Figura 11 – Distribuição da carga móvel com aterro de 4 metros.	23
Figura 12 – Distribuição da carga móvel rodoviária.	24
Figura 13 – Distribuição dos empuxos dos aterros laterais. Vista em corte transversal.	25
Figura 14 – Seções de referência para determinação da armadura transversal de flexão. Vista em corte transversal.	26
Figura 15 – Seções de referência nas alas para determinação da armadura transversal de flexão. Vista em corte transversal.	32
Figura 16 - Esforços cortantes nas lajes superior e inferior. Vista em corte transversal.	43
Figura 17 – Região de influência dos pontos de apoio no solo na borda da laje inferior.	45
Figura 18 – Cobertura do diagrama de momentos da laje inferior.	49
Figura 19 - Cobertura do diagrama de momentos da laje superior.	50
Figura 20 – Cálculo da abertura de fissura.	52
Figura 21 – Cálculo da abertura de fissura.	53
Figura 22 - Deformação total máxima.	59
Figura 23 - Deformação devida à carga móvel.	60
Figura 24 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior.	61
Figura 25 – Corte Transversal – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior.	61
Figura 26 – Corte Longitudinal – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior.	62

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	6/127

Figura 27 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Inferior	62
Figura 28 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Centro do vão da Laje Superior	63
Figura 29 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Centro do vão da Laje Inferior	63
Figura 30 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior	64
Figura 31 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Centro do vão da Laje Superior	64
Figura 32 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Borda do vão da Laje inferior	65
Figura 33 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Centro do vão da Laje inferior	65
Figura 34 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Borda do vão da Laje Superior	66
Figura 35 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Centro do vão da Laje Superior	66
Figura 36 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Borda do vão da Laje Inferior	67
Figura 37 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Centro do vão da Laje Inferior	67
Figura 38 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Borda do vão da Laje Superior	68
Figura 39 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Centro do vão da Laje Superior	68
Figura 40 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Borda do vão da Laje Inferior	69
Figura 41 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Centro do vão da Laje Inferior	69
Figura 42 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Inferior	70
Figura 43 – Vista 3D em zoom – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Inferior	70
Figura 44 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Superior	71
Figura 45 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) das Paredes Laterais	71
Figura 46 – Vista 3D – Carregamento – Lastro, Trilhos e Dormentes sem Aterro (g2) – Região Central	72
Figura 47 – Vista 3D – Carregamento – Lastro, Trilhos e Dormentes sem Aterro (g2) – Extremidades	72
Figura 48 – Vista 3D – Carregamento Lastro, Trilhos e Dormentes em Aterro de 4 metros (g6 e g7) – Região Central – Método de Rankine	73

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	7/127

Figura 49 – Vista 3D – Carregamento Lastro, Trilhos e Dormentes em Aterro de 4 metros (g6 e g7) – Região de Extremidade – Rankine	74
Figura 50 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)	75
Figura 51 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4).....	75
Figura 52 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Coulomb – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)	76
Figura 53 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Coulomb – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4).....	76
Figura 54 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)	77
Figura 55 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4)	77
Figura 56 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4).....	78
Figura 57 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4)	78
Figura 58 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Sem sobrecarga da via permanente (g4)	79
Figura 59 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Sem sobrecarga da via permanente (g4)	79
Figura 60 – Vista 3D – Carregamento Aterro de 4 metros e Empuxo – Método de Rankine (g8, g9 e g10).....	80
Figura 61 – Vista 3D Zoom – Carregamento Aterro de 4 metros e Empuxo – Método de Rankine (g8, g9 e g10).....	81
Figura 62 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Centrado – Região Central – Método de Rankine (q1 e q2 nas duas paredes)	82
Figura 63 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Centrado – Região de Extremidade – Método de Rankine (q1 e q2 nas duas paredes).....	83
Figura 64 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Entrando – Região Central – Método de Rankine (q1 e q2 na parede esquerda).....	84
Figura 65 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Entrando – Região Central – Método de Coulomb (q1 e q2 na parede esquerda)	85
Figura 66 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário – Região de Extremidade – Método de Coulomb (q3 e q4)	86
Figura 67 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Região Central (q e Q do item 9).....	86
Figura 68 – Vista 3D Zoom – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Região Central (q e Q do item 9)	87

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	8/127

Figura 69 – Vista 3D – Carregamento Pavimentação na Laje Inferior (<i>gpav</i>).....	87
Figura 70 – Vista 3D Zoom – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Na Boca (q e Q do item 9).....	88
Figura 71 – Vista 3D – Carregamento Empuxo do Aterro nas Parede – Na Boca – Método de Rankine (g5).....	89
Figura 72 – Seção Transversal – Momento Fletor – Peso Próprio – g1 definido em 7.1.....	90
Figura 73 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Entrando – q1 na laje superior definido em 8.2.1 e q2 definido em 8.2.2 apenas na parede esquerda – Coulomb	91
Figura 74 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Entrando – q1 na laje superior definido em 8.2.1 e q2 definido em 8.2.2 apenas na parede esquerda – Rankine	92
Figura 75 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Centrado – q1 definido em 8.2.1 na laje superior e q2 definido em 8.2.2 nas duas paredes – Coulomb	93
Figura 76 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Centrado – q1 definido em 8.2.1 na laje superior e q2 definido em 8.2.2 nas duas paredes – Rankine.....	94
Figura 77 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a g2 de Trilhos, Dormentes e Lastro definido em 7.2.1 na Extremidade	94
Figura 78 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a g2 de Trilhos, Dormentes e Lastro definido em 7.2.1 no Centro.....	94
Figura 79 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a q1 do Trem Tipo Ferroviário definido em 8.2.1 no Centro.....	95
Figura 80 – Seção Transversal – Momento Fletor – Devido ao Trem Tipo Rodoviário conforme Figura 12 definido no item 9.	95
Figura 81 – Seção Transversal – Momento Fletor – Lastro, Trilhos e Aterro 4m aplicados g6, g7, g8, g9 e g10 conforme Figura 7 do item 7.3.2 – Coulomb.....	96
Figura 82 – Seção Transversal – Momento Fletor – Lastro, Trilhos e Aterro 4m aplicados g6, g7, g8, g9 e g10 conforme Figura 7 do item 7.3.2 – Rankine	97
Figura 83 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre Aterro 4m aplicados q3 na laje superior e q4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 – Coulomb	98
Figura 84 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre Aterro 4m aplicados q3 na laje superior e q4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 – Rankine.....	99
Figura 85 – Vista 3D – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro de 4m aplicados q3 na laje superior e q4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 na Extremidade	100
Figura 86 – Seção Transversal – Esforço Cortante – Peso Próprio – g1 definido em 7.1	101
Figura 87 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Aterro 4 metros aplicado g8	102

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	9/127

Figura 88 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Lastro, Trilhos e Dormentes aplicado g6	103
Figura 89 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro 4 metros aplicado q3 na laje superior	104
Figura 90 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Trem Tipo Ferroviário sem aterro, aplicado q1 na laje superior, definido em 8.2.1.....	105
Figura 91 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Peso Próprio – g1 definido em 7.1	106
Figura 92 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Aterro de 4 metros – g8 definido em 7.3.2	107
Figura 93 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Lastro e Trilhos sobre aterro de 4 m – g6 definido em 7.3.2	108
Figura 94 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro de 4m – q3 definido em 8.3.....	109
Figura 95 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Trem Tipo Rodoviário – conforme Figura 12 definido em 9	110
Figura 96 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Carregamento Total (com aterro) – g1, g8, g6, q3 e Trem Tipo Rodoviário.....	111
Figura 97 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Carregamento Total (sem aterro) – g1, g2, q1 e Trem Tipo Rodoviário.....	112
Figura 98 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Empuxo do Aterro conforme definido em 10.....	113
Figura 99 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor nas Barras Longitudinais – Empuxo do Aterro conforme definido em 10.....	114
Figura 100 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9	115
Figura 101 – Seção Transversal no 1º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9	116
Figura 102 – Seção Transversal no 2º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9	117
Figura 103 – Seção Transversal no 3º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9	118
Figura 104 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Peso Próprio e Pavimentação – g1 e g _{pav}	119

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	10/127

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Momentos / Centro dos corpos sem aterro.	28
Tabela 2 – Momentos / Extremidade dos corpos sem aterro.....	28
Tabela 3 – Momentos / Centro do corpo com aterro de 4m.....	29
Tabela 4 – Momentos / Extremidade do corpo com aterro de 4 metros.....	29
Tabela 5 – Cortantes máximos nas lajes inferior e superior.	31
Tabela 6 – Momentos nas Alas – Pórtico 1.	32
Tabela 7 – Momentos nas Alas – Pórtico 2.	32
Tabela 8 – Momentos nas Alas – Pórtico 3.	33
Tabela 9 (Resumo da Tabela 1) – Momentos / Centro dos corpos sem aterro.....	38
Tabela 10 (Resumo da Tabela 3) – Momentos / Centro do corpo com aterro de 4 metros.....	38
Tabela 11 (Resumo da Tabela 2) – Momentos / Extremidade dos corpos sem aterro.	40
Tabela 12 (Resumo da Tabela 4) – Momentos / Extremidade do corpo com aterro de 4 metros.....	40
Tabela 13 – Momento de Inércia no Estádio II – Seção 5.	55
Tabela 14 – Momento de Inércia no Estádio II – Seção 1.	57

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	11/127

1 Objetivo

Detalhar os cálculos do dimensionamento da estrutura de passagem veicular com vão livre de 5,00 x 4,55 metros, horizontal e vertical, respectivamente, para aterros variando de 0 a 4 metros, aplicada aos projetos de vias ferroviárias.

2 Área de Aplicação

Esta memória de cálculo é aplicável especificamente à passagem veicular nos cálculos determinados por este documento.

3 Referências

Para os fins desta memória de cálculo, aplicam-se as referências apresentadas no Volume 1.

4 Definições

Para os fins desta memória de cálculo, aplicam-se as definições apresentadas no Volume 1.

5 Materiais Utilizados

O concreto especificado é de C30 da NBR-6118:2014 com $f_{ck} \geq 30$ MPa e o fator água cimento $a/c \leq 0,55$.

Para preparação do leito de concretagem, adotou-se concreto magro com consumo mínimo de cimento de 200 kg/m³ e resistência característica 10 MPa.

O aço especificado é o CA-50-A.

Para o tratamento das juntas de vedação especificou-se junta plástica com resistência a 10 metros de coluna d'água tipo Fungenband ou similar.

6 Modelo Matemático Estrutural

O modelo estrutural foi processado no programa MIX, distribuído pela TQS e pode ser visualizado nas figuras do item 18. O MIX permite a análise de estruturas espaciais formadas por barras ou elementos finitos planos e ainda permite o uso de vários recursos para geração automática de nós e barras, bem como a consideração de apoios elásticos, ligações plásticas, diversos tipos de cargas e combinações de carregamentos.

A estrutura foi discretizada em Elementos de Barras formando um pórtico espacial onde as lajes e paredes resultam representadas por grelhas.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	12/127

A discretização foi feita em elementos de 50 centímetros de comprimento constituindo malhas com essa dimensão, como representado na Figura 1 a seguir. A Figura 2 e a

Figura 3 mostram as entradas de propriedades dos elementos de concreto no programa.

Figura 1 – Discretização da estrutura em malhas de 50 cm.

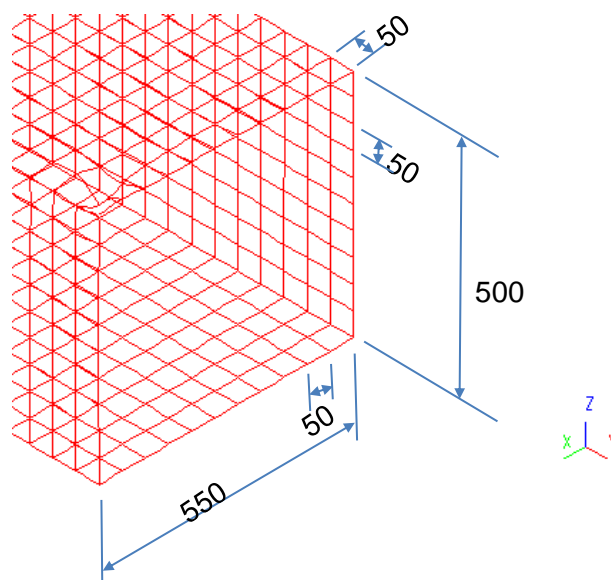
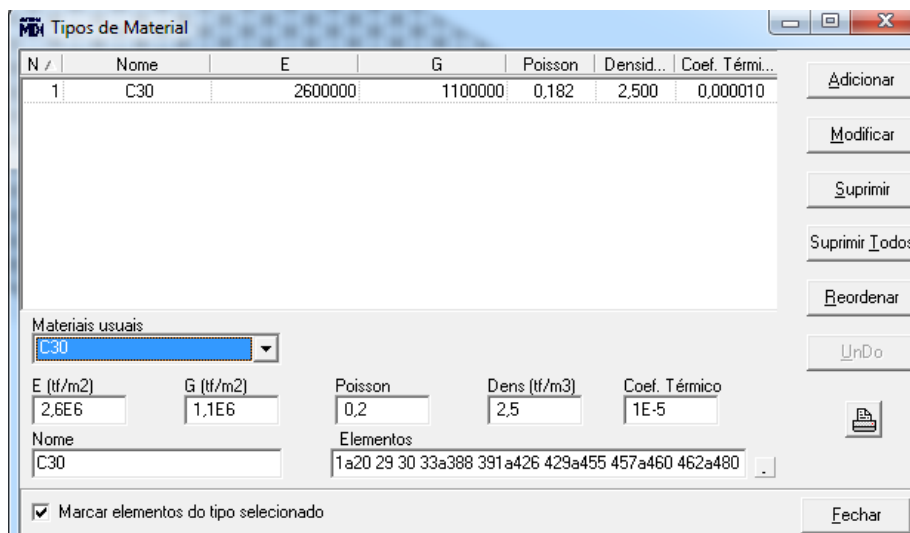


Figura 2 – Entrada de propriedades dos materiais.



VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias S.A.		PASSAGEM VEICULAR 5,00 m x 4,55 m			
Título de Documento: Memória de Cálculo	Unidade Responsável: SUPRO	Data: 09/09/2016	Código: 80-MC-000A-23-1000	Revisão: Rev. 0	Página: 13/127

Figura 3 – Entrada de propriedades das seções.

N	Forma	Nome	Area	Ix	Iy	Iz	Ay
1	Retangular	LAJE FUNDO	2250,00	704701,10	379687,50	468750,00	0,00
2	Retangular	LAJE COBERTURA	2250,00	704701,10	379687,50	468750,00	0,00
3	Retangular	LAJE LATERAL	2250,00	704701,10	379687,50	468750,00	0,00

Tipo de seção: Seções usuais
 Área (cm²): 2250 Ix (cm⁴): 7,047E5 Iy (cm⁴): 3,797E5 Iz (cm⁴): 4,687E5 Ay (cm²): 0 Az (cm²): 0
 Nome: LAJE FUNDO
 Barras: 1 6 10a20 33a39 41a50 52 56a74 77a85 87a96 98 102a120 1;
☒ Marcar barras do tipo selecionado

As dimensões do modelo resultaram em 5,50 por 5,00 m, com pequena aproximação em relação às dimensões reais da estrutura.

A reação do solo foi representada por apoios elásticos adotando o módulo de *Winkler* de 2.000tf/m³, guardando certa correspondência com a tensão no solo definida adiante no item 13.

As molas representativas dos apoios elásticos foram aplicadas em todos os nós da laje inferior, portanto com uma área de influência de 0,5 x 0,5 metros.

Os carregamentos considerados para definição das solicitações e respectivos dimensionamentos estão definidos nos itens 7, 8 e 9 deste volume.

Para disposição da carga móvel, nas posições mais desfavoráveis, foram determinadas as superfícies de influência para os momentos fletores nas barras principais da estrutura.

Para determinar as superfícies de influência foi utilizada a metodologia proposta por *Sarkis* baseada no teorema de *Muller-Breslau*, conforme Referência Bibliográfica apresentada no Volume 1 e acessível em <http://www.coc.ufri.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/71-1971/269-paulo-jorge-sarkis>.

Algumas das diversas superfícies de influência geradas estão no item 18.1.

Como resultados o programa MIX fornece reações de apoio, diagrama de solicitações, deslocamento de nós, deformações e gráficos com isovalores, como apresentados no item 18, de onde foram extraídas as solicitações apresentadas no item 11.

Os resultados da análise com os momentos fletores e esforços cortantes principais estão reunidos no item 18.3.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	14/127

7 Cargas Permanentes

7.1 Peso Próprio

Considerando g_1 o peso próprio da laje, sendo o peso específico do concreto $\gamma = 2,5 \text{ tf/m}^3$ e espessura da laje $e = 0,45 \text{ m}$, obtém-se:

$$g_1 = e \times \gamma$$

$$g_1 = 0,45 \times 2,5 = 1,12 \text{ tf/m}^2$$

7.2 Aterro Nulo

7.2.1 Trilhos, Dormentes e Lastro

Considerando a largura (3,10 metros) definida pelo critério da AREMA (conforme descrito no item 8.2) e os valores da NBR-7187:2003, isto é, a carga de 0,8tf/m para trilhos e dormentes, o peso específico do lastro de $\gamma = 1,8 \text{ tf/m}^3$ e a altura total do lastro (h_{lastro}) de 50 centímetros nas linhas da VALEC, obtêm-se os carregamentos a seguir.

$$g_2 = \gamma \times h_{\text{lastro}} + \left(\frac{0,8}{b} \right)$$

$$g_2 = 1,8 \times 0,5 + \left(\frac{0,8}{3,10} \right) = 1,16 \text{ tf/m}^2 \cong 1,20 \text{ tf/m}^2$$

- Valor arredondado para aplicar no modelo

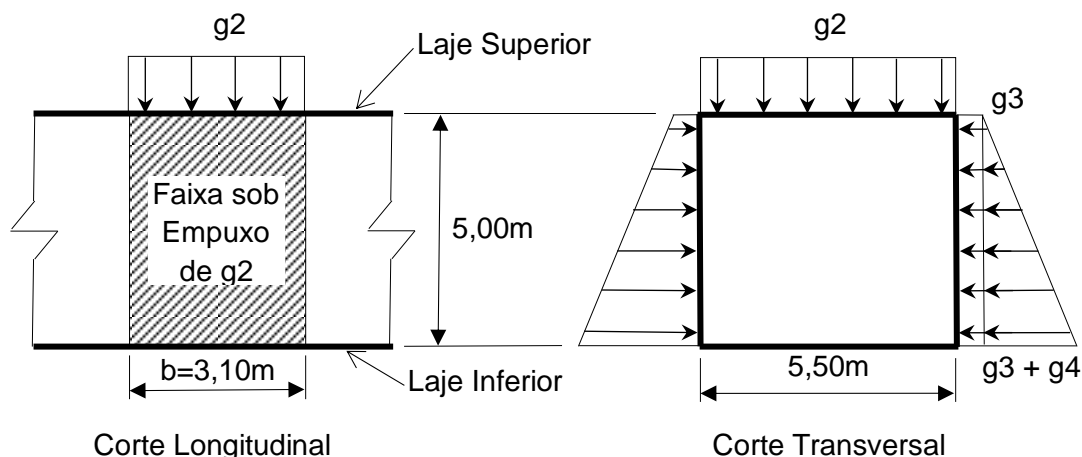
7.2.2 Empuxos

No carregamento permanente deve ser considerado o empuxo lateral do aterro. Uma parcela do empuxo será proveniente da carga g_2 , conforme representado pela carga lateral uniforme g_3 , o qual age desde o nível da laje superior. Outra parcela será nula no nível da laje superior e aumentará devido ao peso próprio do aterro ao longo da altura da parede até o valor g_4 no nível da laje inferior. Assim, o empuxo nas paredes devido ao aterro variará de g_3 no nível da laje superior até $g_3 + g_4$ no nível da laje inferior. Conforme representado na Figura 4.

No geral, a Figura 4 representa em corte longitudinal e transversal a distribuição das cargas permanentes sobre a estrutura. Especificamente no corte longitudinal, está indicada a faixa de atuação da carga g_2 na laje superior e a região de atuação do empuxo horizontal nas paredes, em largura constante de 3,10m.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	15/127

Figura 4 – Distribuição das cargas permanentes com aterro nulo.



Para o cálculo do empuxo horizontal, considerou-se a envoltória de esforços resultante a partir da consideração de dois métodos de cálculo do coeficiente de empuxo ativo (κ_a), Coulomb e Rankine. Para ambos considerou-se o ângulo de atrito interno $\alpha = 30^\circ$.

O método de Coulomb considera o atrito entre a parede e o aterro representada pelo ângulo de atrito aterro estrutura (δ). Para o presente cálculo será considerado o ângulo de atrito $\delta = 20^\circ$.

Desta forma, $\kappa_a = 0,28$ (Montoya páginas 685 a 691), conforme item 19.1.

No método de Rankine não há consideração de atrito do terreno com a parede, resultando em $\kappa_a = 0,33$. Este resultado equivale ao resultado do método de Coulomb com $\delta = 0^\circ$.

Desta forma tem-se os seguintes valores de $g3$ e $g4$ para cada método:

$$g3 = g2 \times \kappa_a$$

$$g3 = 1,16 \times 0,28 = 0,33 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$g3 = 1,16 \times 0,33 = 0,38 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

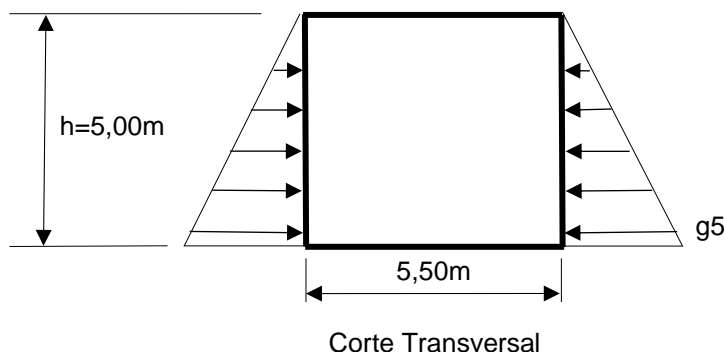
$$g4 = (h \times \gamma) \times \kappa_a$$

$$g4 = 5,0 \times 1,8 \times 0,28 = 2,52 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$g4 = 5,0 \times 1,8 \times 0,33 = 2,97 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

Ao longo das paredes, na região adjacente à via (fora da região considerada sob a ação da via), teremos o carregamento permanente apresentado na Figura 5. Este será utilizado no modelo estrutural espacial, entretanto, o dimensionamento será feito apenas na região de maiores solicitações, desta forma não haverá referência a esta situação nas solicitações e dimensionamentos.

Figura 5 – Distribuição dos empuxos dos aterros laterais fora da região da via. Vista em corte transversal.



$$g5 = h \times \gamma \times \kappa_a$$

$$g5 = 5 \times 1,8 \times 0,28 = 2,52 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de } Coulomb \text{ com } \delta = 20^\circ$$

$$g5 = 5 \times 1,8 \times 0,33 = 2,97 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

7.3 Aterro de 4 metros

7.3.1 Trilho, Dormente e Lastro

Para o cálculo da carga de trilho, dormente e lastro, dissipado ao longo da altura de 4m, foi considerado o espraio de cargas conforme os critérios da AREMA (Capítulo 8, Parte 16, Página 8-16-9), em proporção de 1:2 (horizontal/vertical) para cada lado. Assim, considerando a largura $b = 3,10$ metros, é obtido, a 4 metros, a largura de $b1 = 7,10$ metros na face superior da laje, conforme representado na Figura 6.

A carga do lastro mais trilhos sobre a laje superior, $g6$, será:

$$g6 = \frac{g2 \times b}{b1}$$

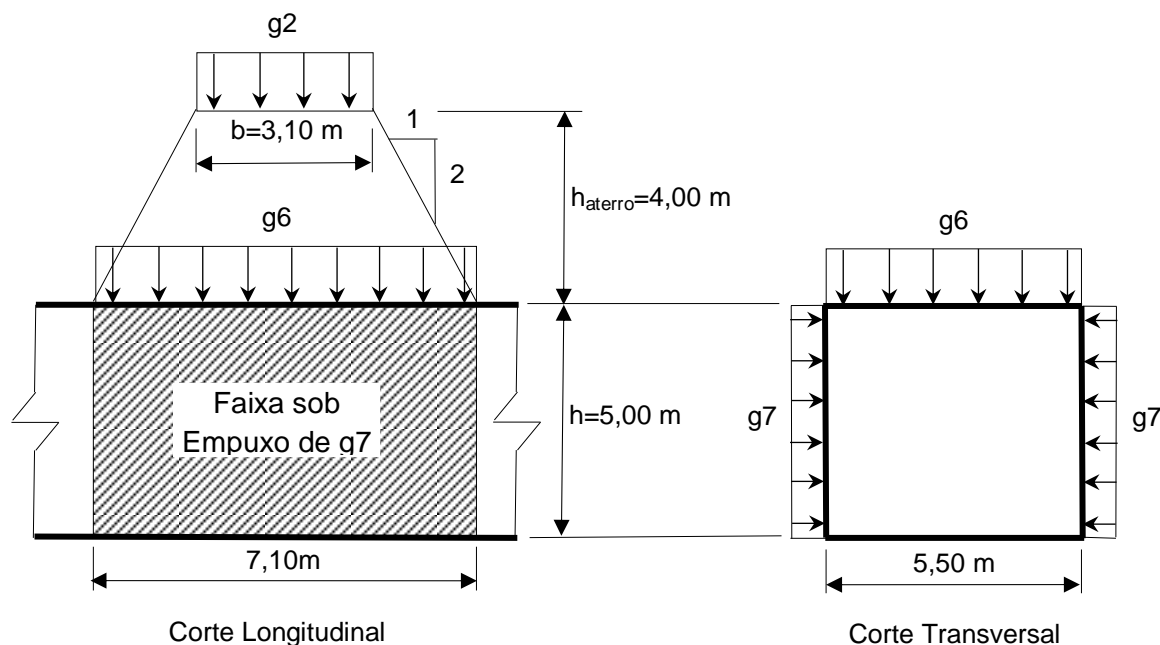
$$g6 = \frac{1,20 \times 3,10}{7,10} = 0,53 \text{ tf/m}^2$$

7.3.2 Empuxos e Aterro Superior

No carregamento permanente deve ser considerado ainda o empuxo lateral do aterro. A este deve ser adicionado o empuxo $g7$ que é proveniente da carga $g6$ que por sua vez advém do $g2$ (trilho, dormente e lastro). Conforme representado na Figura 6.

No corte longitudinal apresentado na Figura 6, está indicada a faixa de atuação da carga g6 na laje superior e a região de atuação do empuxo horizontal nas paredes, em largura constante de 7,10m.

Figura 6 – Distribuição da carga dos dormentes, trilhos e lastros sobre aterro de 4 metros.



Nas paredes a carga permanente da região da via produz o carregamento g7, a saber:

$$g7 = \kappa_a \times g6$$

$$g7 = 0,28 \times 0,53 = 0,15 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$g7 = 0,33 \times 0,53 = 0,17 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

A carga do aterro será aplicada em toda extensão do corpo da estrutura, sendo a altura do aterro $h_{\text{aterro}} = 4$ metros e a altura do aterro mais a altura da passagem de veículo $H = 9$ m.

$$g8 = \gamma \times h_{\text{aterro}}$$

$$g8 = 1,8 \times 4 = 7,2 \text{ tf/m}^2$$

$$g9 = \kappa_a \times g8$$

$$g9 = 0,28 \times 7,2 = 2,0 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$g9 = 0,33 \times 7,2 = 2,4 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

$$g10 = \kappa_a \times \gamma \times H$$

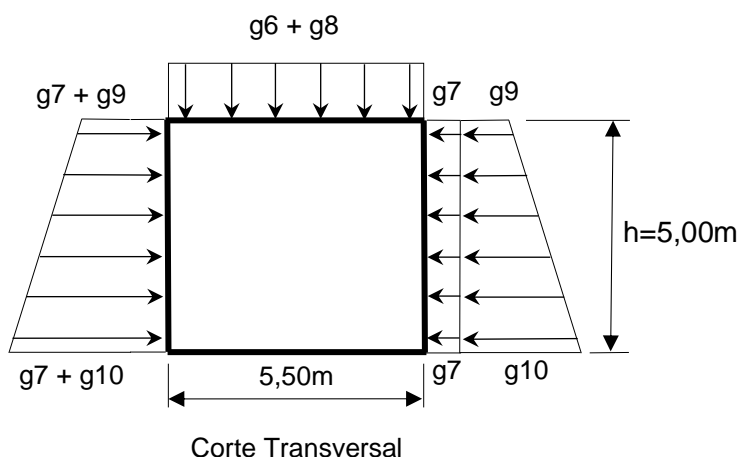
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	18/127

$$g_{10} = 0,28 \times 1,8 \times 9 = 4,5 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$g_{10} = 0,33 \times 1,8 \times 9 = 5,3 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

Na Figura 7 apresenta-se os carregamentos permanentes considerados atuantes na estrutura, associando g6, g7, g8, g9 e g10, decorrentes da via permanente e do aterro.

Figura 7 – Distribuição das cargas permanentes com aterro de 4 metros.



7.4 Pavimentação Laje Inferior

Para a carga de pavimentação foi aplicado o correspondente a pavimentação inicial com espessura de 7 centímetros, na parte mais espessa (para proporcionar caimento transversal), com 6 centímetros de espessura média e mais 0,2tf/m² de recomposição de pavimentação, conforme o item 7.1.2 da NBR-7187:2003, equivalente a 8 centímetros de recapeamento. Desta forma teremos o seguinte valor:

$$g_{\text{pav}} = (\gamma \times e_{\text{pavimentação}}) + 0,2$$

$$g_{\text{pav}} = (2,4 \times 0,06) + 0,2 = 0,34 \text{ tf/m}^2$$

A aplicação desta carga no modelo pode ser vista na Figura 68 do item 18.2.3.

8 Carga Móvel Ferroviária

8.1 Coeficiente de Impacto

Para o trem atuando diretamente sobre a superfície da laje superior, isto é, sem a presença de aterro, teremos apenas a brita do lastro. Nesta situação a fórmula proposta pela NBR-7187:2003 para vão de $l = 5,5$ metros indica o valor de:

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	19/127

$$\varphi = 0,001 \times (1600 - 60 \sqrt{l} + 2,25 \times l) \geq 1,2$$

$$\varphi = 0,001 \times (1600 - 60 \sqrt{5,5} + 2,25 \times 5,5) = 1,47 \geq 1,2$$

$$\varphi = 1,47$$

Para a situação com aterro de 4,00m, embora existam teorias de que o coeficiente de impacto deva ser reduzido quanto maior a profundidade da estrutura, a VALEC optou por utilizar o mesmo valor integral para majoração do carregamento ferroviário, a favor da segurança.

8.2 Aterro Nulo

Existem diversos critérios a serem considerados para distribuição da carga concentrada de cada eixo ou roda ao longo da espessura do lastro e do aterro. Para o TB360 a carga de cada eixo é $Q = 36 \text{ tf}$.

Para o presente projeto parte-se do critério proposto pela AREMA (*American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association*) no seu Manual for *Railway Engineering* (Capítulo 8, Parte 2, Seção 2.2 - Notations, Definitions and Design Loads, página 8-2-12), reproduzido em 19.2 Critério AREMA para Carga Móvel apud MANUAL FOR RAILWAY ENGINEERING, que adota:

a) No sentido transversal à via: as cargas móveis de uma via singela atua sobre a superfície do topo da estrutura com lastro ou sob preenchimento, deve ser assumido tendo uma distribuição lateral uniforme ao longo de uma largura igual ao comprimento do dormente, mais a profundidade do lastro e o preenchimento abaixo do dormente;

b) No sentido longitudinal à via: as cargas por eixo da estrutura podem ser assumidas uniformemente distribuídas longitudinalmente ao longo de um comprimento de 90 cm, mais a profundidade do lastro abaixo do dormente, mais duas vezes a efetiva profundidade até a laje, limitando, contudo, ao espaçamento entre os eixos.

Considerando-se que a Valec adota em suas linhas o dormente com comprimento de 2,80 metros e 28 centímetros de largura e a altura de lastro abaixo do dormente, de 30 centímetros, as medidas das regiões de distribuição de cargas resultam em: 1,20 metros longitudinais e 3,10 metros transversais.

Entretanto, a VALEC optou por considerar no lugar dos 90 centímetros, a largura de apenas um dormente com 28 centímetros. Considerando-se o espraçamento da carga na espessura de 30 centímetros do lastro, ainda conforme os critérios da AREMA, em proporção de 1:2 (horizontal:vertical) para cada lado, teremos $c = 58$ centímetros.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	20/127

Dessa forma a carga (q') distribuída sobre a laje superior da estrutura, numa faixa de $c = 58$ centímetros de largura por $b = 3,10$ metros de comprimento, considerando o coeficiente de impacto definido no item 8.1 que é de $\phi = 1,47$, resulta:

$$q' = \frac{Q \times \phi}{b \times c}$$

$$q' = \frac{36 \times 1,47}{3,10 \times 0,58} = 29,43 \text{ tf/m}^2$$

Essa será a carga distribuída do veículo tipo no nível da laje superior da estrutura sem altura de aterro sobre esta (aterro nulo).

Para o modelo estrutural, consideram-se duas ações do trem-tipo, sendo uma sobre a estrutura e a outra sobre o aterro adjacente à estrutura (aproximando da estrutura), como segue em 8.2.1 e 8.2.2. As combinações destas duas ações serão consideradas quando apresentadas as solicitações no item 11.

8.2.1 Trem Tipo Sobre a Laje Superior

Para a aplicação da carga móvel sobre a estrutura foi necessária consideração de carregamento para adequar à malha de grelha do modelo estrutural. A carga Q (definida no início do item 8.2) no sentido longitudinal do veículo tipo será dividida em duas cargas q_1 para aplicação em duas barras adjacentes do modelo estrutural, que têm o espaçamento de 50 cm, muito próximo à extensão de 58 cm calculada anteriormente no item 8.2. Esta carga q_1 , linear por barra será distribuída na largura b de influência do veículo tipo, calcula-se como segue.

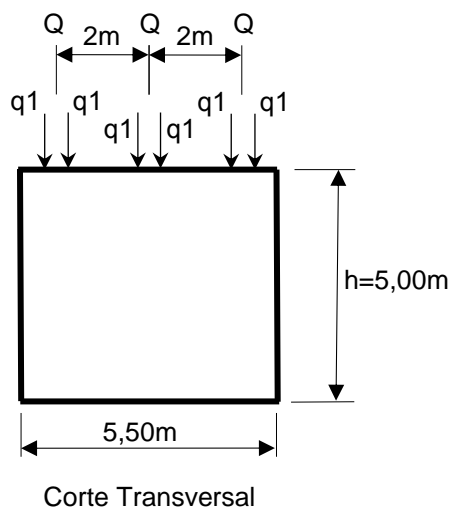
$$q_1 = \frac{Q \times \phi}{2 \times b}$$

$$q_1 = \frac{36 \times 1,47}{2 \times 3,10} = 8,53 \text{ tf/m}$$

O trem tipo (conforme definido na NBR 7189:1985) máximo sobre a laje superior será formado por três eixos resultando em três faixas de duas barras carregadas afastadas de eixo a eixo em 2 metros como mostra a Figura 8. A aplicação deste carregamento no modelo pode ser vista nas Figura 62 à Figura 65 apresentadas no item 18.2.2.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	21/127

Figura 8 - Distribuição da carga móvel para trem tipo centrado, vista em corte transversal.



8.2.2 Trem Tipo Sobre o Aterro

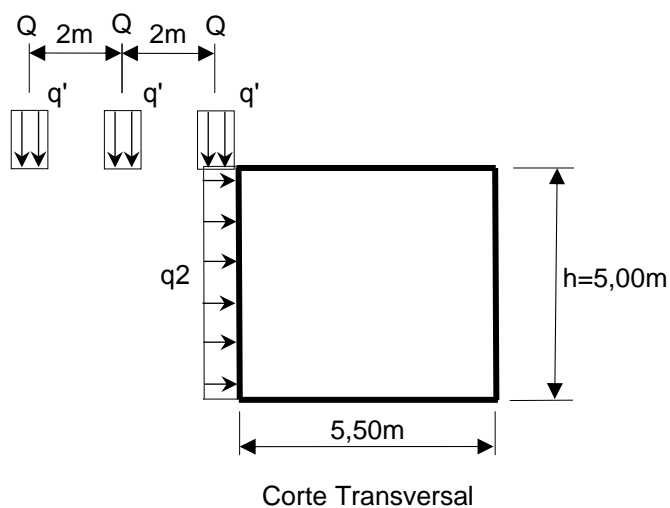
Para a aplicação da carga móvel sobre o aterro adjacente à estrutura foi considerada a carga q' conforme Figura 9. Em decorrência deste posicionamento, calcula-se o efeito de empuxo representado pela carga q_2 conforme segue.

$$q_2 = q' \times \kappa_a$$

$$q_2 = 29,43 \times 0,28 = 8,24 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de } Coulomb \text{ com } \delta = 20^\circ$$

$$q_2 = 29,43 \times 0,33 = 9,71 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de } Rankine$$

Figura 9 – Distribuição da carga móvel para trem tipo sobre aterro, vista em corte transversal.



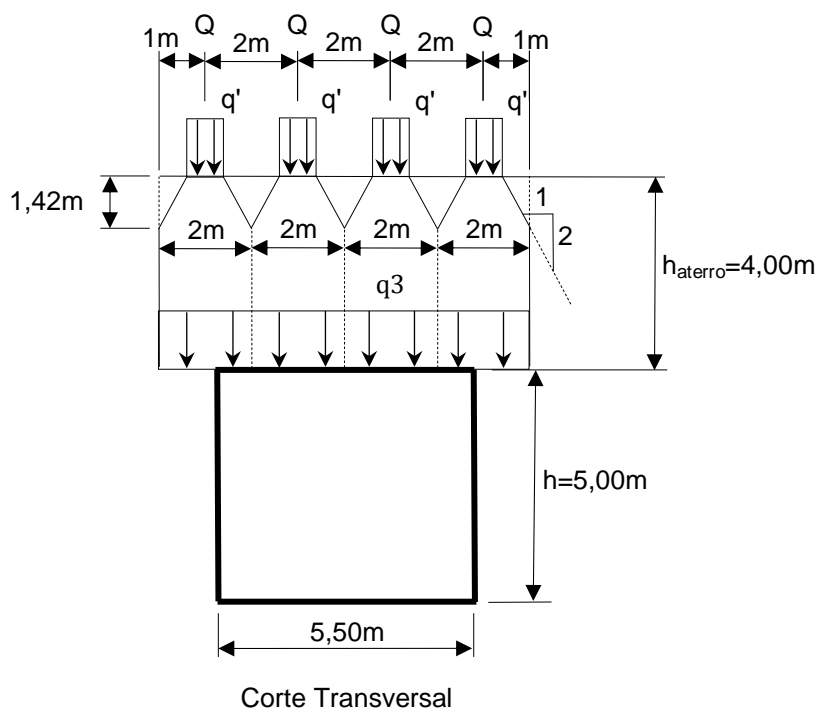
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	22/127

8.3 Aterro de 4 metros

Para a distribuição longitudinal dos eixos ferroviários, parte-se da extensão de 58 centímetros conforme definido no item 8.2, mantendo-se a distribuição na proporção de 1h:2v no aterro, até o ponto onde a área de influência de um eixo interfere com a área do eixo adjacente ou o extremo do veículo tipo.

Para o veículo tipo da NBR 7189:1985 que tem a distância de 2,0 metros entre eixos a interferência ocorre em 1,42 metros de profundidade de aterro. A partir desta profundidade a distribuição longitudinal das cargas ocorrerá na extensão constante de 2,0 metros para cada eixo. Como ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Distribuição longitudinal do Trem Tipo.



Este critério de distribuição corrobora com a especificação feita pela AREMA (Capítulo 8, Parte 2, Seção 2.2 - Notations, Definitions and Design Loads, página 8-2-12 e Capítulo 8, Parte 16).

Adotando coeficiente de impacto $\varphi = 1,47$ conforme apresentado no item 8.1, distância entre eixos $b2 = 2,00m$ e faixa longitudinal da estrutura, igual a definida no item 7.3.1, para influência do Trem Tipo $b1 = 7,10m$.

$$q3 = \frac{\varphi \times Q}{b2 \times b1}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	23/127

$$q_3 = \frac{1,47 \times 36}{2,00 \times 7,10} = 3,72 \text{ tf/m}^2$$

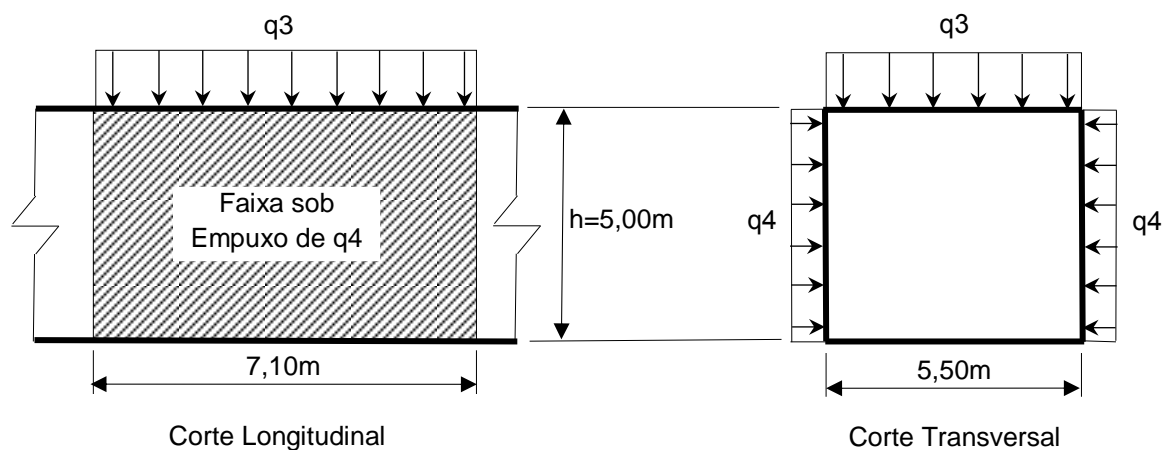
Nas paredes a carga móvel da região da via produz o carregamento q_4 , a saber:

$$q_4 = q_3 \times \kappa_a$$

$$q_4 = 3,72 \times 0,28 = 1,04 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Coulomb com } \delta = 20^\circ$$

$$q_4 = 3,72 \times 0,33 = 1,23 \text{ tf/m}^2 \text{ Para o método de Rankine}$$

Figura 11 – Distribuição da carga móvel com aterro de 4 metros.



9 Carga Móvel Rodoviária

A carga adotada foi a correspondente ao TB450 da NBR-7188:2013, com a simplificação da carga distribuída na região do veículo e compensação na carga por roda do veículo tipo.

Cada roda é 7,5 tf, a área ocupada pelo veículo é 3,0 x 6,0 m resultando em 18 m². Ao considerarmos a carga distribuída (de 0,5tf/m²) atuando em toda a área, inclusive na área de projeção do veículo (de 3 x 6 m = 18 m²), teremos, nesta, uma carga total de 18 x 0,5 = 9 tf. Se dividirmos pelo número de rodas do veículo, que são 6, podemos considerar na posição de cada roda o valor reduzido de $P = 7,5 - (9 / 6) = 6,0$ tf.

Como se trata de laje diretamente em contato com o solo, não se aplicaria coeficiente de impacto. Por solicitação da Valec, foi adotado um coeficiente de impacto correspondente a um vão de 5,50 metros, a distância entre as paredes verticais.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	24/127

De acordo com o item 5.1.2.1 da NBR-7188:2013 o coeficiente de impacto vertical será $\phi = 1,35$, o coeficiente de número de faixas, considerando-se duas faixas, será 1, não alterando o coeficiente.

Para atender a NBR 7188:2013, item 5.1.2.3, deve-se aplicar o coeficiente de impacto adicional, na extensão de 5,00m a partir das juntas da estrutura, que majora o anterior em 1,25, resultando então em $\phi = 1,35 \times 1,25 = 1,69$.

No entanto, para estruturas curtas esse critério pode atingir toda a extensão da passagem, por isso adotou-se o impacto majorado em toda a extensão da laje inferior. Assim resulta como segue.

Carga distribuída:

$$q = 0,5 \times \phi$$

$$q = 0,5 \times 1,69 = 0,85 \text{ tf/m}^2$$

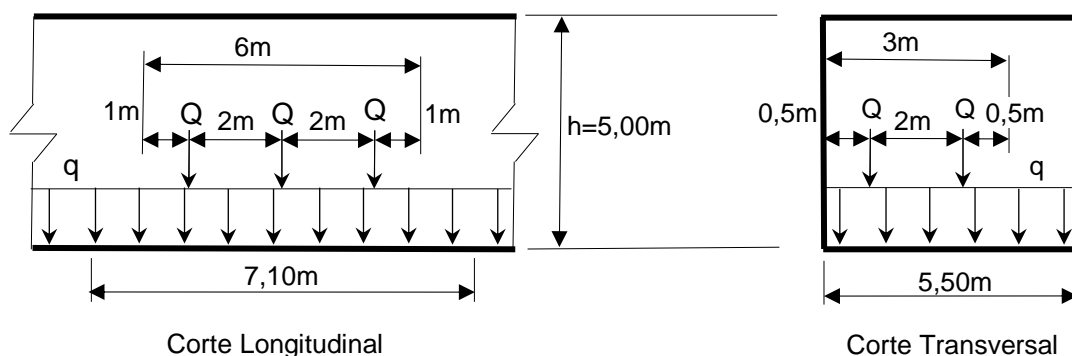
Carga concentrada:

$$Q = P \times \phi$$

$$Q = 6 \times 1,69 = 10,14 \text{ tf}$$

Na Figura 12 é representada uma distribuição das cargas rodoviárias aplicada na estrutura. Foram aplicadas ainda situações com o veículo tipo nas bordas longitudinalmente e centrado transversalmente.

Figura 12 – Distribuição da carga móvel rodoviária.



No modelo pode ser visualizada as cargas rodoviárias aplicadas na Figura 67 e Figura 68 do item 18.2.3.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	25/127

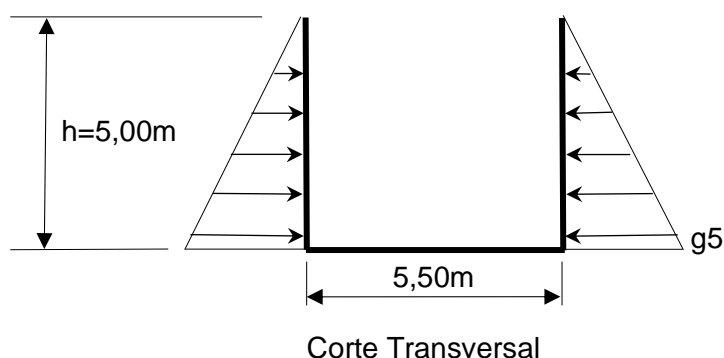
10 Cargas nas Alas

Para as alas, formadas com paredes e laje inferior, nas extremidades, a situação geral de cargas ficará muito aliviada. Não existirá a laje superior, o aterro sobre a laje e as demais cargas transmitidas pela laje superior.

Apenas restará o empuxo lateral do aterro sobre as paredes e o veículo rodoviário tipo TB450 sobre a laje inferior. O item 18.2.4 mostra a aplicação destes dois carregamentos no modelo utilizado na análise.

O empuxo aplicado na parede da boca será g_5 , definida em 7.2.2, representada na Figura 5 e reapresentada na geometria das alas na Figura 13, na extremidade junto ao corpo, reduzindo de intensidade conforme a variação da altura da parede. A Figura 71 do item 18.2.4 mostra essa carga aplicada.

Figura 13 – Distribuição dos empuxos dos aterros laterais. Vista em corte transversal.



A carga móvel rodoviária na laje inferior é a mesma definida em 9 e a Figura 70 do item 18.2.4 apresenta a aplicação no modelo.

11 Solicitações

Para obtenção das solicitações foram consideradas as combinações que causaram maiores solicitações. Para isto foram feitas comparações de resultados e análise das superfícies de influência, as quais foram reproduzidas no item 18.1 apenas para conhecimento, mesmo que não haja condições de utilização para as deduções precisas que se fez diretamente no software.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	26/127

11.1 Momentos Transversais

11.1.1 Considerações Gerais

Para considerar adequadamente as solicitações mais significativas na seção transversal foi separado inicialmente, o tratamento da situação com aterro nulo sobre a laje superior da outra situação extrema, com aterro de 4 metros. Para cada uma dessas duas grandes divisões de situação de uso foram identificados os carregamentos definidos em 7.2 e 8.2 (para aterro nulo) e em 7.3 e 8.3 (para aterro máximo de 4 metros sobre a laje superior).

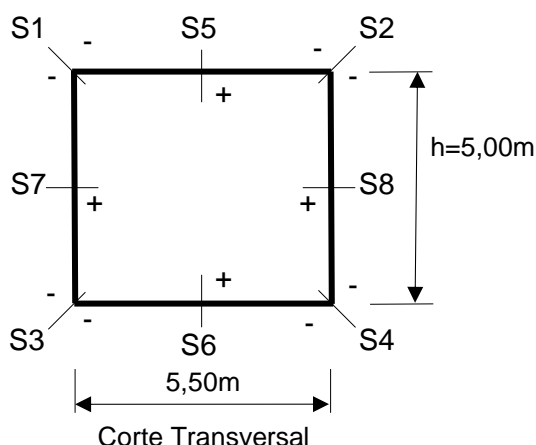
Para determinar os momentos de cálculo “Md” extremos foram combinados os carregamentos dos itens 7, 8 e 9, com os coeficientes de majoração aplicáveis à cada carga.

Os coeficientes de majoração adotados foram 1,35 para cargas permanentes desfavoráveis, 1,00 para cargas permanentes favoráveis e 1,50 para cargas móveis ferroviárias e rodoviárias.

Para apresentação dos resultados no sentido transversal, foram definidas seções de referência indicadas na Figura 14 em seção transversal.

Para convenção de sinais foram considerados positivos os momentos que produzem tração na face interior à passagem e negativos os da face oposta.

Figura 14 – Seções de referência para determinação da armadura transversal de flexão. Vista em corte transversal.



Os resultados estão apresentados nas Tabela 1 à Tabela 4, onde constam as solicitações por etapa de carregamento e respectivas combinações que são descritas a seguir.

PP – Correspondente a apenas o peso próprio (g_1), definido em 7.1.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	27/127

VIA_0_CO e VIA_0_RA – Correspondentes, para a situação de aterro nulo, à Via Permanente (g2), definido em 7.2.1. Inclui ainda o empuxo lateral do aterro, definido em 7.2.2 (g3 a g5), considerando, respectivamente, o método de *Coulomb* (CO) com $\delta = 20^\circ$ e o método de *Rankine* (RA).

VIA_4_CO e VIA_4_RA – Correspondentes, para a situação de aterro de 4 m, à Via Permanente (g6 e g7), definidos em 7.3.1 e 7.3.2. Inclui ainda o empuxo lateral do aterro, definido em 7.3.2 (g8, g9 e g10), considerando, respectivamente, o método de *Coulomb* (CO) com $\delta = 20^\circ$ e o método de *Rankine* (RA).

FerrCen_0_CO e FerrCen_0_RA – Correspondentes, para a situação de aterro nulo, ao trem tipo ferroviário centrado, q1 definido em 8.2.1. Aplica-se ainda o empuxo q2, definido no item 8.2.2, nas duas paredes, considerando, respectivamente, o método de *Coulomb* (CO) com $\delta = 20^\circ$ e o método de *Rankine* (RA).

FerrCen_4_CO e FerrCen_4_RA – Correspondentes, para a situação de aterro de 4m, ao trem tipo ferroviário centrado, q3 definido em 8.3. Aplica-se ainda o empuxo q4, definido no mesmo item, nas duas paredes, considerando, respectivamente, o método de *Coulomb* (CO) com $\delta = 20^\circ$ e o método de *Rankine* (RA).

FerrEntr_0_CO e FerrEntr_0_RA – Correspondentes, para a situação de aterro nulo, ao trem tipo ferroviário entrando sobre a estrutura. É aplicado o empuxo q2 definido no item 8.2.2 apenas em uma parede e q1 definido em 8.2.1, considerando, respectivamente, o método de *Coulomb* (CO) com $\delta = 20^\circ$ e o método de *Rankine* (RA).

As combinações FerrCen_0 e FerrEntr_0 envolvem as situações possíveis de posicionamento do trem tipo ferroviário que geram as maiores solicitações.

PAV – Corresponde a pavimentação e recapeamento da pista rodoviária sobre a laje inferior definido no item 7.4.

ROD – Corresponde a trem tipo rodoviário definido no item 9.

11.1.2 No Centro do Corpo – Aterro Nulo

A Tabela 1 combina as solicitações encontradas nas seções de referência na região central do corpo.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	28/127

Tabela 1 – Momentos / Centro dos corpos sem aterro.

MOMENTOS tf.m/barra

CASOS CARREG.	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
PP	-0,66	-0,66	-1,61	-1,61	1,66	3,16	-1,14	-1,14
VIA_0_CO	-1,35	-1,35	-1,06	-1,06	0,14	-0,53	1,29	1,29
VIA_0_RA	-1,50	-1,50	-1,20	-1,20	0,00	-0,70	1,60	1,60
FerrCen_0_CO	-7,85	-7,85	-4,52	-4,52	3,74	0,26	3,30	3,30
FerrCen_0_RA	-8,50	-8,50	-5,10	-5,10	3,50	-0,10	4,20	4,20
FerrEntr_0_CO	-7,37	-5,44	-5,36	1,33	4,41	0,45	3,08	-0,97
FerrEntr_0_RA	-7,82	-5,55	-6,32	1,58	4,30	0,30	3,88	-0,92
PAV	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	-0,03	0,00	0,00
ROD	-0,21	-0,21	1,17	1,17	-0,07	-2,38	0,24	0,24
MÁX. Md / barra	-0,66	-0,66	0,15	1,32	9,05	4,41	7,68	7,68
MÍN. Md / barra	-15,98	-15,98	-13,27	-11,44	1,56	-1,55	4,70	-1,70

11.1.3 Nas Extremidades do Corpo – Aterro Nulo

A Tabela 2 combina as solicitações encontradas nas seções de referência nas extremidades do corpo.

Tabela 2 – Momentos / Extremidade dos corpos sem aterro.

MOMENTOS tf.m/barra

CASOS CARREG.	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
PP	-0,80	-0,80	-1,60	-1,60	1,50	2,70	-0,80	-0,80
VIA_0_CO	-1,44	-1,44	-1,29	-1,29	0,50	-0,05	1,06	1,06
VIA_0_RA	-1,50	-1,50	-1,50	-1,50	0,40	-0,10	1,30	1,30
FerrCen_0_CO	-9,53	-9,53	-6,88	-6,88	4,72	1,67	4,20	4,20
FerrCen_0_RA	-9,70	-9,70	-7,30	-7,30	4,50	1,50	4,90	4,90
FerrEntr_0_CO	-6,33	-8,71	-9,73	2,15	6,10	2,66	3,13	-1,03
FerrEntr_0_RA	-6,40	-9,20	-11,40	2,70	5,90	2,60	4,00	-0,90
PAV	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	-0,03	0,00	0,00
ROD	-0,21	-0,21	1,17	1,17	-0,07	-2,38	0,24	0,24
MÁX. Md / barra	-0,80	-0,80	-1,57	0,18	11,85	7,59	8,67	8,67
MÍN. Md / barra	-17,97	-17,97	-21,29	-15,14	1,40	0,45	3,11	-1,57

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

29/127

11.1.4 No Centro do Corpo – Aterro Máximo 4 metros

A Tabela 3 combina as solicitações encontradas nas seções de referência na região central do corpo.

Tabela 3 – Momentos / Centro do corpo com aterro de 4m.

MOMENTOS tf.m/barra

CASOS CARREG.	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
PP	-0,66	-0,66	-1,61	-1,61	1,66	3,16	-1,14	-1,14
VIA_4_CO	-7,05	-7,05	-5,11	-5,11	7,50	6,32	-0,62	-0,62
VIA_4_RA	-7,30	-7,30	-5,50	-5,50	7,20	6,00	0,00	0,00
FerrCen_4_CO	-3,31	-3,31	-0,73	-0,73	3,21	1,04	0,00	0,00
FerrCen_4_RA	-3,40	-3,40	-0,90	-0,90	3,10	1,00	0,00	0,00
PAV	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	-0,03	0,00	0,00
ROD	-0,21	-0,21	1,17	1,17	-0,07	-2,38	0,24	0,24
MAX. Md / barra	-0,66	-0,66	0,17	0,17	17,18	14,36	-0,78	-0,78
MIN. Md / barra	-16,16	-16,16	-10,95	-10,95	1,56	-0,45	-2,38	-2,38

11.1.5 Nas Extremidades do Corpo – Aterro Máximo 4 metros

A Tabela 4 combina as solicitações encontradas nas seções de referência nas extremidades do corpo.

Tabela 4 – Momentos / Extremidade do corpo com aterro de 4 metros.

MOMENTOS tf.m/barra

CASOS CARREG.	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
PP	-0,80	-0,80	-1,60	-1,60	1,50	2,70	-0,80	-0,80
VIA_4_CO	-7,37	-7,37	-5,41	-5,41	7,37	5,70	0,13	0,13
VIA_4_RA	-7,60	-7,60	-5,80	-5,80	7,10	5,50	0,60	0,60
FerrCen_4_CO	-3,41	-3,41	-1,74	-1,74	3,67	2,28	-0,16	-0,16
FerrCen_4_RA	-3,50	-3,50	-1,90	-1,90	3,60	2,20	-0,30	-0,30
PAV	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	-0,03	0,00	0,00
ROD	-0,21	-0,21	1,17	1,17	-0,07	-2,38	0,24	0,24
MAX. Md / barra	-0,80	-0,80	-1,60	-1,60	17,48	14,76	0,07	0,07
MIN. Md / barra	-16,91	-16,91	-12,84	-12,84	1,40	-0,91	-0,93	-0,93

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	30/127

11.2 Momentos Longitudinais

Os esforços máximos nesta direção, que são de pequenos valores comparados com os momentos transversais, e o posicionamento dos carregamentos mais desfavoráveis foram definidos comparando as superfícies de influência que estão ilustradas nos itens 18.1.1 e 18.1.3.

11.2.1 Positivos e Negativos da Laje Superior

Para a laje superior as maiores solicitações surgem na região central quando aplicadas as cargas permanentes do lastro, dormentes e trilhos indicadas no item 7 e as cargas móveis indicadas no item 8. Assim, obtêm-se as solicitações da Figura 78 e Figura 79 do item 18.3. Sendo a distância entre as barras igual a 50 cm, teremos:

$$M_g = 0,40 \text{ tfm/barra} \quad M_g = 0,80 \text{ tfm/m}$$

$$M_q = 2,01 \text{ tfm/barra} \quad M_q = 4,02 \text{ tfm/m}$$

$$M_d = 1,35 \times 0,80 + 1,5 \times 4,02 = 7,11 \text{ tfm/m}$$

11.2.2 Positivos e Negativos da Laje Inferior

Para a laje inferior os esforços máximos na direção longitudinal são produzidos pela carga móvel rodoviária (definida em 9) considerando apenas as rodas do veículo tipo sem considerar a carga distribuída de multidão. Essa é a situação capaz de produzir o máximo desequilíbrio da carga longitudinal sobre a laje inferior e assim provocar o aparecimento de momentos fletores nessa direção. Por segurança considerou-se a solicitação de carga permanente da laje superior também para a laje inferior. Sendo a distância entre as barras igual a 50 cm, teremos:

$$M_g = 0,40 \text{ tfm/barra} \quad M_g = 0,80 \text{ tfm/m}$$

$$M_q = 0,68 \text{ tfm/barra} \quad M_q = 1,36 \text{ tfm/m}$$

$$M_d = 1,35 \times 0,80 + 1,5 \times 1,36 = 3,12 \text{ tfm/m}$$

11.3 Esforços Cortantes

Nas Figura 86 à Figura 89 do item 18.3.2 temos os valores dos esforços cortantes para a situação de aterro de 4m, reproduzidos na Tabela 5 a seguir, onde a Seção S1 é a extremidade da laje superior e a Seção S3 é a extremidade da laje inferior, à semelhança da representação feita na Figura 14 do item 11.1.1.

Da mesma forma que para os momentos, os valores de cortante decorrentes das cargas permanentes são somados, para obtenção dos mínimos e máximos, com fator de majoração

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	31/127

1,35 se desfavoráveis e 1,00 se favoráveis e o cortante das cargas móveis é somado com majoração de 1,50 somente se desfavoráveis.

A situação de cortante com o veículo tipo ferroviário sobre a laje superior com aterro nulo pode ser descartada comparando-se os resultados apresentados nas Figura 90 e Figura 87, onde, respectivamente, pode-se perceber que apenas o cortante do aterro de 4 m (máximo de 9,9 t) já representa a quase totalidade da equivalência do cortante advindo do veículo sem aterro (máximo de 10,8 t). Considera-se ainda que, para a comparação completa, devem-se somar os resultados do veículo sobre o aterro (máximo de 5,1 t) conforme apresentado na Figura 89.

Tabela 5 – Cortantes máximos nas lajes inferior e superior.

CORTANTE

<u>CASOS CARREG.</u>	<u>SEÇÕES</u>	
	<u>S1</u>	<u>S3</u>
PP	-1,70	-3,50
VIA_4_RA	-11,20	-8,00
FerrCen_4_RA	-5,10	-1,30
PAV	0,00	0,10
ROD	0,00	4,90
MAX. Qd / barra	-1,70	3,95
MIN. Qd / barra	-25,07	-17,48
MAX. Qd / m	-3,40	7,90
MIN. Qd / m	-50,13	-34,95

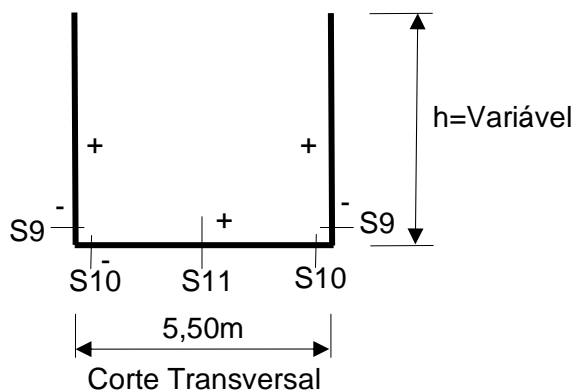
11.4 Nas Alas

Nas Figura 98, Figura 100 e Figura 104 do item 18.3.4, temos imagens 3D das solicitações provocadas respectivamente pelo empuxo de terra, pela carga móvel e pelo peso próprio mais a pavimentação.

Nas Figura 101, Figura 102 e Figura 103 do item 18.3.4, para maior clareza do efeito da carga móvel, temos respectivamente uma vista frontal do pórtico 1 que corresponde à primeira barra próxima à junta, do pórtico 2 que corresponde à segunda barra e do pórtico 3 que corresponde à terceira barra.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	32/127

Figura 15 – Seções de referência nas alas para determinação da armadura transversal de flexão. Vista em corte transversal.



As Tabela 6,

Tabela 7 e Tabela 8, a seguir, fazem a composição dos momentos de cálculo a considerar no dimensionamento das seções S9, S10 e S11, representadas na Figura 15, respectivamente na base da parede, na extremidade da laje e no centro da laje de fundo, para cada um dos 3 pórticos transversais mais solicitados.

Tabela 6 – Momentos nas Alas – Pórtico 1.

MOMENTOS tf.m

<u>PÓRTICO 1</u>	<u>SEÇÕES</u>		
	<u>S9</u>	<u>S10</u>	<u>S11</u>
PP+PAVIMENTAÇÃO	0,30	0,40	-1,70
ATERRO	2,30	2,10	1,30
RODOVIÁRIO	0,60	1,10	1,20
MÁX. Md / barra	4,41	5,03	1,86
MÍN. Md / barra	0,30	0,40	-2,30
MÁX. Md / m	8,82	10,05	3,71
MÍN. Md / m	0,60	0,80	-4,59

Tabela 7 – Momentos nas Alas – Pórtico 2.

MOMENTOS tf.m

<u>PÓRTICO 2</u>	<u>SEÇÕES</u>		
	<u>S9</u>	<u>S10</u>	<u>S11</u>
PP+PAVIMENTAÇÃO	0,30	0,30	-1,60
ATERRO	2,00	2,00	1,30
RODOVIÁRIO	0,30	1,40	1,60
MÁX. Md / barra	3,56	5,21	2,56
MÍN. Md / barra	0,30	0,30	-2,16
MÁX. Md / m	7,11	10,41	5,11
MÍN. Md / m	0,60	0,60	-4,32

Tabela 8 – Momentos nas Alas – Pórtico 3.

MOMENTOS tf.m

<u>PÓRTICO 3</u>	<u>SEÇÕES</u>		
	<u>S9</u>	<u>S10</u>	<u>S11</u>
PP+PAVIMENTAÇÃO	0,30	0,30	-1,50
ATERRO	2,10	1,80	1,20
RODOVIÁRIO	0,30	0,80	1,10
MÁX. Md / barra	3,69	4,04	1,77
MÍN. Md / barra	0,30	0,30	-2,03
MÁX. Md / m	7,38	8,07	3,54
MÍN. Md / m	0,60	0,60	-4,05

12 Dimensionamentos

12.1 Considerações Gerais

Para determinar as armaduras de flexão transversal, devemos considerar as solicitações principais em cada seção de referência, identificada na Figura 14 apresentada no item 11.1.1, que podem ser selecionadas comparando os resultados da Tabela 1 e Tabela 3 para o corpo da estrutura. Esse dimensionamento é feito no item 12.2.

Para o reforço das extremidades, as solicitações que interessam são as da Tabela 2 e Tabela 4. Esse dimensionamento é feito no item 12.3.

Para as armaduras no sentido longitudinal, as solicitações maiores correspondem ao carregamento do lastro, trilho e carga móvel diretamente sobre a laje, isto é, com aterro zero. A armadura longitudinal também deve atender aos critérios de armadura de distribuição, que são armadura mínima da seção na direção secundária e armadura de pele para evitar fissuras. Esse dimensionamento é apresentado no item 12.4.

No item 12.5 é apresentado o dimensionamento ao cortante das lajes superior e inferior.

A seguir, antes dos dimensionamentos, descrevem-se as ferramentas computacionais e as teorias utilizadas.

12.1.1 Calculadora à flexão TQS

Para os dimensionamentos de As necessário será utilizada a calculadora a flexão do TQS com os seguintes critérios.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	34/127

O dimensionamento foi realizado à flexão simples. O tipo de seção considerada pode ser retangular ou seção T. O dimensionamento pode resultar em armadura simples ou dupla, tanto para seção retangular como T.

Tipo de aço considerado: CA-50A.

Tipo de concreto considerado: C30.

A armadura de compressão pode assumir valores quaisquer. Avisos são emitidos quando esta armadura de compressão atinge valores superiores ao limite de 0,33 da armadura principal, porém apresenta a solução de equilíbrio da seção.

São adotadas as seguintes hipóteses básicas no dimensionamento:

- As seções transversais permanecem planas (significa que o diagrama de deformações unitárias é linear).
- Despreza-se qualquer contribuição do concreto tracionado.
- Dimensionamento na ruptura – preferencialmente usando o Domínio 3 da NBR 6118:2014.
- Encurtamento de ruptura do concreto é de 3,4 por mil.
- Alongamento máximo da armadura de tração é de 10 por mil.
- Distribuição das tensões do concreto na seção se faz de acordo com o diagrama parábola-retângulo, substituindo-se este diagrama pelo retângulo de altura $0,8x$ com a tensão de $0,85 f_{cd}$.
- A tensão na armadura é determinada a partir de sua deformação unitária conforme a correspondência estabelecida pelo diagrama tensão-deformação do aço.
- Valores limites de altura da linha neutra para o dimensionamento podem ser definidos e foram limitados em 0,6 da seção (ou 0,4 para a seção comprimida).

Com base nas hipóteses acima, para a determinação dos valores de A_s , basta fazer a aplicação das equações de equilíbrio (força normal e momento fletor) e de compatibilidade na seção.

Para isso o programa segue as formulações apresentadas na publicação “Flexão Simples e Composta” – EPUSP – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações – Autores: Prof. Dr. Péricles Brasiliense Fusco – 1976, *apud* manual TQS.

As fórmulas de A_s equivalentes às da calculadora TQS são as apresentadas a seguir, sendo que para estas fórmulas as unidades devem ser em kgf e cm:

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	35/127

$$K_c = \frac{d}{\sqrt{(Mk/b)}}$$

$$n = 0,68 \times (K_c^2) \times \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$K = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,24}{n}} \right)$$

$$A_s = \frac{0,68 \times K \times 0,7143 \times f_{ck} \times d \times b}{\left(\frac{f_{yk}}{1,15} \right)}$$

Como os valores de solicitações determinados no modelo foram obtidos como uma discretização com barras de 50 centímetros de comprimento e espaçamento, os valores calculados devem ser multiplicados por 2 para se obter a solicitação por metro de largura da laje ou da parede.

Por outro lado, ao usar a calculadora TQS para armadura de flexão ou as fórmulas apresentadas, que já tem embutido o coeficiente geral de majoração de 1,4, os “Md” calculados nas tabelas, devem ser divididos por esse majorador para informar o momento fletor característico.

12.1.2 Calculadora de cortante TQS

A NBR 6118:2003 introduziu nova sistemática de cálculo de força cortante. Este cálculo é do mesmo tipo efetuado em vigas, a menos de duas exceções:

- Não há armadura mínima de cortante em lajes;
- A resistência dos estribos está limitada a 250 MPa para lajes de espessura menor ou igual a 15 cm e 435 MPa para lajes maiores de 35 cm.

Então, para dispensa de armadura para força cortante, podemos aplicar as prescrições do item 19.4.1 da atual NBR 6118:2014:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

Sendo:

V_{Sd} força cortante solicitante de cálculo, na seção

$$f_{ct,m} = 0,3 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times f_{ct,m}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$$T_{Rd} = 0,25 \times f_{ctd}$$

A_{S1} é a área da armadura de tração

b_w é a largura mínima da seção ao longo da altura útil d

$$\rho_1 = \frac{A_{S1}}{b_w \times d}, \text{ não maior que } |0,02|$$

k é um coeficiente que tem os seguintes valores:

- para elementos onde 50 % da armadura inferior não chega até o apoio: $k = |1|$;
- para os demais casos: $k = |1,6 - d|$, não menor que $|1|$, com d em metros;

Desconsiderando tensões de compressão longitudinal, exclui-se da fórmula de norma a parcela $0,15 \times \sigma_{cp}$, por não haver tensões de compressão consideráveis advindas principalmente de protensão, resultando:

$$V_{Rd1} = [T_{Rd} \times k \times (1,2 + 40 \times \rho_1)] \times b_w \times d$$

Se esta verificação ($V_{Sd} \leq V_{Rd1}$) for falsa, ou seja, V_{Sd} maior que V_{Rd1} , haverá a necessidade de outra verificação, antes da determinação da armadura necessária:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

Sendo:

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d$$

Se esta equação ($V_{Sd} \leq V_{Rd2}$) não for satisfeita, a seção não tem dimensionamento. Por outro lado, se for satisfeita significa que a biela comprimida resiste e pode ser calculada a armadura de cortante necessária.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	37/127

O cálculo segue as formulações conforme o item 17.4.2.2 da NBR 6118:2014, pelo modelo de cálculo I.

Sendo:

A_{sw} a área da armadura transversal, s o espaçamento e f_{ywd} a tensão na armadura transversal.

A resistência do aço dos estribos é adotada (f_{ywd} – conforme item 19.4.2 da NBR 6118:2014) com os seguintes valores máximos, sendo interpolado linearmente no intervalo de espessura:

- 250 MPa para lajes com espessura até 15 cm
- 435 MPa para lajes com espessura maior que 35 cm

E desconsiderando o fator da fórmula de norma para estribos inclinados, que para os verticais resulta em 1.

$$V_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} \times 0,9 \times d \times f_{ywd}$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

12.2 Armadura de Flexão Transversal – Região Central do Corpo

Na direção principal (transversal) deve ser considerado que a armadura mínima (Conforme Tabela 17.3 da NBR 6118:2014) será a seguinte, considerando a largura “b” e a espessura “e”.

$$A_{s_{min}} = 0,0015 \times b \times e = 0,0015 \times 100 \times 45 = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Pela calculadora de flexão da TQS, a qual utiliza formulas semelhantes às que foram apresentadas no item 12.1.1, essa armadura, com altura útil $d = 41,2$ cm e largura de $b = 100$ cm, corresponde a um momento característico (para aplicação do coeficiente de majoração de 1,4) $M_k = 8,47 \text{ tfm/m} = 847000 \text{ kgf.cm/m}$ ou a um momento de dimensionamento por barras do modelo $M_d = \frac{8,47}{2} \times 1,4 = 5,93 \text{ tf.m/barra}$ (para comparação com os resultados do modelo).

Considerando o momento M_k acima e calculando pelas fórmulas apresentadas, verifica-se:

$$K_c = \frac{d}{\sqrt{(M_k/b)}} = \frac{41,2}{\sqrt{(847000/100)}} = 0,4477$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa} = 300 \text{ kgf/cm}^2$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	38/127

$$n = 0,68 \times (Kc^2) \times \frac{f_{ck}}{1,4} = 0,68 \times 0,4477^2 \times \frac{300}{1,4} = 29,20$$

$$K = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,24}{n}} \right) = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,24}{29,20}} \right) = 0,0489$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A_s = \frac{0,68 \times K \times 0,7143 \times f_{ck} \times d \times b}{\left(\frac{f_{yk}}{1,15} \right)} = \frac{0,68 \times 0,0489 \times 0,7143 \times 300 \times 41,2 \times 100}{\left(\frac{5000}{1,15} \right)} = 6,75 \text{ cm}^2$$

Portanto, para momentos, apresentados na tabela, inferiores a esse mínimo não será apresentado o dimensionamento por estar coberto pela armadura mínima.

A seguir a Tabela 9 e a Tabela 10 que são resumos dos máximos e mínimos dos itens 11.1.2 e 11.1.4 e devem ser combinadas para o dimensionamento das seções definidas na Figura 14 em 11.1.1.

Tabela 9 (Resumo da Tabela 1) – Momentos / Centro dos corpos sem aterro.

	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
MAX. Md / barra	-0,66	-0,66	0,15	1,32	9,05	4,41	7,68	7,68
MÍN. Md / barra	-15,98	-15,98	-13,27	-11,44	1,56	-1,55	4,70	-1,70
MAX. Md / m	-1,32	-1,32	0,29	2,63	18,09	8,82	15,36	15,36
MÍN. Md / m	-31,96	-31,96	-26,55	-22,89	3,11	-3,09	9,40	-3,41

Tabela 10 (Resumo da Tabela 3) – Momentos / Centro do corpo com aterro de 4 metros.

	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
MAX. Md / barra	-0,66	-0,66	0,17	0,17	17,18	14,36	-0,78	-0,78
MÍN. Md / barra	-16,16	-16,16	-10,95	-10,95	1,56	-0,45	-2,38	-2,38
MAX. Md / m	-1,32	-1,32	0,34	0,34	34,36	28,72	-1,56	-1,56
MÍN. Md / m	-32,32	-32,32	-21,90	-21,90	3,11	-0,90	-4,75	-4,75

Combinando os resultados da Tabela 9 e da Tabela 10 temos as seguintes solicitações e armaduras para atender as seções de referência.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	39/127

Para $d = 41,2\text{cm}$, $h = 45\text{ cm}$, $f_{ck} 30\text{ MPa}$, Aço CA-50 e $b = 100\text{cm}$ teremos, aplicando a calculadora TQS ou as fórmulas apresentadas em 12.1.1, sucessivamente:

$$M_d = M_1 = M_2 = 32,32\text{tf.m/m}$$

que para a calculadora TQS utiliza-se $M_k = 32,32 / 1,4 = 23,08571\text{ tfm/m} = 2308571\text{ kgf.cm/m}$

$$K_c = \frac{d}{\sqrt{(M_k/b)}} = \frac{41,2}{\sqrt{(2308571/100)}} = 0,2712$$

$$f_{ck}=30\text{MPa}=300\text{kgf/cm}^2$$

$$n = 0,68 \times (K_c^2) \times \frac{f_{ck}}{1,4} = 0,68 \times 0,2712^2 \times \frac{300}{1,4} = 10,71$$

$$K = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,24}{n}}\right) = 1,25 \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,24}{10,71}}\right) = 0,1383$$

$$f_{yk} = 500\text{ MPa} = 5000\text{ kgf/cm}^2$$

$$A_s = \frac{0,68 \times K \times 0,7143 \times f_{ck} \times d \times b}{\left(\frac{f_{yk}}{1,15}\right)} = \frac{0,68 \times 0,1383 \times 0,7143 \times 300 \times 41,2 \times 100}{\left(\frac{5000}{1,15}\right)} = 19,10\text{ cm}^2$$

$$A_s = 19,10\text{cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.}10\text{cm alternar } \varnothing 16 \text{ c.}20\text{cm}$$

Sucessivamente:

$$M_k = M_3 = M_4 = - 26,55 / 1,4 = - 18,96\text{ tfm/m}$$

$$A_s = 16,40\text{cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.}12\text{ cm}$$

$$M_k = M_5 = 34,36 / 1,4 = 24,54\text{ tfm/m}$$

$$A_s = 20,38\text{cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.}9\text{ cm}$$

$$M_k = M_6 = 28,72 / 1,4 = 20,51\text{ tfm/m}$$

$$A_s = 16,85\text{cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.}11\text{ cm}$$

$$M_k = M_7 = M_8 = 15,36 / 1,4 = 10,97\text{ tfm/m}$$

$$A_s = 8,80\text{cm}^2/\text{m} - \varnothing 12.5 \text{ c.}13\text{ cm}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	40/127

12.3 Armadura de Flexão Transversal – Extremidades do Corpo

Parte-se da mesma armadura mínima definida e comentada no item 12.2.

A seguir a Tabela 11 e a Tabela 12 que são resumos dos máximos e mínimos dos itens 11.1.3 e 11.1.5 e devem ser combinadas para o dimensionamento, nas extremidades, das seções definidas na Figura 14 em 11.1.1.

Tabela 11 (Resumo da Tabela 2) – Momentos / Extremidade dos corpos sem aterro.

	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
MAX. Md / barra	-0,80	-0,80	-1,57	0,18	11,85	7,59	8,67	8,67
MIN. Md / barra	-17,97	-17,97	-21,29	-15,14	1,40	0,45	3,11	-1,57
MAX. Md / m	-1,60	-1,60	-3,15	0,36	23,70	15,17	17,33	17,33
MIN. Md / m	-35,94	-35,94	-42,57	-30,27	2,79	0,91	6,22	-3,13

Tabela 12 (Resumo da Tabela 4) – Momentos / Extremidade do corpo com aterro de 4 metros.

	SEÇÕES							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
MAX. Md / barra	-0,80	-0,80	-1,60	-1,60	17,48	14,76	0,07	0,07
MIN. Md / barra	-16,91	-16,91	-12,84	-12,84	1,40	-0,91	-0,93	-0,93
MAX. Md / m	-1,60	-1,60	-3,20	-3,20	34,96	29,52	0,14	0,14
MIN. Md / m	-33,81	-33,81	-25,68	-25,68	2,79	-1,82	-1,86	-1,86

Junto às juntas de dilatação ou nas extremidades, combinando os resultados da Tabela 11 e da Tabela 12 temos as seguintes solicitações e armaduras para atender as seções de referência:

$$M_k = M_1 = M_2 = M_{1d} / 1,4$$

$$M_k = M_1 = M_2 = - 35,94 / 1,4 = -25,67 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 21,39 \text{ cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.9 cm alternar } \varnothing 16 \text{ c.18 cm}$$

$$M_k = M_3 = M_4 = - 42,57 / 1,4 = - 30,41 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 25,68 \text{ cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.7,5 cm alternar } \varnothing 16 \text{ c.15 cm}$$

$$M_k = M_5 = 34,96 / 1,4 = 24,97 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 20,76 \text{ cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.9 cm}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	41/127

$$M_k = M_6 = 29,52 / 1,4 = 21,09 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 17,36 \text{ cm}^2/\text{m} - \varnothing 16 \text{ c.11 cm}$$

$$M_k = M_7 = M_8 = 17,33 / 1,4 = 12,38 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 9,96 \text{ cm}^2/\text{m} - \varnothing 12.5 \text{ c.12 cm}$$

Como essa faixa de reforço tem largura definida de 30 centímetros, as quantidades de barras por metro serão convertidas para a quantidade nesta largura da faixa e arredondadas para o inteiro superior.

12.4 Armadura Secundária na Direção Longitudinal

De acordo com a orientação da tabela 19.1 da NBR 6118:2014 calcula-se:

$$A_s = 0,20 \times A_{s \text{ PRINCIPAL}}$$

$$A_s = 0,5 \times 0,0015 \times 100 \times 45 = 3,38 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{NBR 6118:2014}$$

Na laje superior o valor de 20% da armadura principal, resulta inferior ao A_s calculado para o momento longitudinal.

$$A_s = 0,20 \times 20,38 = 4,07 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Na laje inferior o valor de 20% da armadura principal, resulta superior ao A_s calculado para o momento longitudinal.

$$A_s = 0,20 \times 16,85 = 3,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Na direção secundária da laje inferior e das paredes verticais, adotaremos $\varnothing 10$ c.20 centímetros (atende aos critérios da Tabela 19.1 da NBR 6118:2014 para lajes em uma direção) que corresponde a $A_s = 3,92 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($> 3,37 \text{ cm}^2/\text{m}$) e $M_k = 5,0 \text{ tfm/m}$ e resulta um momento de cálculo $M_d = 1,4 \times 5,0 = 7,0 \text{ tfm/m}$ e cobre os respectivos momentos longitudinais.

Nas Figura 78 e Figura 79 do item 18.3.1, tiramos respectivamente os valores positivos de $M_g = 0,4 \text{ tfm/barra}$ e de $M_q = 2,0 \text{ tfm/barra}$. Resulta por metro para $M_d = 2 \times (1,35 \times 0,4 + 1,5 \times 2,0) = 7,08 \text{ tfm/m}$. Esse valor é levemente superior ao absorvido pela armadura mínima adotada.

$$M_d = 7,08 \text{ tfm/m}$$

$$M_k = M_d / 1,4 = 5,06 \text{ tfm/m}$$

$$A_s = 4,13 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ resultam } \varnothing 12.5 \text{ c.29}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	42/127

Para manter o mesmo espaçamento das demais armaduras de distribuição (Ø10 c.20), adotaremos Ø 12.5 c.20 para a armadura longitudinal positiva na laje superior. Isso facilitará a colocação de estribos para atender o dimensionamento de cortante como veremos adiante.

12.5 Armadura para Cortante

Para o cortante calcula-se inicialmente o V_{Rd1} para saber-se a partir de qual valor de cortante há necessidade de armadura. Sendo a espessura da laje com $d = 41,2$ cm e concreto f_{ck} 30 MPa, segue:

$$f_{ct,m} = 0,3 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,3 \times \sqrt[3]{30^2} = 2,896 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times f_{ct,m} = 0,7 \times 2,896 = 2,027 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{2,027}{1,4} = 1,448 \text{ MPa}$$

$$T_{Rd} = 0,25 \times f_{ctd} = 0,25 \times 1,448 = 0,3621 \text{ MPa} = 0,0362 \text{ kN/cm}^2$$

Considerando A_{S1} , que é a área da armadura de tração, igual a armadura mínima da seção como calculado no item 12.2, $A_{s,min} = 0,0015 \times b \times e = 0,0015 \times 100 \times 45 = 6,75 \text{ cm}^2/\text{m}$

b_w , que é a largura mínima da seção ao longo da altura útil d , será tomada igual a 100 cm para termos a armadura por m^2 .

$$\rho_1 = \frac{A_{S1}}{b_w \times d} = \frac{6,75}{100 \times 41,2} = 0,0016, \text{ não maior que } 0,02$$

$$k = |1,6 - d| = 1,6 - 0,412 = 1,18$$

$$V_{Rd1} = [T_{Rd} \times k \times (1,2 + 40 \times \rho_1)] \times b_w \times d$$

$$V_{Rd1} = [0,03621 \times 1,18 \times (1,2 + 40 \times 0,0016)] \times 100 \times 41,2 = 224,3 \text{ kN/m} = 22,5 \text{ tf/m}$$

Para valores de V_{Sd} inferiores a 22,5 tf/m, não há a necessidade de armadura transversal para cortante, conforme referido em 12.1.2.

Encontrados estes valores por triangulação no diagrama de cortante solicitante da laje superior e da laje inferior como se reproduz na Figura 16, obtendo-se as faixas que necessitam de armadura para cortante.

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

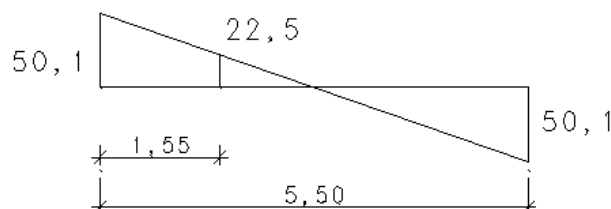
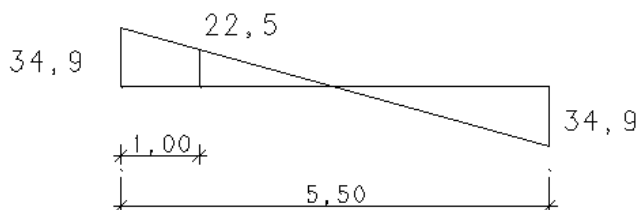
09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

43/127

Figura 16 - Esforços cortantes nas lajes superior e inferior. Vista em corte transversal.

LAJE SUPERIOR**LAJE INFERIOR**

Assim, a faixa mínima a ser armada a partir dos apoios será de 1,55m paralelas às paredes e 1,00 m para a laje inferior.

Adotando estribos $\varnothing 8$ (cujo $A_{s_{\text{unitário}}}$ é $0,5 \text{ cm}^2$) envolvendo a armadura secundária longitudinal, cujo espaçamento “c” é 20 centímetros, teremos um A_{st1} na direção transversal, por metro de linha de estribos colocados, como segue.

$$A_{st1} = (100/c) \times A_{s_{\text{unitário}}}$$

$$A_{st1} = (100 / 20) \times 0,5 = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

A solução adotada permite a armação dos estribos e das armaduras longitudinais como se fosse o esqueleto de uma viga. Esse esqueleto fica por cima da armadura principal positiva e por baixo da armadura principal negativa, oferecendo uma segurança adicional significativa na manutenção do posicionamento das armaduras negativas.

$$\alpha_{v2} = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{30}{250} = 0,88 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,4} = \frac{30}{1,4} = 21,42 \text{ MPa}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	44/127

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b_w \times d = 0,27 \times 0,88 \times 21,42 \times 1 \times 0,412 = 2.097 \text{ KN/m} = 209,7 \text{ tf/m}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

$$50,1 \leq 209,7 \quad \text{OK}$$

$$f_{ywd} = \frac{50}{1,15} = 43,47 \text{ KN/cm}^2$$

$$V_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} = \frac{2,35}{20} \times 0,9 \times 41,2 \times 43,47 = 189,39 \text{ KN/m} = 18,9 \text{ tf/m}$$

$$f_{ctd} = 1,448 \text{ MPa}$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 0,6 \times 1448 \times 1 \times 0,412 = 357,94 \text{ KN/m} = 35,79 \text{ tf/m}$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw} = 357,94 + 189,39 = 547,33 \text{ KN/m} = 54,73 \text{ tf/m}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} \quad 50,1 \leq 54,7 \text{ OK}$$

Na direção longitudinal utilizaremos aproximadamente $d/2 = 21 \text{ cm}$ para obter uma cobertura com distribuição adequada.

12.6 Alas

As solicitações de flexão são, no geral, muito inferiores a correspondente à armadura mínima, $A_s=6,75\text{cm}^2/\text{m}$, atendida com $\varnothing 12,5 \text{ c.18}$ e correspondente a um momento característico $M=8,47\text{tfm}$, conforme apresentado em 12.2.

Para confirmação da cobertura dos momentos pela armadura mínima, faremos a verificação nas três primeiras barras da discretização utilizada que são as barras mais solicitadas.

Como se verifica nas três tabelas, apresentadas no item 11.4, o maior momento de cálculo encontrado foi na seção S2 do Pórtico 2, com o valor $M_d=10,41 \text{ tfm/m}$. Na calculadora TQS com o coeficiente 1,4 embutido, esse momento equivale a um momento característico $M=10,41/1,4 = 7,44 \text{ tfm/m}$. Esse valor é menor do que o correspondente ao uso da armadura mínima, $M=8,47 \text{ tfm/m}$, determinado acima.

13 Tensão no Solo

As Figura 91 a Figura 96 do item 18.3.3 indicam as reações resultantes nos apoios elásticos que representam o solo, conforme definido no item 6.

Para a tensão admissível definiu-se o valor de 2kgf/cm^2 , que, a favor da segurança, é um valor aceito tecnicamente para um terreno de capacidade baixa.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	45/127

Essas figuras recolhem os resultados na seção transversal mais desfavorável, isto é, nas seções adjacentes mais distantes do veículo tipo, as tensões são muito menores.

Com essas considerações favoráveis, considerando a Figura 96 do item 18.3.3, que reúne todos os carregamentos, obtém-se a reação média ($R_{\text{méd}}$) como segue.

$$R_{\text{méd}} = (4,0 + 3,8 + 3,5 + 3,3 + 3,1 + 3,0 + 3,0 + 3,0 + 3,2 + 3,4 + 3,6 + 3,8) / 12 = 3,39 \text{ tf} = 3390 \text{ kgf}$$

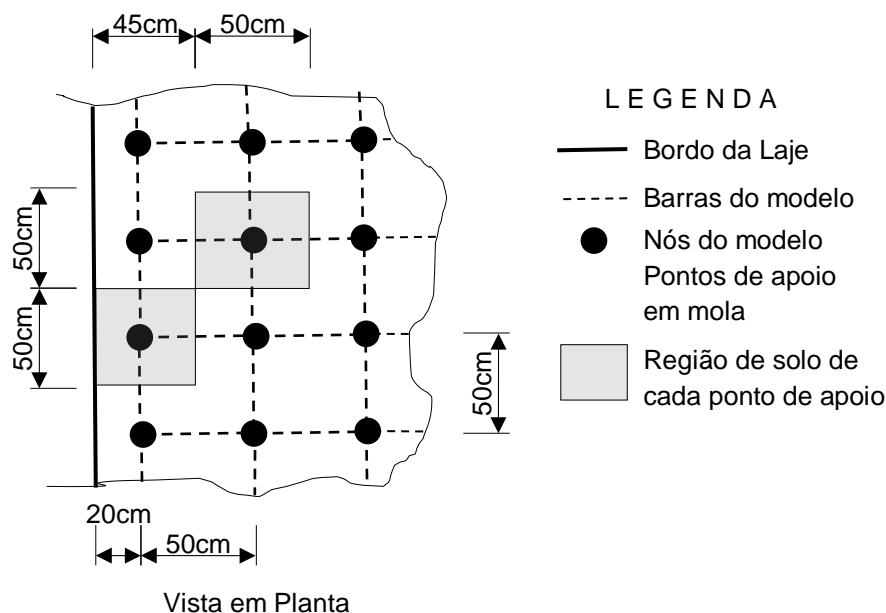
Estas reações correspondem a uma área de 50x50 cm do modelo, como representado na Figura 17. Assim, resulta para a tensão média no solo ($\sigma_{\text{méd}}$):

$$\sigma_{\text{méd}} = R_{\text{méd}} / (50 \times 50) = 3390 / 50^2 = 1,36 \text{ kgf/cm}^2$$

Na borda a reação atinge 4,0 tf = 4000 kgf. Considerando a distância real do eixo da barra do modelo até a borda da parede que é de 20 cm somados a metade da distância até a próxima barra resulta 45cm, assim, teremos para a tensão de borda, σ_{borda} como segue.

$$\sigma_{\text{borda}} = 4000 / (50 \times 45) = 1,78 \text{ kgf/cm}^2 \text{ compatível com a tensão admissível.}$$

Figura 17 – Região de influência dos pontos de apoio no solo na borda da laje inferior.



14 Emendas e Ancoragens

14.1 Considerações Gerais

Para verificação das ancoragens e emendas por trespasse foi estabelecida as referências básicas para aplicação dos sucessivos passos da NBR-6118:2014, sendo as variáveis citadas definidas na própria norma, como segue:

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	46/127

a) Resistência de tração do concreto – item 8.2.5 da NBR-6118:2014

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times 0,3 \times (f_{ck})^{2/3}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \times 0,3 \times 30^{2/3} = 2,02 \text{ MPa}$$

b) Resistência de aderência – item 9.3.2.1 da NBR 6118:2014

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

$$f_{ctd} = 2,02 / 1,4 = 1,44 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 1,4 \text{ para barras entalhadas}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ para zona de boa aderência}$$

$$\eta_2 = 0,7 \text{ para zona de má aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0 \text{ para bitolas abaixo de 32 mm}$$

$$f_{bd} = 1,4 \times 0,7 \times 1,0 \times 1,44 = 1,41 \text{ MPa para zona de má aderência.}$$

$$f_{bd} = 1,4 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,44 = 2,02 \text{ MPa para zona de boa aderência.}$$

c) Comprimento de ancoragem básico – item 9.4.2.4 da NBR-6118:2014

$$l_b = \sigma_s \times f_{yd} / (4 \times f_{bd}) > 25 \varnothing$$

$$l_b = \sigma_s \times 434 / (4 \times 1,41) = 77 \varnothing \text{ para zona de má aderência.}$$

$$l_b = \sigma_s \times 434 / (4 \times 2,02) = 53 \varnothing \text{ para zona de boa aderência.}$$

d) Comprimento de ancoragem necessário – item 9.4.2.5 da NBR-6118:2014.

$$l_{b,necessário} = \alpha \times l_b (A_{s,calc}/A_{s,ef}) > l_{b,min}$$

$$l_{b,min} > (0,3 l_b; 10 \varnothing; 100 \text{ mm})$$

d.1) Para barras com ganchos $\alpha = 0,7$

$$l_{b,necessário} = 0,7 \times 77 \varnothing = 54 \varnothing \text{ para zona de má aderência.}$$

$$l_{b,necessário} = 0,7 \times 53 \varnothing = 37 \varnothing \text{ para zona de boa aderência.}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	47/127

d.2) Resultam para as bitolas usadas no projeto os seguintes comprimentos de ancoragem para zonas de má e boa aderência, respectivamente:

$$\varnothing 10 = 54 \text{ cm e } 37 \text{ cm}$$

$$\varnothing 12,5 = 68 \text{ cm e } 46 \text{ cm}$$

$$\varnothing 16 = 86 \text{ cm e } 59 \text{ cm}$$

e) Emendas por trespasse – item 9.5.2.2.1 da NBR-6118:2014.

Para emendas por trespasse com 100% das barras emendadas na mesma seção os valores de ancoragem devem ser dobrados (tabela 9.4 da NBR-6118:2014)

$$\varnothing 10 = 108 \text{ cm e } 74 \text{ cm}$$

$$\varnothing 12,5 = 136 \text{ cm e } 92 \text{ cm}$$

$$\varnothing 16 = 172 \text{ cm e } 118 \text{ cm}$$

f) Boa e Má Aderência – item 9.3.1 da NBR-6118:2014.

Conforme a alínea “a” deste item normativo, todas as barras na vertical estão em situação de boa aderência.

Nas lajes superior e inferior da estrutura, que possuem altura menor que 60cm, considera-se em má aderência apenas as armaduras junto a face superior, em decorrência do primeiro parágrafo da alínea “b”.

Nas paredes, que possuem altura maior que 60 cm, considera-se em má aderência apenas as armaduras horizontais nos 30 cm superiores. Como a estabilidade principal da estrutura depende da seção transversal, não haverá pontos de análise de ancoragem nessa situação, que seria mais determinante para armaduras superiores na horizontal e no sentido longitudinal.

g) Comprimento mínimo de ancoragem.

A NBR-6118:2014, no item 9.4.2.5, especifica o comprimento mínimo a ser atendido que no caso do $\varnothing 16$ seria:

$$0,3 l_b = 0,3 \times 54 \times 1,6 = 26 \text{ cm}$$

$$10 \varnothing = 10 \times 1,6 = 16 \text{ cm}$$

$$100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$$

h) Aplicação de decalagem do diagrama de força no banzo tracionado – item 17.4.2.2-c) da NBR-6118:2014.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	48/127

Os elementos da estrutura são do tipo laje (placas), sendo que o item se aplica apenas elementos lineares (por exemplo: vigas). Assim não se aplica à estrutura da Passagem Veicular.

Por outro lado, a VALEC solicitou que fosse considerado o critério de decalagem para as armaduras de engastamento, onde houve dimensionamento ao cortante. Indicou-se o critério referente à decalagem igual ou maior a 0,5 da altura útil, que arredondando será 21 cm.

14.2 Comprimento das armaduras

Como critério geral os comprimentos das armaduras foram definidos a partir das seguintes premissas:

- As armaduras positivas alternadas, internas, devem partir de uma extremidade e se prolongar até a cobertura de metade do diagrama de momentos fletores, como ilustrado na Figura 18 e Figura 19, mais a metade do comprimento de ancoragem, considerando que no ponto final ela estará trabalhando com menos da metade da tensão usual, pois o $A_{s,efetivo}$ é o dobro do $A_{s,necessário}$, uma vez que o momento já está com a metade do valor para o qual foi calculada a armadura no centro, atendendo o especificado em 9.4.2.5, comprimento de ancoragem necessário da NBR 6118:2014;
- Para definição da extensão dos diagramas de momentos fletores foram utilizados os diagramas mais desfavoráveis para essa determinação, reunidos no item 18.3.1.

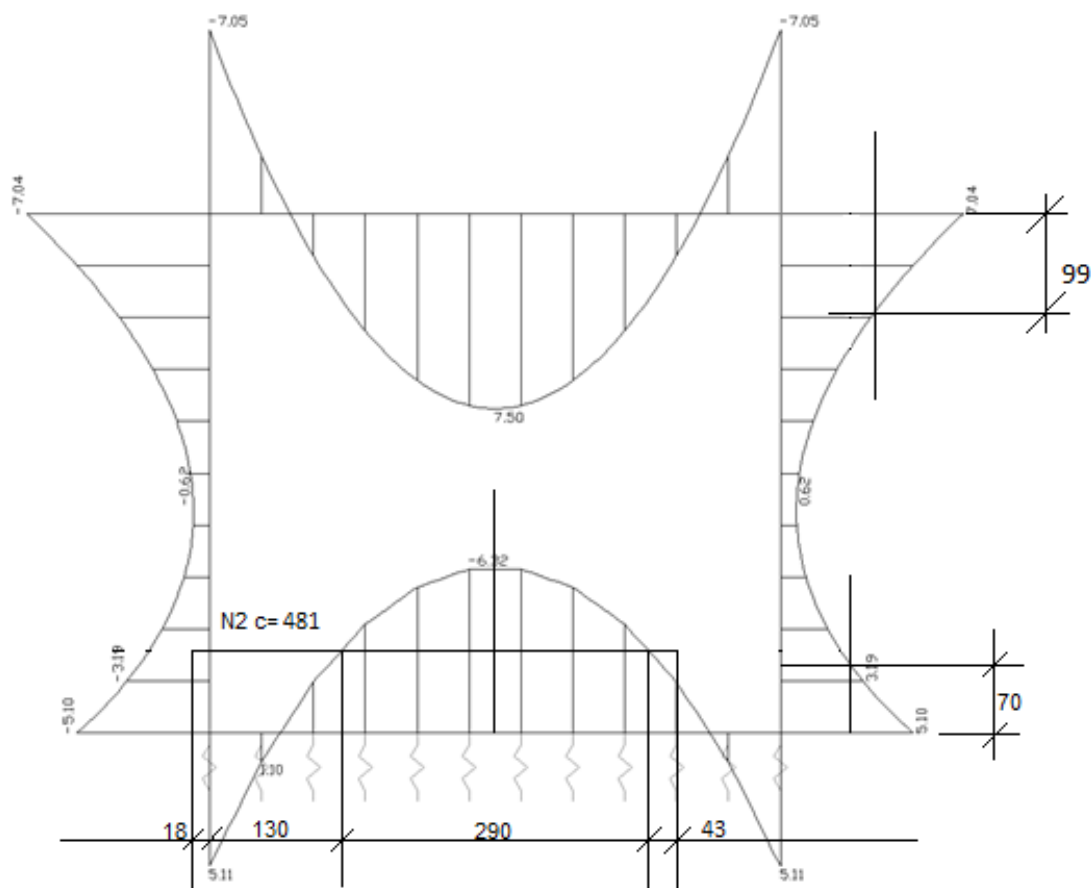
Para o cálculo dos comprimentos de ancoragem das posições N1 a N9 da seção transversal do corpo, consideram-se os diagramas das Figura 73 à Figura 76 e Figura 81 à Figura 84 do item 18.3.1, cobrindo as situações mais desfavoráveis, conforme segue.

a) N1 – Armadura mínima da face inferior da laje inferior: deve emendar por trespasse com a posição N5 e a N7. Por critério ajustado com a VALEC, definiu-se que o comprimento a ser adotado como necessário para esse trespasse será dado pela maior bitola, no caso Ø 16 mm, assim o comprimento de trespasse $l_b = 140 + 3 - 25 = 118 \text{ cm} \geq 118 \text{ cm}$. OK; Observe-se que a armadura N5 combinada a N7 resulta num espaçamento de 10 cm entre elas, de modo que, embora a N1 tenha espaçamento diferente ela nunca estará afastada mais de 5 cm de uma das armaduras com as quais emenda. Pelo 9.5.2.2.1 o espaço livre entre as barras emendadas poderia ser de até 5 cm e de eixo a eixo até 6 cm (respectivamente 4 e 5 diâmetros da barra mais fina).

b) N2 – A região central a ser coberta pelas armaduras totais (conforme Figura 18) apresenta 290cm. As barras N2 devem cobrir da face externa da parede ao final dos 290 cm, acrescidos da metade do comprimento de ancoragem do Ø 16 em zona de má aderência ($86/2 = 43 \text{ cm}$, conforme item 14.1 - d2, acima) mais a distância entre a última barra do modelo estrutural e a face real da armadura considerando o cobrimento (18 cm). Teremos $c = 290 + 130 + 18 + 43 = 481 \text{ cm} < 485 \text{ cm}$. OK;

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	49/127

Figura 18 – Cobertura do diagrama de momentos da laje inferior



c) **N3** – Armadura mínima da face superior da laje superior: que estará comprimida por estar situada na zona de momento positivo. Não há necessidade de trespasse com a posição N8 e N12. Trata-se de armadura com características de armadura de pele com caráter meramente construtivo. O trespasse com a armadura N8 visa apenas combater fissuras de retração.

d) **N4** – Para o N4 devemos considerar a distância (270cm) entre os pontos que devem ser cobertos pela armadura total da Figura 19 cujo diagrama é o mais importante. Essa distância deve ser prolongada até a face da parede descontado o cobrimento (140+18) e acrescida da metade do comprimento de ancoragem do Ø 16 em zona de boa aderência ($59/2=30$). Teremos $c = 270 + 140 + 18 + 30 = 458$ cm. OK.

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

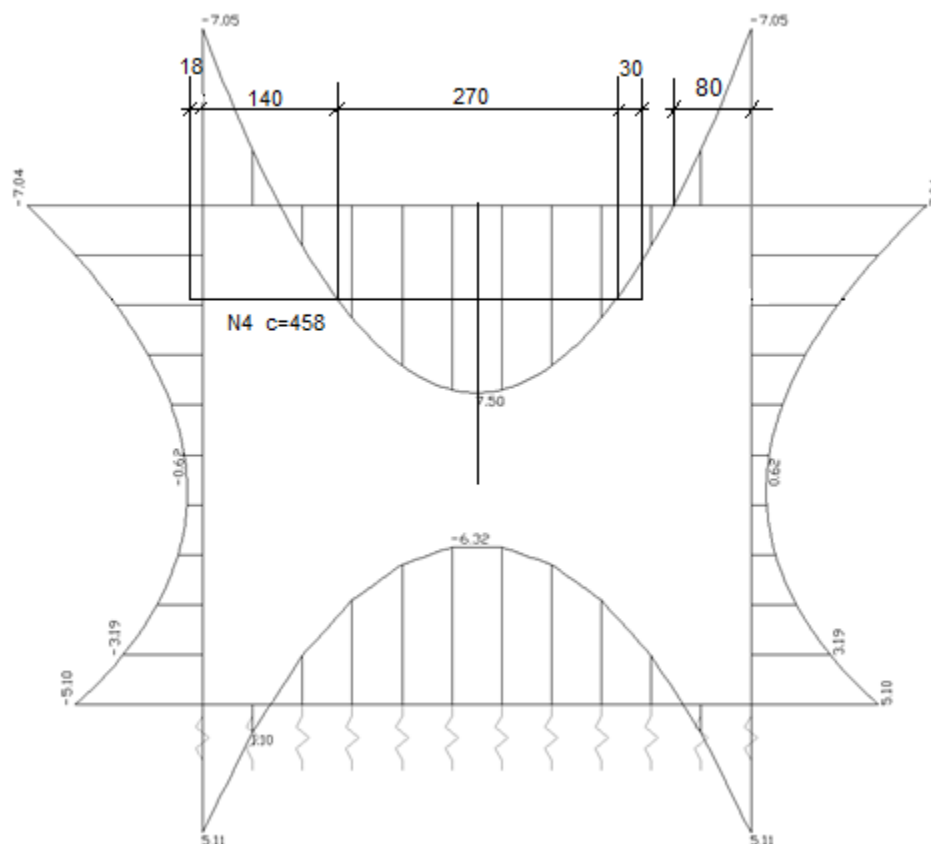
09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

50/127

Figura 19 - Cobertura do diagrama de momentos da laje superior



e) **N5** – As armaduras N5 e N7 cobrem o momento fletor na face externa do canto inferior. Na parede (extensão vertical) a armadura N5 precisa cobrir a metade deste valor que decresce rapidamente em região de queda acentuada na solicitação de flexão. Analisando os diagramas da Figura 18 e Figura 19 podemos adotar a favor da segurança como sendo 70 cm a região a ser coberta pela metade da armadura calculada no canto inferior. Nesta situação acrescenta-se a decalagem de 21 cm. O comprimento mínimo do ramo vertical dessa armadura é $c = 70 + 18 + 59 + 21 = 168 < 180$ cm. OK.

f) **N7** – Atua em conjunto com N5 para atendimento do momento fletor na face externa do canto inferior. Ela se prolonga no ramo vertical até trespassar com a armadura N8. Conforme detalhamento o comprimento de trespassse de 118 cm atende ao trespassse com as barras da posição N8.

g) **N8** – O comprimento horizontal deve cobrir a totalidade do comprimento de momento negativo que é, a favor da segurança, 80cm mais o comprimento de ancoragem mínimo conforme apresentado no item 14.1 g que é 26 cm. No entanto, por solicitação da VALEC, será considerado o comprimento de ancoragem para 50% da tensão da armadura (86 cm) a partir da mesma distância (80 cm), mais a decalagem de 21 cm e mais 18 cm da distância da borda

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	51/127

da parede menos o cobrimento até o modelo estrutural utilizado para os diagramas. Assim, $c = 18 + 80 + 86 + 21 = 205 \text{ cm} = 205 \text{ cm}$. OK. Na vertical traspassa com N7 como comentado.

h) N12 – O comprimento horizontal deve cobrir a metade da solicitação, que a favor da segurança tomamos como ocorrendo a 40cm, com 50% da tensão na armadura e a decalagem de 21 cm, sendo 18 cm a distância da borda da parede menos o cobrimento até o modelo estrutural. Assim, $c = 18 + 40 + 86 + 21 = 165 \text{ cm} = 165 \text{ cm}$. OK. Na vertical segue a mesma demonstração feita para a posição N5 sendo a extensão do diagrama 99 cm, assim, $c = 99 + 18 + 59 + 21 = 197 < 200 \text{ cm}$. OK.

i) N9 – Armadura de face a face.

15 Fissuração

15.1 Considerações Gerais

A fissuração foi analisada para a seção que sofre o maior momento fletor, no caso, a seção 5, considerando as seções definidas na Figura 14 do item 11.1.1.

A verificação da abertura de fissura foi feita pelo programa automático da TQS.

O cálculo da abertura de fissuras w_k é realizado conforme o item 17.3.3.2 da NBR 6118:2014.

O valor característico da abertura de fissuras w_k , determinado para cada parte da região envolvimento, é o menor entre os obtidos pelas expressões a seguir:

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

E_{si} é o módulo de elasticidade do aço da barra considerada, de diâmetro ϕ_i ;

ϕ_i é o diâmetro da barra que protege a região de envolvimento considerada;

ρ_{ri} é a taxa de armadura passiva ou ativa aderente (que não esteja dentro de bainha) em relação à área da região de envolvimento (A_{cri});

σ_{si} é a tensão de tração no centro de gravidade da armadura considerada, calculada no estágio II.

Limite para fissuração (Tabela 13.4 da NBR 6118:2014): Para concreto armado com CAA II e CAA III, $w_k \leq 0,3\text{mm}$.

A combinação a utilizar é a combinação frequente definida no item 5.1.5.2 da NBR 8681:2003.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	52/127

O fator de combinação ψ_1 , para pontes ferroviárias especializadas é de 1,00, conforme a Tabela 6 da NBR 8681:2003.

15.2 Verificação da Seção 5

Na seção 5 teremos:

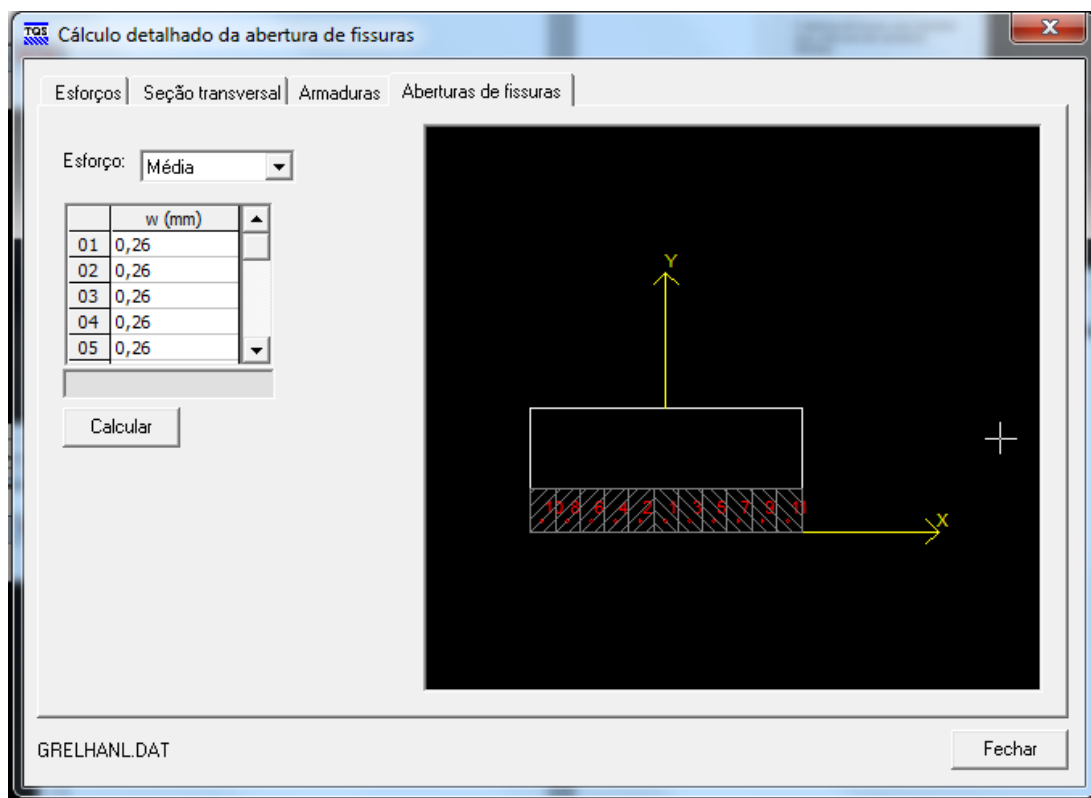
$$M_{5q} = 2 \times 3,21 = 6,42 \text{ tfm/m}$$

$$M_{5g} = 2 \times (1,66 + 7,5) = 18,32 \text{ tfm/m}$$

$$M_{d,ser} = 18,32 + 1,0 \times 6,42 = 24,74 \text{ tfm/m}$$

As equações acima descritas estão programadas na Calculadora de abertura de fissuras do TQS. Assim, utilizando a referida calculadora, temos como resultado $w_k = 0,26 \text{ mm}$, conforme imagens a seguir.

Figura 20 – Cálculo da abertura de fissura



A título de ilustração da aplicação das fórmulas da NBR 6118:2014, para a seção 5 faremos a verificação manual da abertura característica da fissura.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	53/127

Determinação da A_{cri} (item 17.3.3.2 figura 17.3 da NBR 6118:2014). A base de cada retângulo é o próprio espaçamento da armadura (9 cm). A altura de cada retângulo é a distância do centro da barra até a face do concreto (3,8cm) mais $7,5 \times \emptyset$ ($7,5 \times 1,6 = 12$ cm). Resulta

$$A_{cri} = 9 \times (3,8 + 12) = 142 \text{ cm}^2.$$

Com $\emptyset 16$, a área de cada barra é 2 cm² resulta

$$\rho_{cri} = 2 / 142 = 0,014$$

A tensão no aço para a seção 5 está determinada no item 16.2 adiante

$$\sigma_s = 2919 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ (item 9.3.2.1 da NBR 6118:2014).}$$

Em seções fortemente armadas, como a S5, aplicando a segunda fórmula de 15.1, acima, teremos:

$$W_k = 16 \times 2919 \times (4 / 0,014 + 45) / (12,5 \times 2,25 \times 2100000) = 0,26\text{mm}, \text{ confirmando o valor da calculadora TQS.}$$

15.3 Verificação da Seção 1 e 2

Na seção 1 (igual a seção 2) teremos:

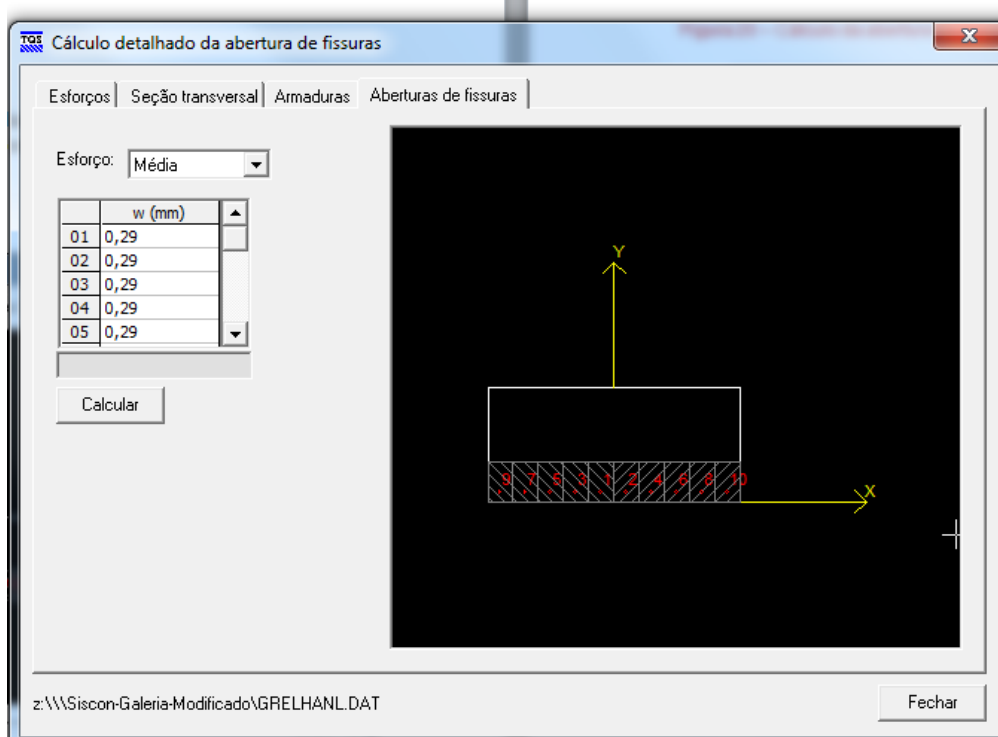
$$M1q = 2 \times (3,40 + 0,21) = 7,22 \text{ tfm/m}$$

$$M1g = 2 \times (0,66 + 7,30) = 15,92 \text{ tfm/m}$$

$$M_{d,ser} = 15,92 + 1,0 \times 7,22 = 23,14 \text{ tfm/m}$$

As equações acima descritas (item 15.1) estão programadas na Calculadora de abertura de fissuras do TQS. Assim, utilizando a referida calculadora, temos como resultado $w_k = 0,29$ mm, conforme imagens a seguir.

Figura 21 – Cálculo da abertura de fissura



16 Fadiga

16.1 Considerações Gerais

Para verificação da fadiga e também válido para os limites de deformação, devemos trabalhar com o momento de inércia da seção no Estádio II e determinar as tensões em uso que ocorrem no concreto e na armadura.

Para o cálculo do momento de inércia no Estádio II foi utilizada a formulação demonstrada em Sussekund, J.C. – Curso de Concreto – Volume 1 – Páginas 166 a 168:

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$x = \frac{n \cdot A_s}{b_w} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_w \cdot d}{n \cdot A_s}} \right)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot M}{b_w \cdot x \cdot \left(d - \frac{x}{3} \right)}$$

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s \cdot \left(d - \frac{x}{3} \right)}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	55/127

$$J_{II} = \frac{b_w \cdot x^3}{3} + n \cdot A_s \cdot (d-x)^2$$

16.2 Verificação da Seção 5

Seção real de armadura: Ø 16 c.9 $A_s = 22,34 \text{ cm}^2/\text{m}$

Combinação de ação a considerar (item 23.5.2 da NBR 6118:2014)

$$M_{d,ser} = M_g + \psi_1 \times M_q$$

Para pontes ferroviárias, $\psi_1 = 1,0$ e com os valores da Tabela 3, item 11.1.4.

$$M_{5q} = 2 \times 3,21 = 6,42 \text{ tfm/m}$$

$$M_{5g} = 2 \times (1,66 + 7,5) = 18,32 \text{ tfm/m}$$

$$M_{d,ser} = 18,32 + 1,0 \times 6,42 = 24,74 \text{ tfm/m}$$

Para a realização do cálculo do momento de inércia no Estádio II, de acordo com as equações do item anterior, foi elaborada planilha eletrônica de forma a automatizar o processo. Desse modo, o momento de inércia no Estádio II resultou em:

Tabela 13 – Momento de Inércia no Estádio II – Seção 5.

Variáveis	Es	Ec	h	d	b	As	As'	t	n	x	J
Unidades	MPa	MPa	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm		cm	cm ⁴
	210000	30672,46	45	41,2	100	22,34			6,85	9,80	182.177,15

$$J_{II} = 182.177 \text{ cm}^4$$

$$x = 9,80 \text{ cm}$$

Fadiga do concreto (item 23.5.4 da NBR 6118:2014)

Para $M_{d,ser} = 24,74 \text{ tfm/m}$, tem-se $\sigma_c = 133,09 \text{ kgf/cm}^2$

M	σ_c	σ_s
Kgf/m	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
24.740	133,09	2.919,43

$$\eta_c = 0,67$$

$$f_{cd,fad} = 30 \times 0,45 / 1,4 = 9,6 \text{ MPa} = 96 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\eta_c \cdot \sigma_{cmax} = 0,67 \times 133,09 = 89,17 \text{ kgf/cm}^2$$

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

56/127

Como $89,17 < 96$, a verificação está satisfeita.

Fadiga da armadura (item 23.5.5 da NBR 6118:2014)

Variação de Momento: $\Delta M = M_{5q} = 6,42 \text{ tfm/m}$

$$\Delta \sigma_s = 757,6 \text{ kgf/cm}^2$$

M	σ_c	σ_s
Kgfm	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
6.420	34,54	757,59

$$\Delta f_{sd,fad} = 1900 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (Tabela 23.2 da NBR 6118:2014)}$$

Como $757,6 < 1900$, a verificação está satisfeita.

Conforme se constata a verificação à fadiga quando a variação de momento é muito pequena em relação ao momento máximo, pode ser dispensada. No caso tínhamos uma predominância muito grande do momento produzido pela carga permanente (aterro de grande altura). O resultado final ($757,6 < 1900$) confirma a irrelevância dessa verificação.

16.3 Verificação da Seção 1 e 2

Seção real de armadura: $\emptyset 16 \text{ c.10}$ $A_s = 20,11 \text{ cm}^2/\text{m}$

Combinação de ação a considerar (item 23.5.2 da NBR 6118:2014)

$$M_{d,ser} = M_g + \psi_1 \times M_q$$

Para pontes ferroviárias, $\psi_1 = 1,0$ e com os valores da Tabela 3, item 11.1.4.

$$M_{1q} = 2 \times (3,40 + 0,21) = 7,22 \text{ tfm/m}$$

$$M_{1g} = 2 \times (0,66 + 7,30) = 15,92 \text{ tfm/m}$$

$$M_{d,ser} = 15,92 + 1,0 \times 7,22 = 23,14 \text{ tfm/m}$$

Para a realização do cálculo do momento de inércia no Estádio II, de acordo com as equações do item anterior, foi elaborada planilha eletrônica de forma a automatizar o processo. Desse modo, o momento de inércia no Estádio II resultou em:

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

57/127

Tabela 14 – Momento de Inércia no Estádio II – Seção 1.

Variáveis	Es	Ec	h	d	b	As	As'	t	n	x	J
Unidades	MPa	MPa	cm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm		cm	cm ⁴
	210000	30672,46	45	41,2	100	20,11			6,85	9,36	166.916,00

$$J_{II} = 166.916 \text{ cm}^4$$

$$x = 9,36 \text{ cm}$$

Fadiga do concreto (item 23.5.4 da NBR 6118:2014)

Para $M_{d,ser} = 23,14 \text{ tfm/m}$, tem-se

$$\sigma_c = 129,80 \text{ kgf/cm}^2$$

M	σ_c	σ_s
Kgfm	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
23.140	129,80	3.021,80

$$\eta_c = 0,67$$

$$f_{cd,fad} = 30 \times 0,45 / 1,4 = 9,6 \text{ MPa} = 96 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\eta_c \cdot \sigma_{cmax} = 0,67 \times 129,80 = 86,97 \text{ kgf/cm}^2$$

Como $86,97 < 96$, a verificação está satisfeita.

Fadiga da armadura (item 23.5.5 da NBR 6118:2014)

$$\Delta M = M_{1q} = 7,22 \text{ tfm/m}$$

$$\Delta \sigma_s = 942,84 \text{ kgf/cm}^2$$

M	σ_c	σ_s
Kgfm	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
7.220	40,50	942,84

$$\Delta f_{sd,fad} = 1900 \text{ kgf/cm}^2 \text{ (Tabela 23.2 da NBR 6118:2014)}$$

Como $942,84 < 1900$, a verificação está satisfeita.

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

58/127

17 Deformação

17.1 Considerações Gerais

As flechas mais representativas são obtidas com o mesmo carregamento que produz o máximo momento no centro da laje superior (seção 5). Para considerações do estágio II o momento de inércia adotado foi determinado em 16.2.

Considerando o quadro do item 11.1.4 as cargas que compunham esse carregamento são o peso próprio, aterro de 4 metros, lastro, trilho, dormentes e carga móvel atuando sobre o aterro de 4 metros.

17.2 Flecha total e limite

A Figura 22, adiante, apresenta o resultado das flechas com a carga total.

Parte da deformação é representada pela acomodação da fundação de toda a estrutura, à medida que o aterro é colocado.

Na figura, este valor é representado por $d_1 = d_2 = 0,86$ cm.

A flecha total é $d_s = 1,51$ cm.

Este valor é inferior ao limite de Norma (NBR 6118:2014 – Tabela 13.3 – item 13.3)

$$F_{\text{limite}} = \ell / 250.$$

Com $\ell = 5,50$ m teremos:

$$F_{\text{limite}} = 550/250 = 2,20 \text{ cm.}$$

A flecha a ser considerada é a diferença entre d_s e d_1 , isto é,

$$f = 1,51 - 0,86 = 0,65 \text{ cm}$$

17.3 Flecha acidental

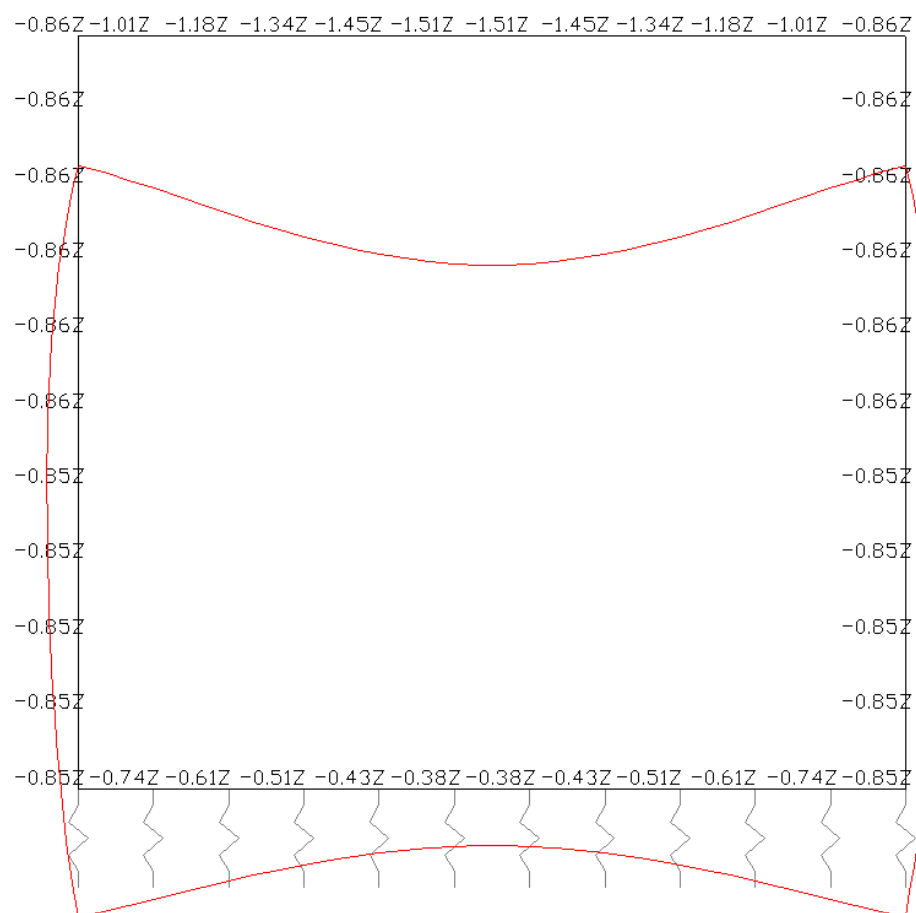
A flecha produzida pela carga acidental está representada na Figura 23, é $f_q = 0,24$ cm, muito inferior ao limite de norma.

$$F_{\text{limite}} = I / 350$$

$$F_{\text{limite}} = 550/350 = 1,57 \text{ cm}$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	59/127

Figura 22 - Deformação total máxima



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	60/127

Figura 23 - Deformação devida à carga móvel



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	61/127

18 Modelo – Figuras

18.1 Superfícies de Influência

18.1.1 Barra Longitudinal – Extremidade

Figura 24 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior

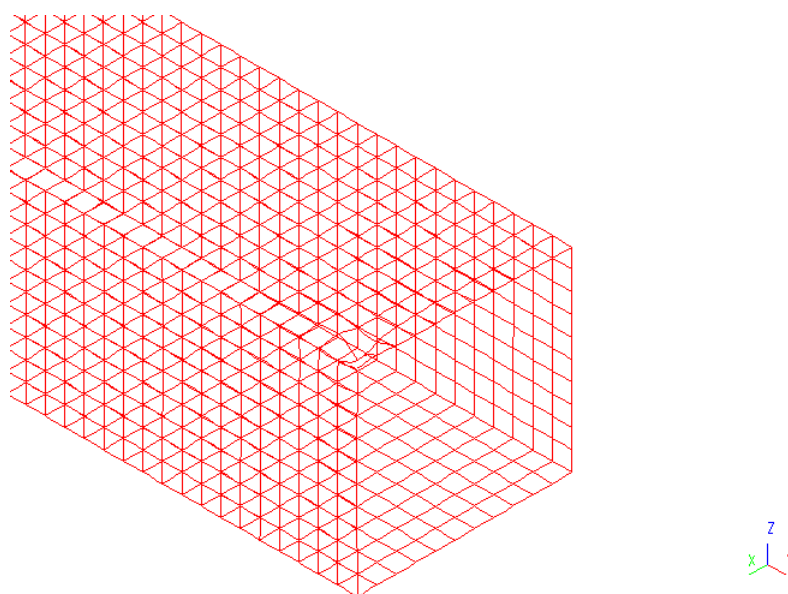
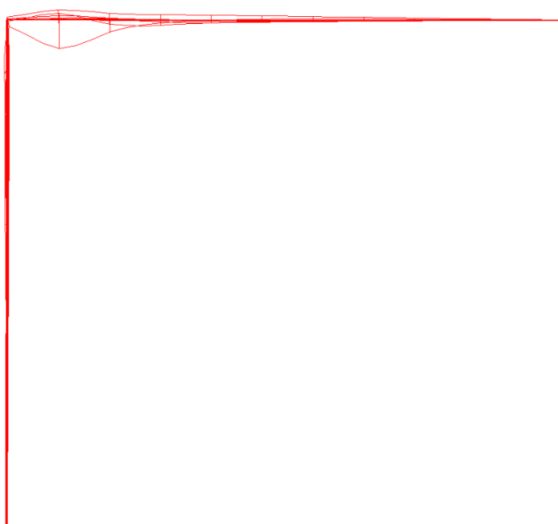


Figura 25 – Corte Transversal – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	62/127

Figura 26 – Corte Longitudinal – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior

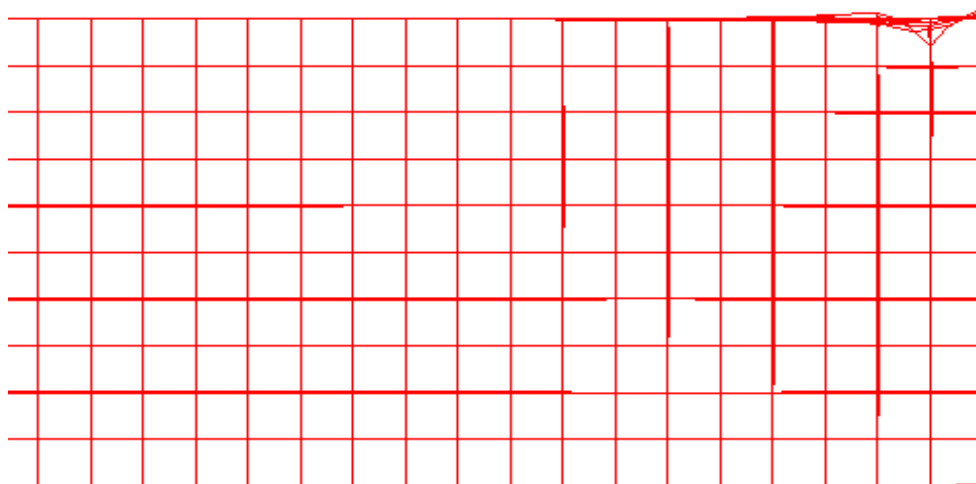
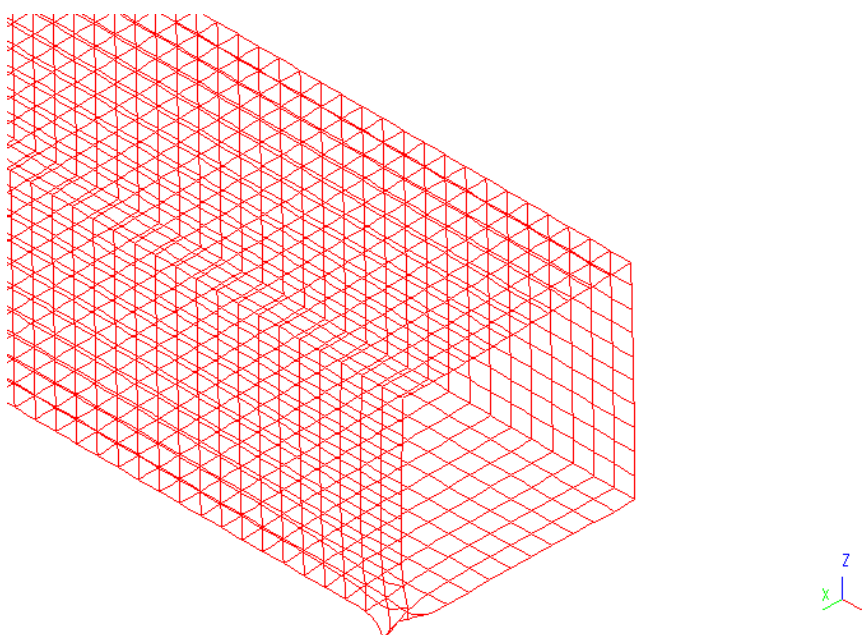


Figura 27 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Borda do vão da Laje Inferior



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

63/127

Figura 28 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Centro do vão da Laje Superior

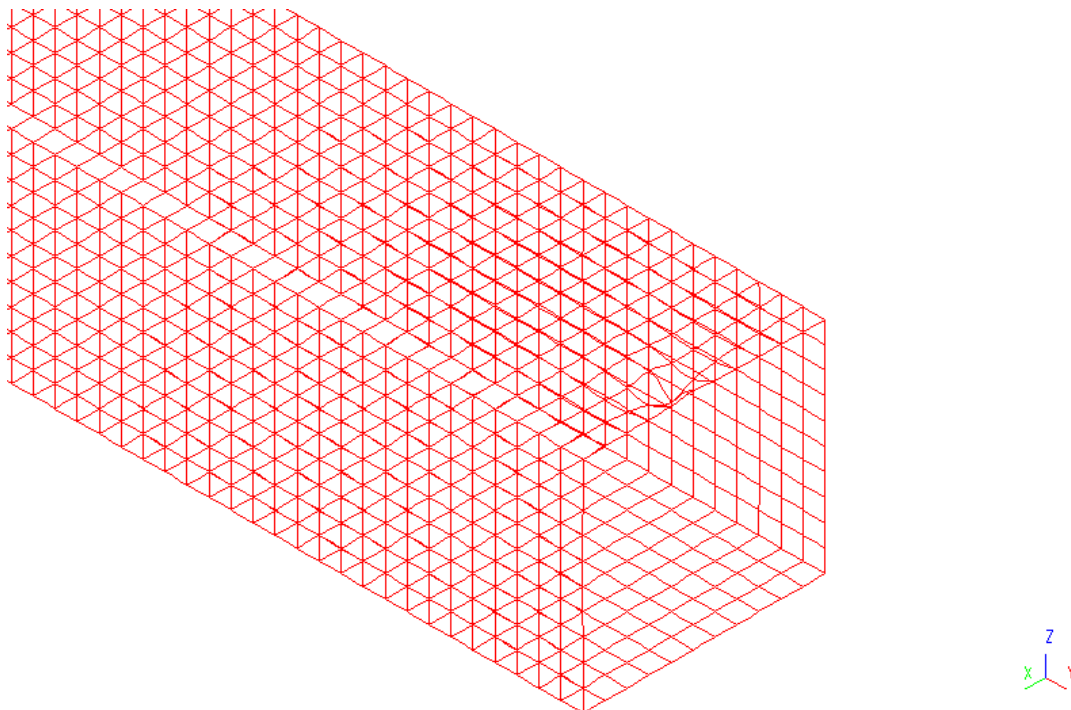
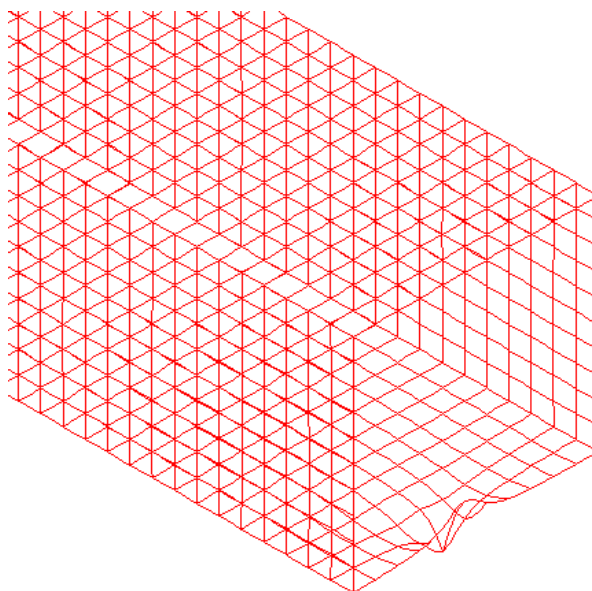


Figura 29 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Extremidade – Centro do vão da Laje Inferior



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

64/127

18.1.2 Barra Transversal – Extremidade

Figura 30 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Borda do vão da Laje Superior

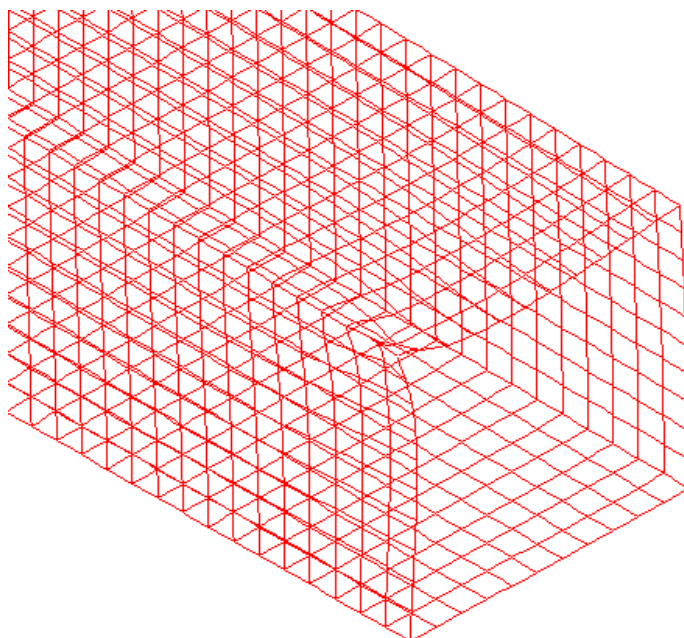
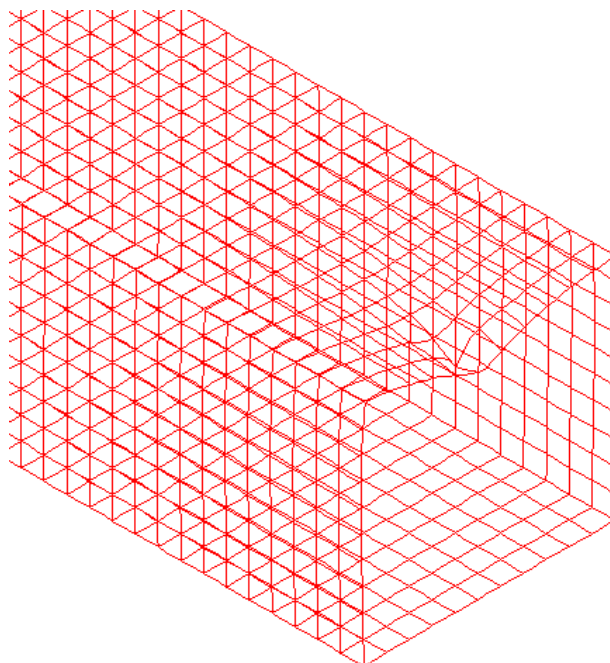


Figura 31 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Centro do vão da Laje Superior



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

65/127

Figura 32 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Borda do vão da Laje inferior

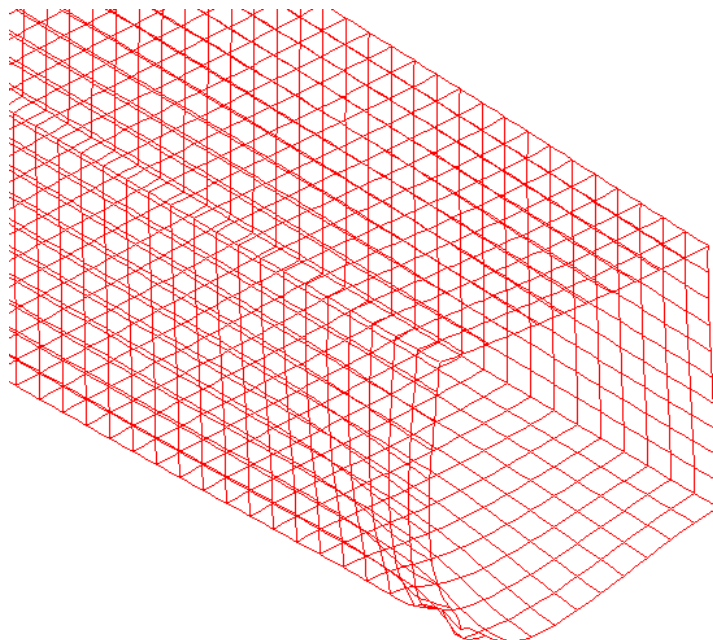
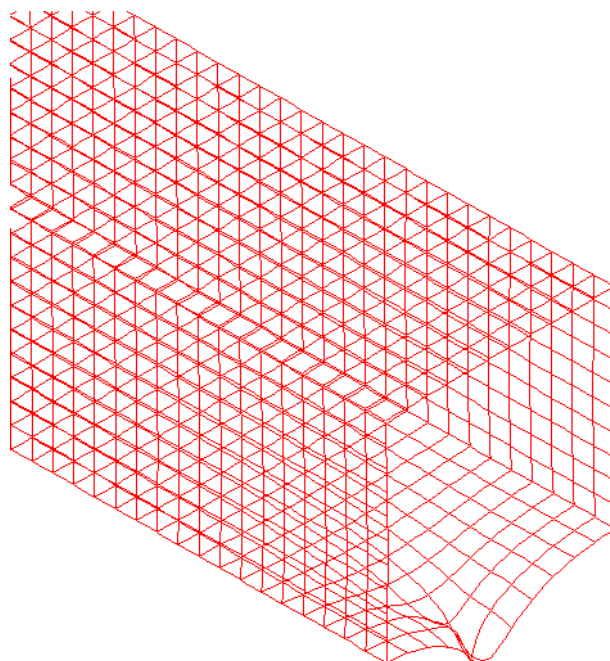


Figura 33 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Extremidade – Centro do vão da Laje inferior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	66/127

18.1.3 Barra Longitudinal – Centro

Figura 34 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Borda do vão da Laje Superior

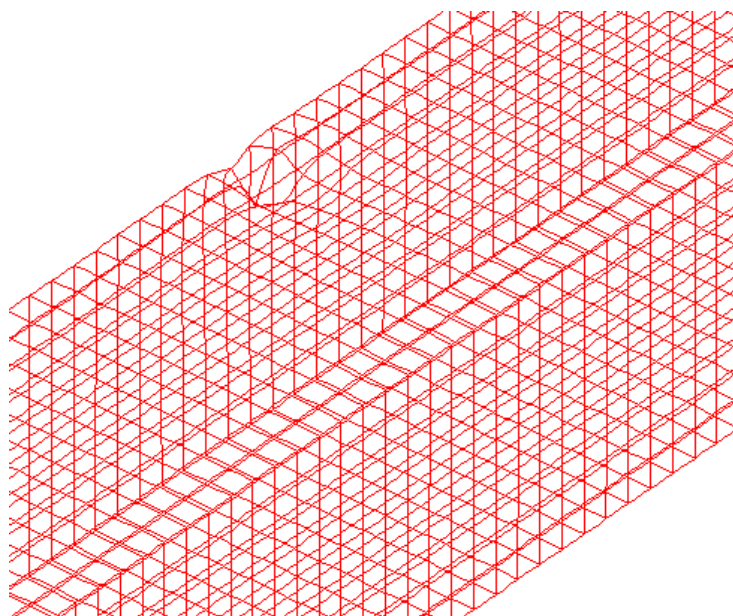
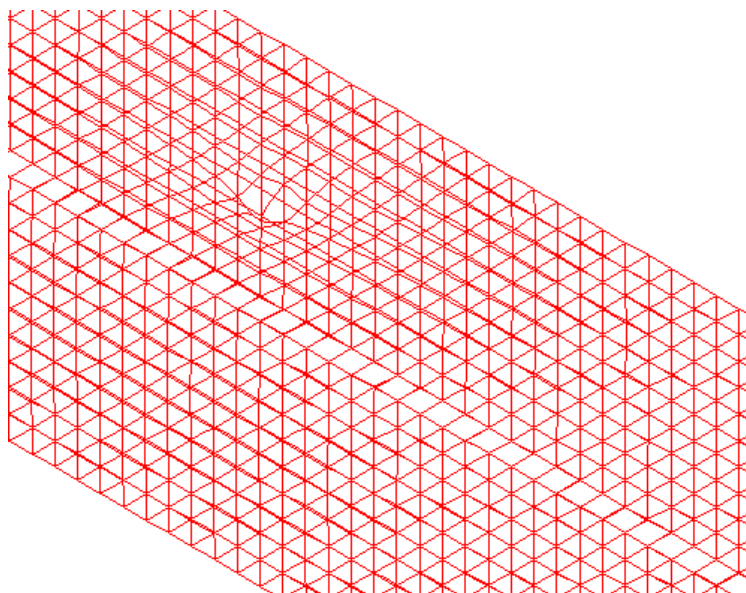


Figura 35 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Centro do vão da Laje Superior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	67/127

Figura 36 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Borda do vão da Laje Inferior

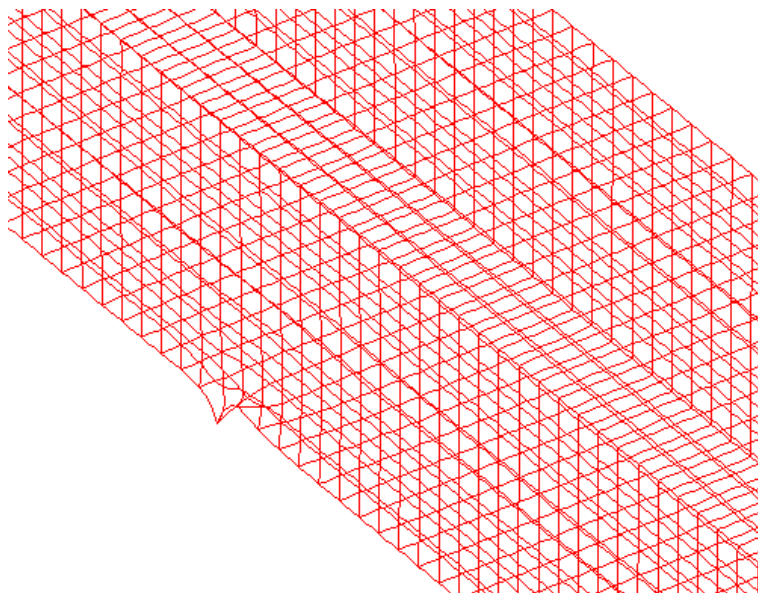
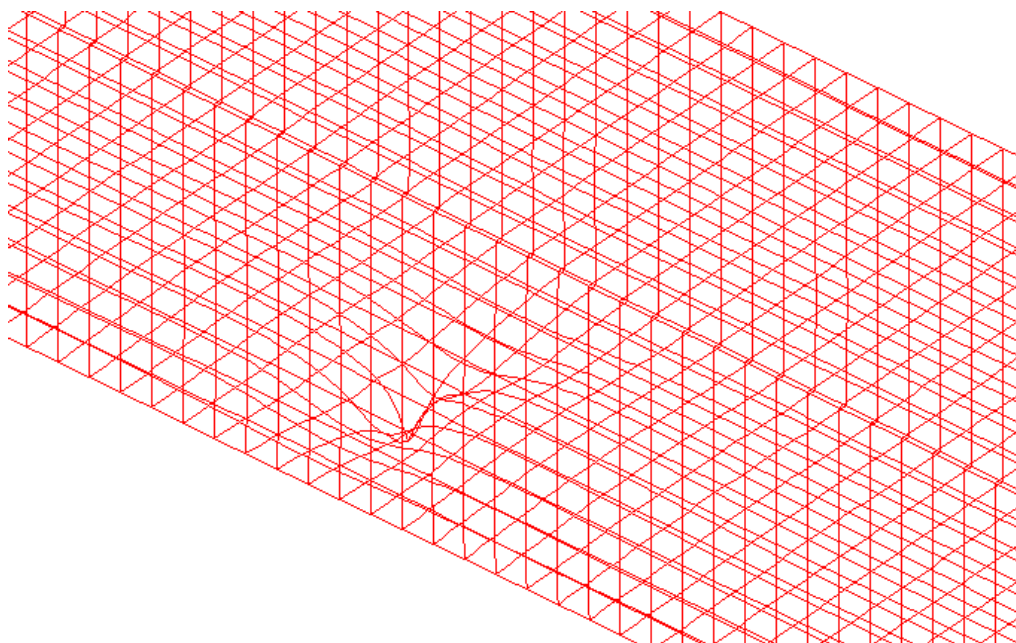


Figura 37 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Longitudinal – Centro – Centro do vão da Laje Inferior



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

68/127

18.1.4 Barra Transversal – Centro

Figura 38 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Borda do vão da Laje Superior

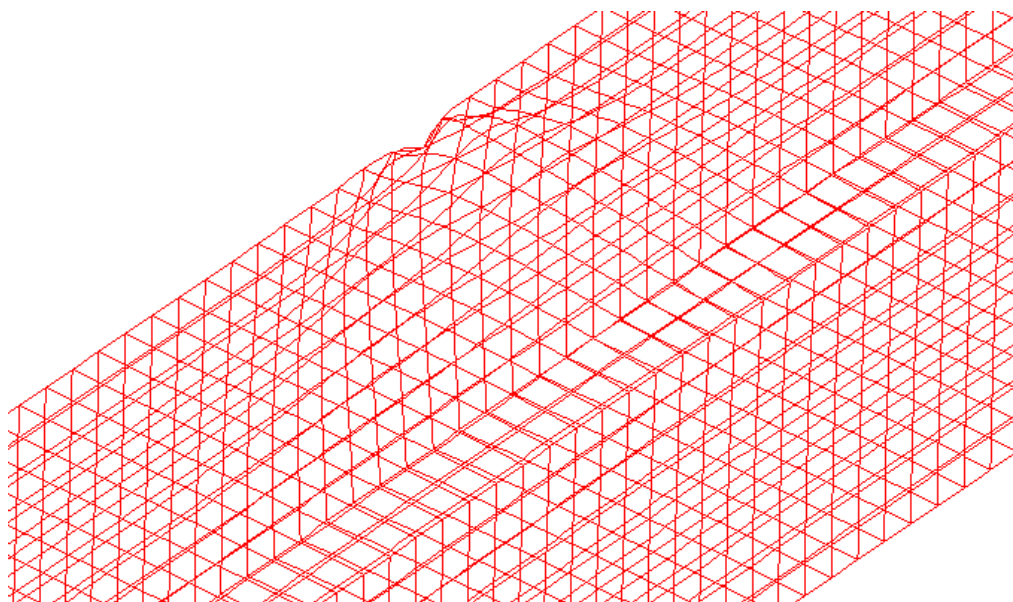


Figura 39 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Centro do vão da Laje Superior

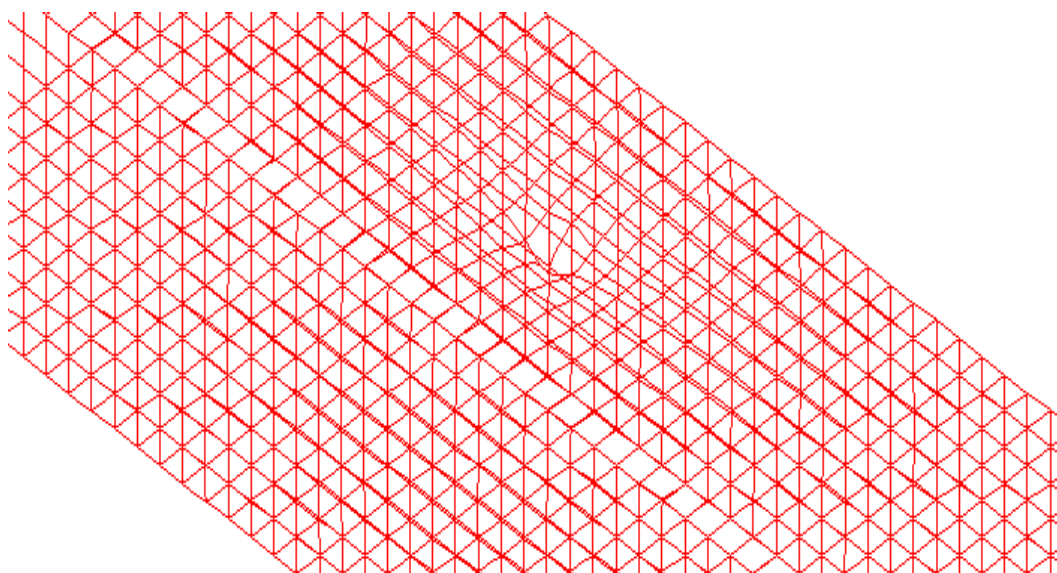


Figura 40 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Borda do vão da Laje Inferior

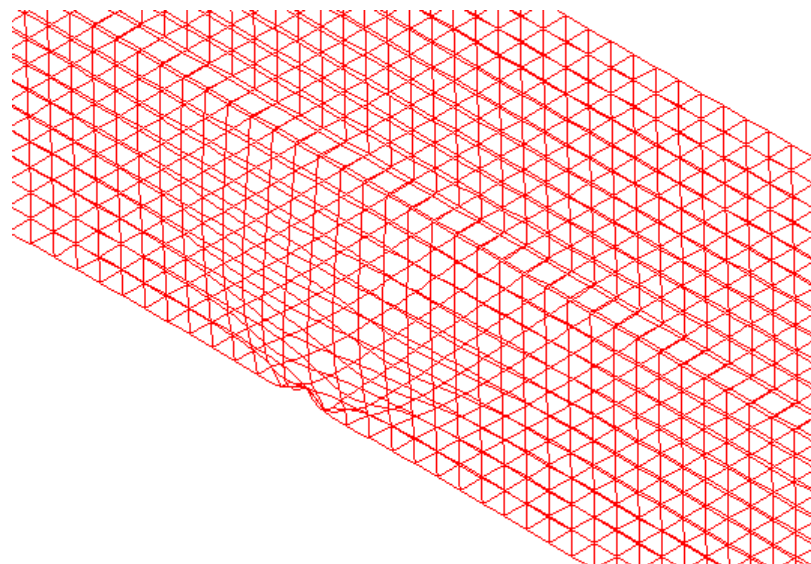
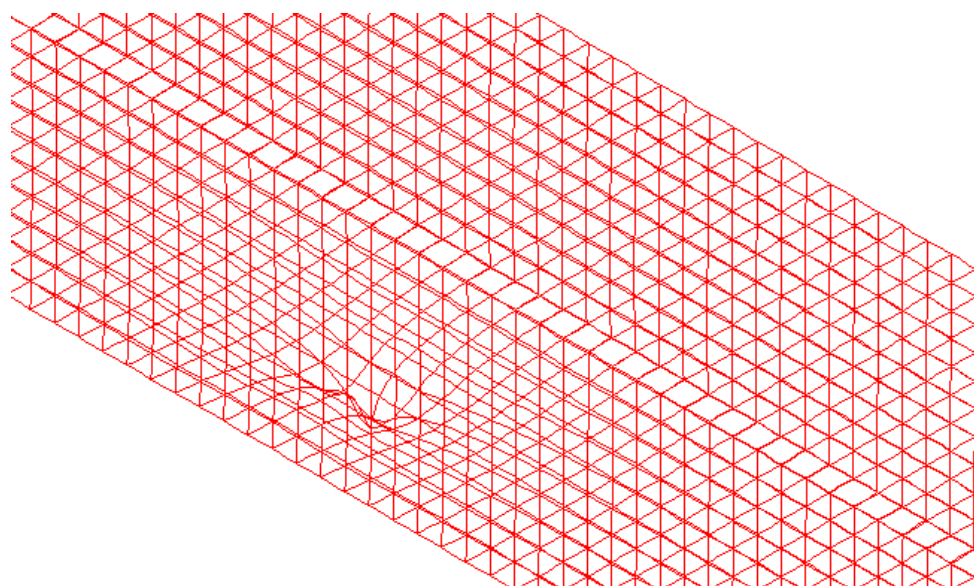


Figura 41 – Vista 3D – Superfície de Influência – Barra Transversal – Centro – Centro do vão da Laje Inferior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	70/127

18.2 Cargas Aplicadas

18.2.1 Permanentes

Figura 42 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Inferior

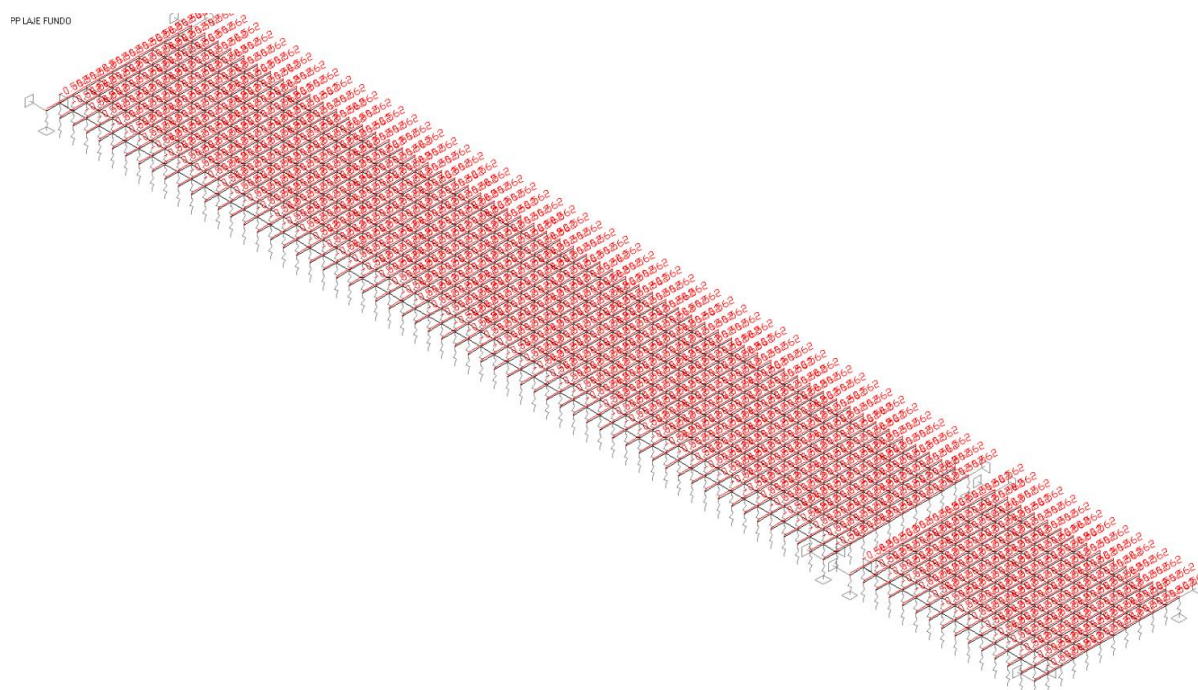
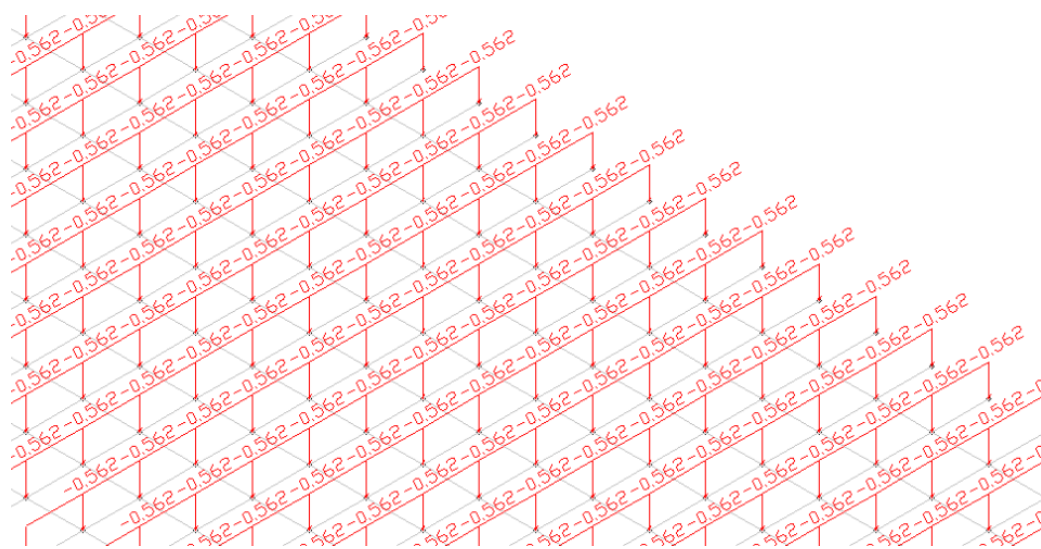


Figura 43 – Vista 3D em zoom – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Inferior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	71/127

Figura 44 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) da Laje Superior

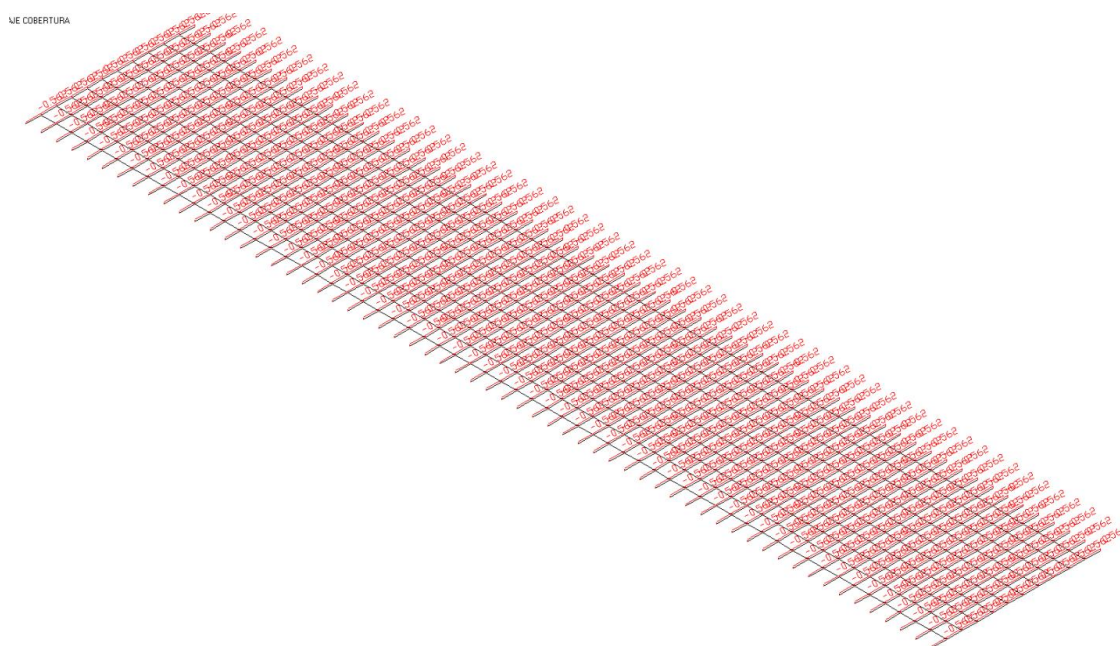
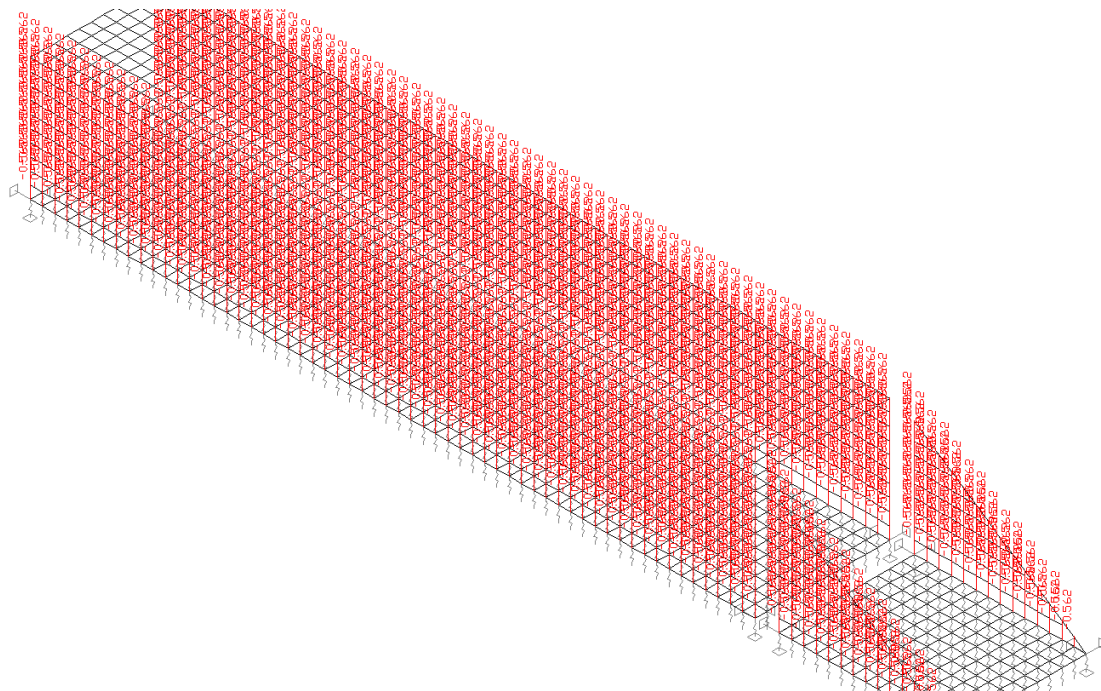


Figura 45 – Vista 3D – Carregamento – Peso Próprio (g1) das Paredes Laterais



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	72/127

Figura 46 – Vista 3D – Carregamento – Lastro, Trilhos e Dormentes sem Aterro (g2) – Região Central

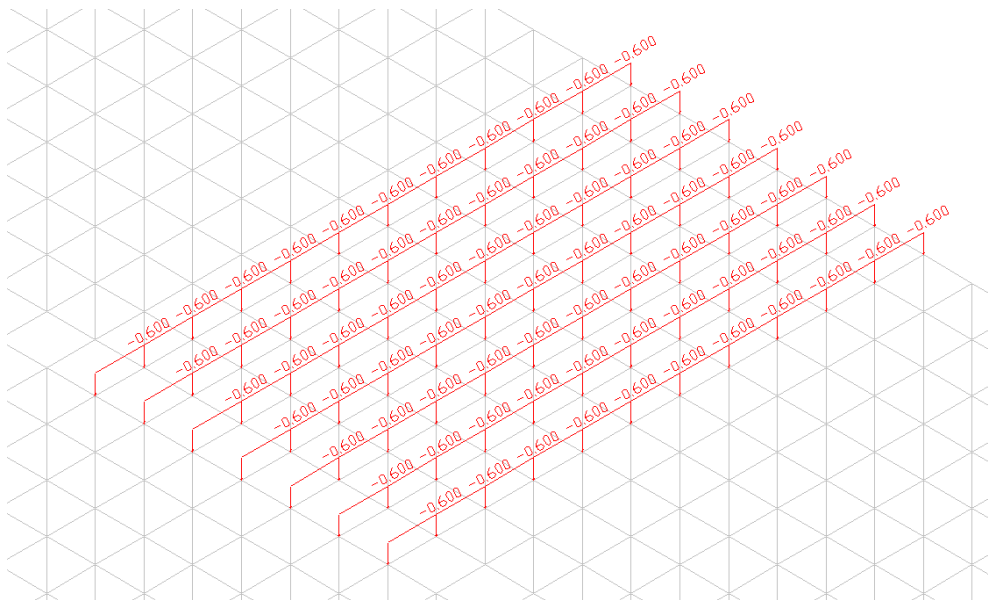
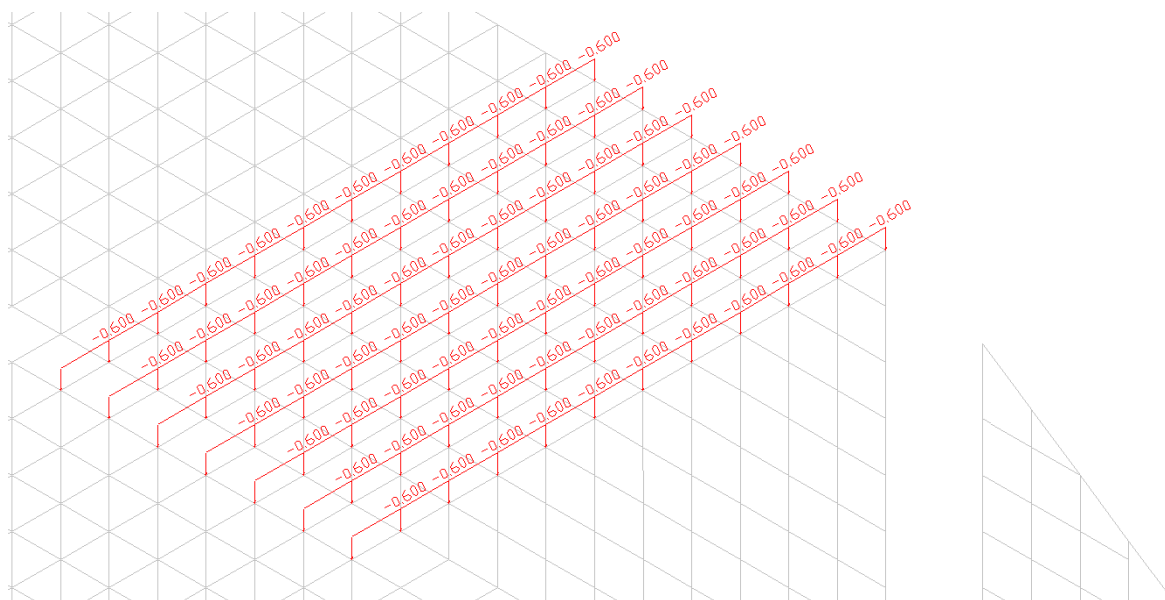
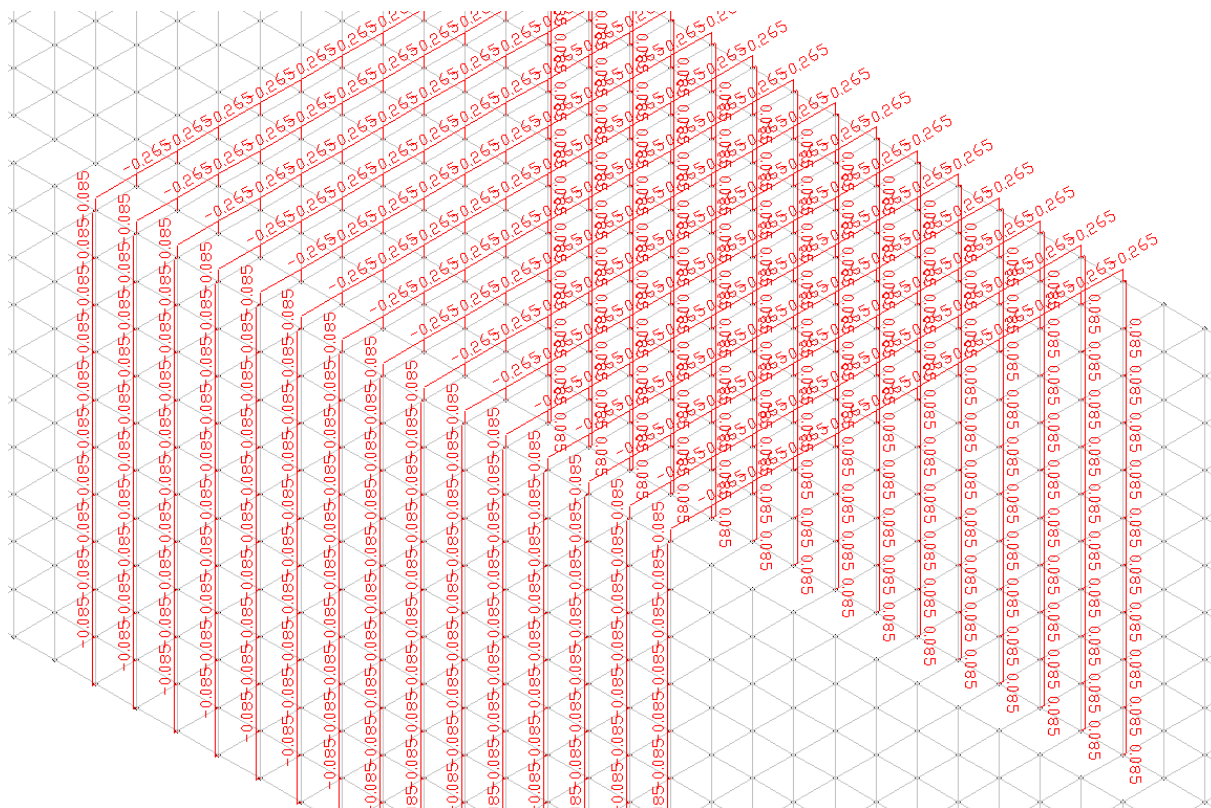


Figura 47 – Vista 3D – Carregamento – Lastro, Trilhos e Dormentes sem Aterro (g2) – Extremidades



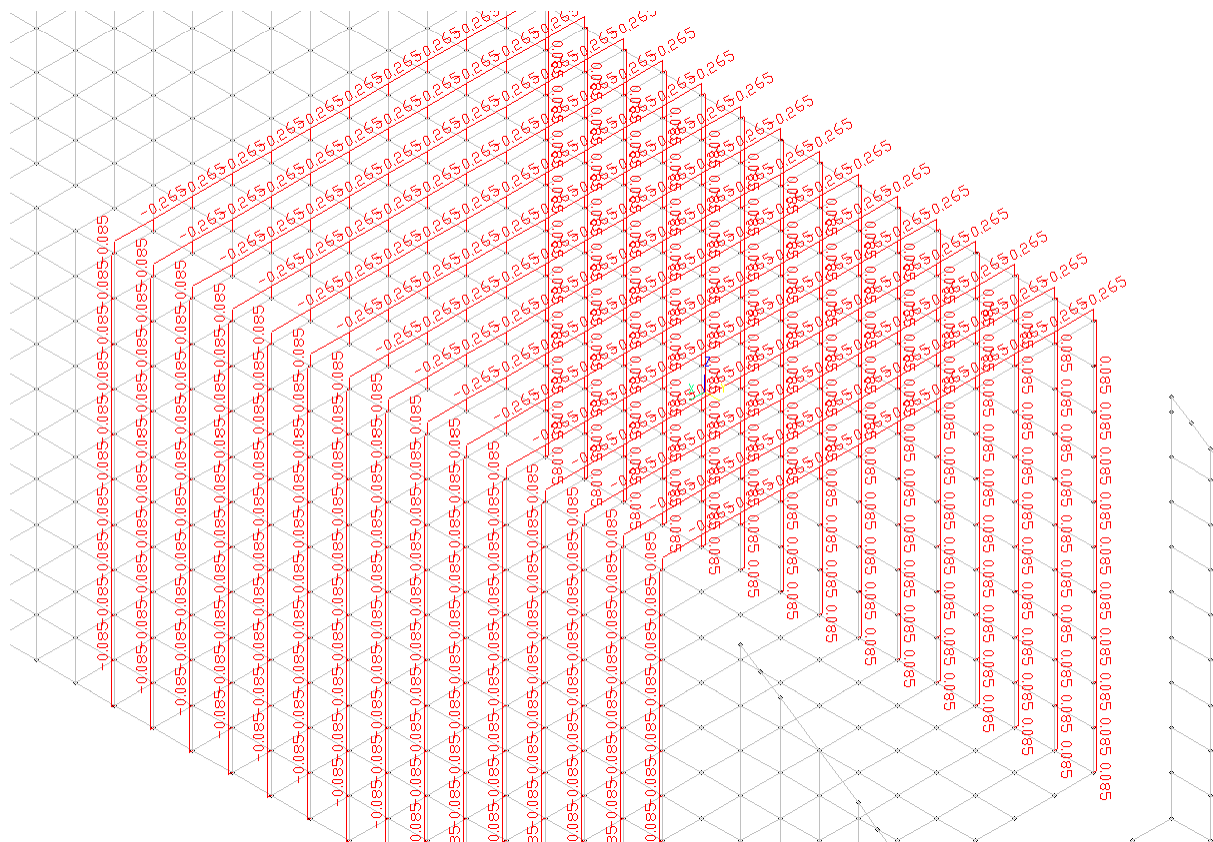
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	73/127

Figura 48 – Vista 3D – Carregamento Lastro, Trilhos e Dormentes em Aterro de 4 metros (g6 e g7) – Região Central – Método de Rankine



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	74/127

Figura 49 – Vista 3D – Carregamento Lastro, Trilhos e Dormentes em Aterro de 4 metros (g6 e g7) – Região de Extremidade – Rankine



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	75/127

Figura 50 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)

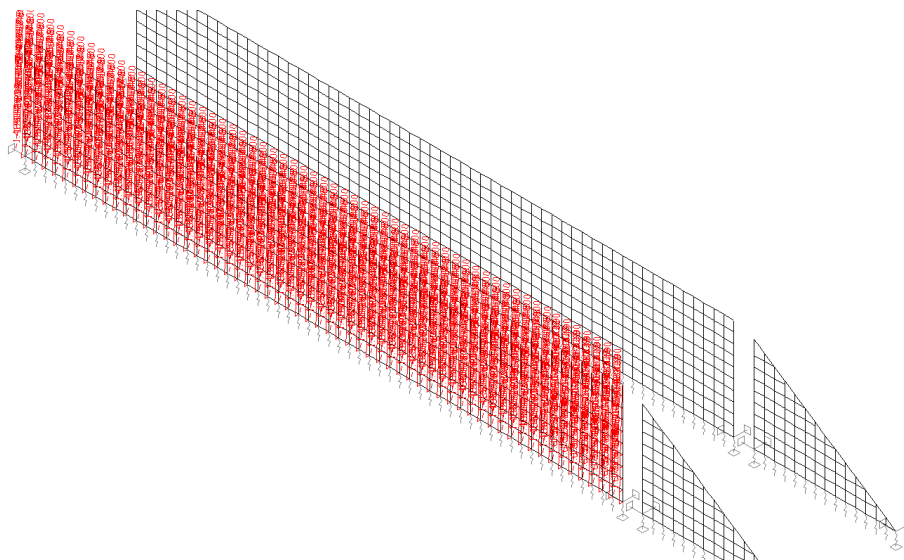
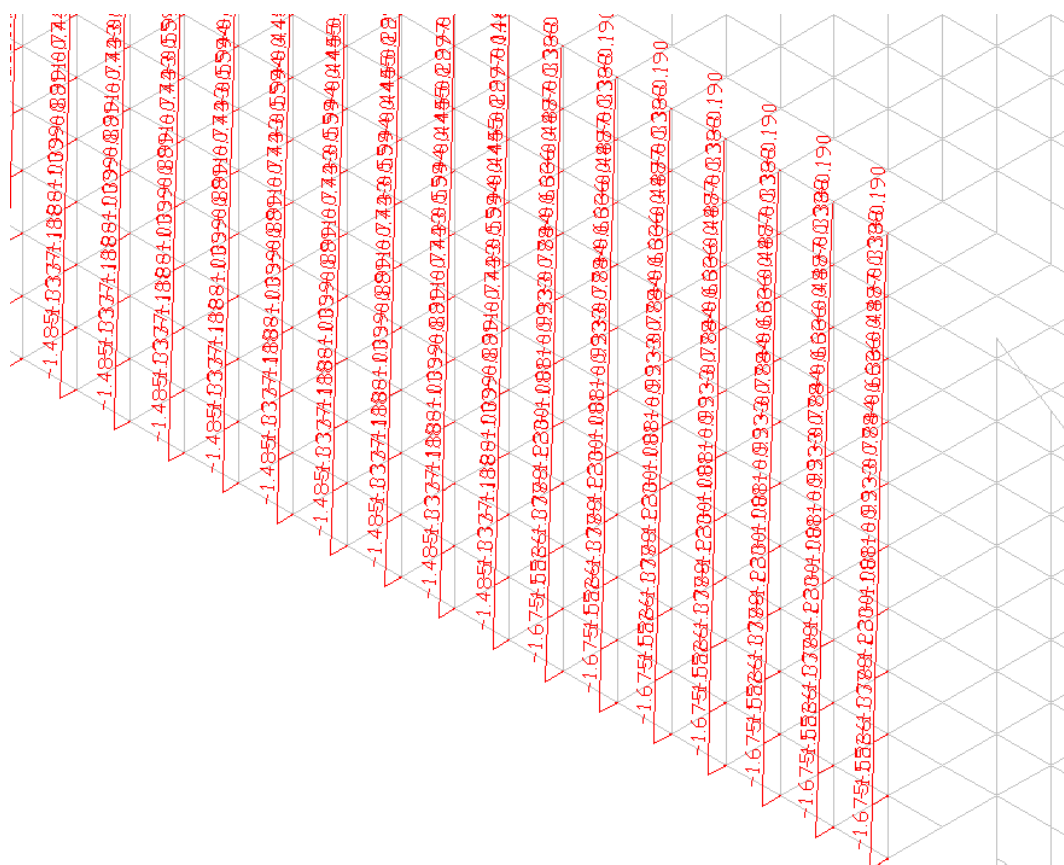


Figura 51 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	76/127

Figura 52 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Coulomb – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)

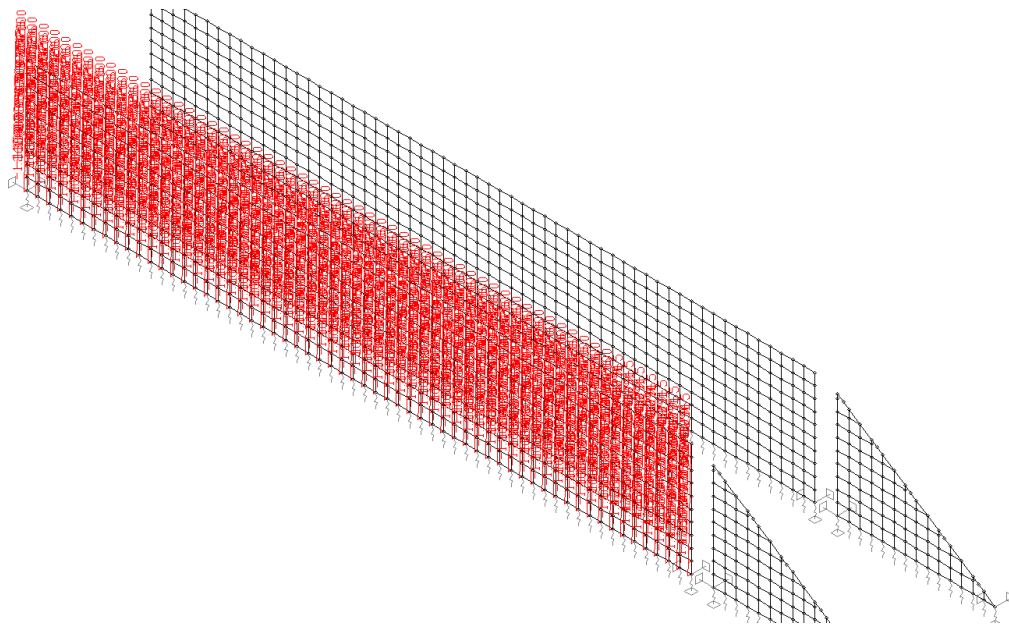
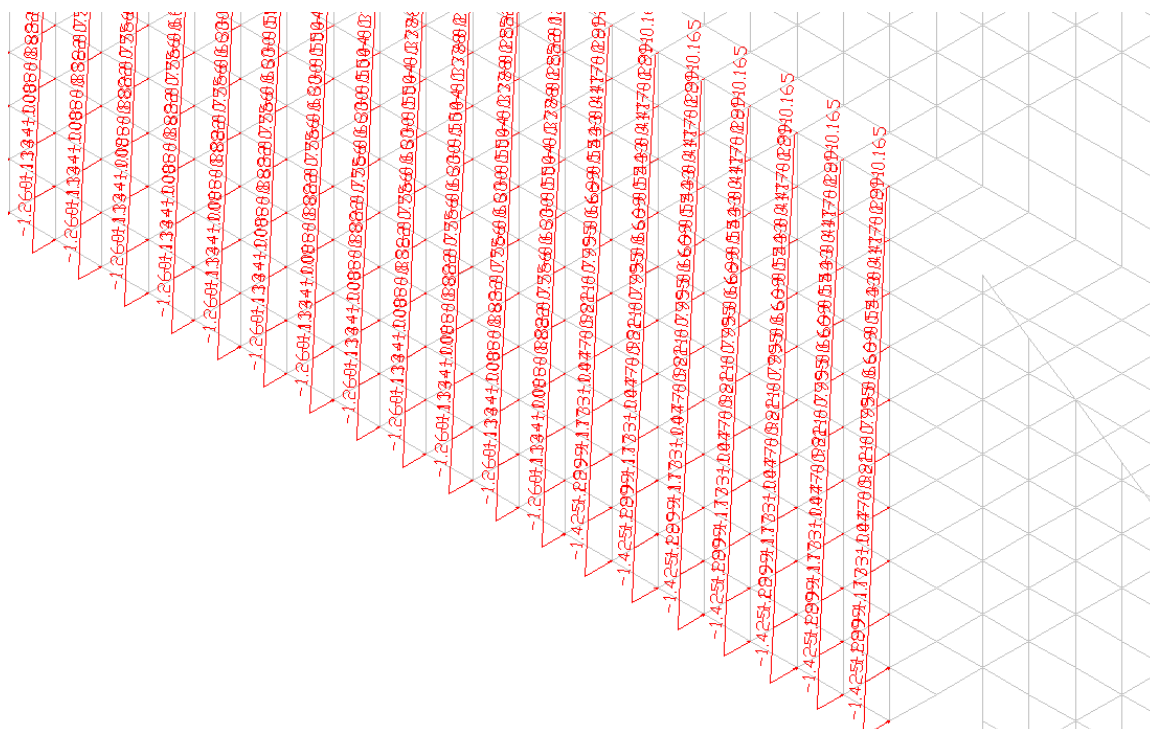


Figura 53 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Coulomb – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	77/127

Figura 54 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na extremidade (g3 e g4)

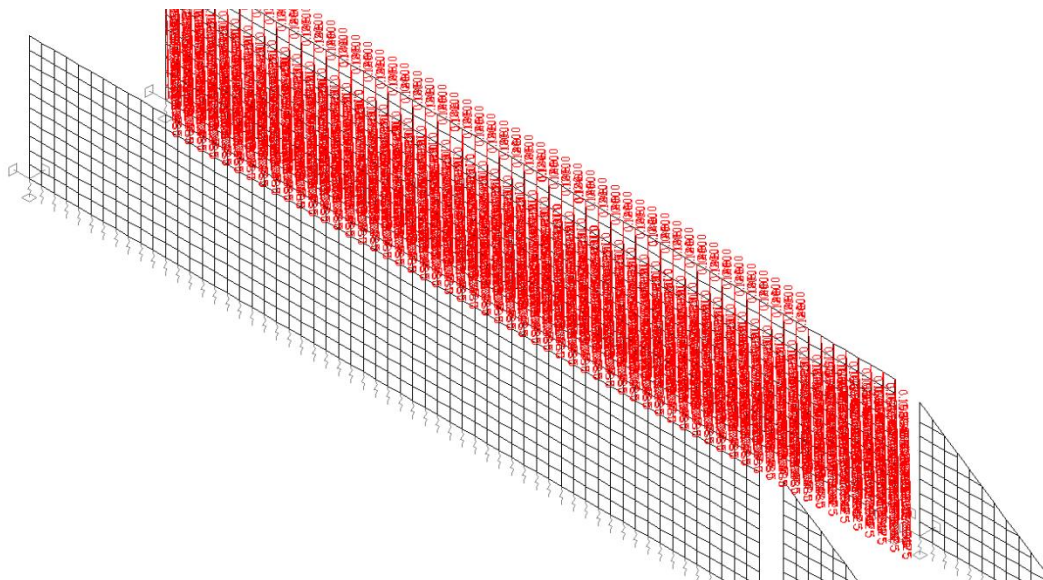
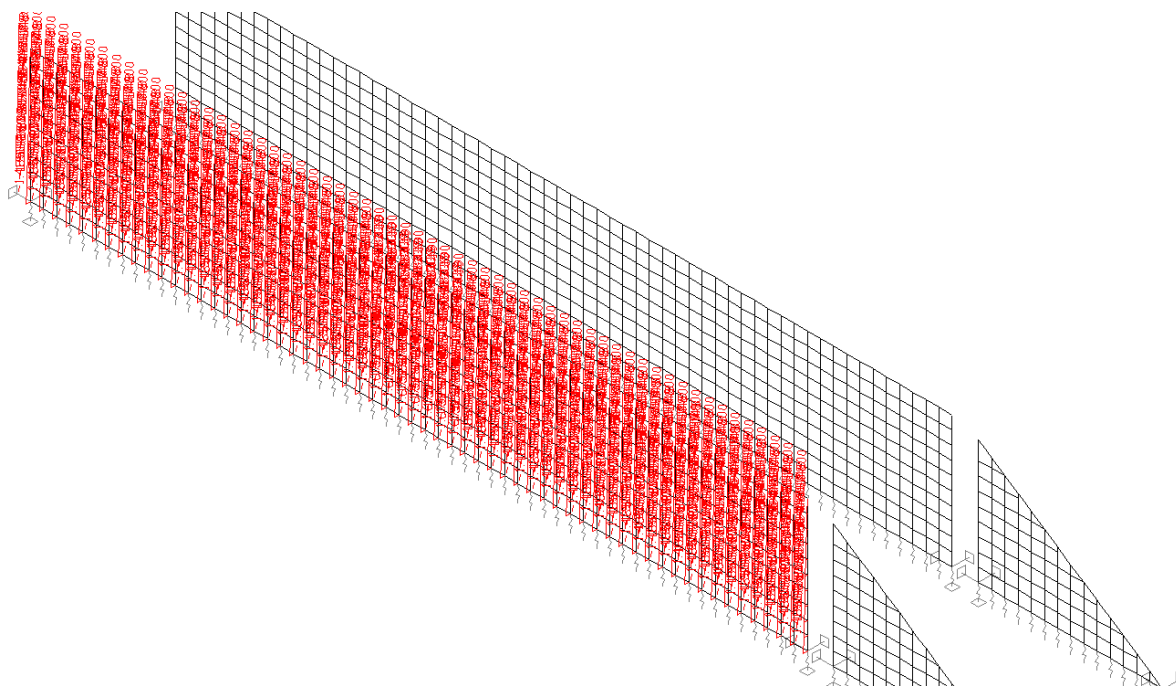


Figura 55 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	78/127

Figura 56 – Vista 3D Zoom – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4)

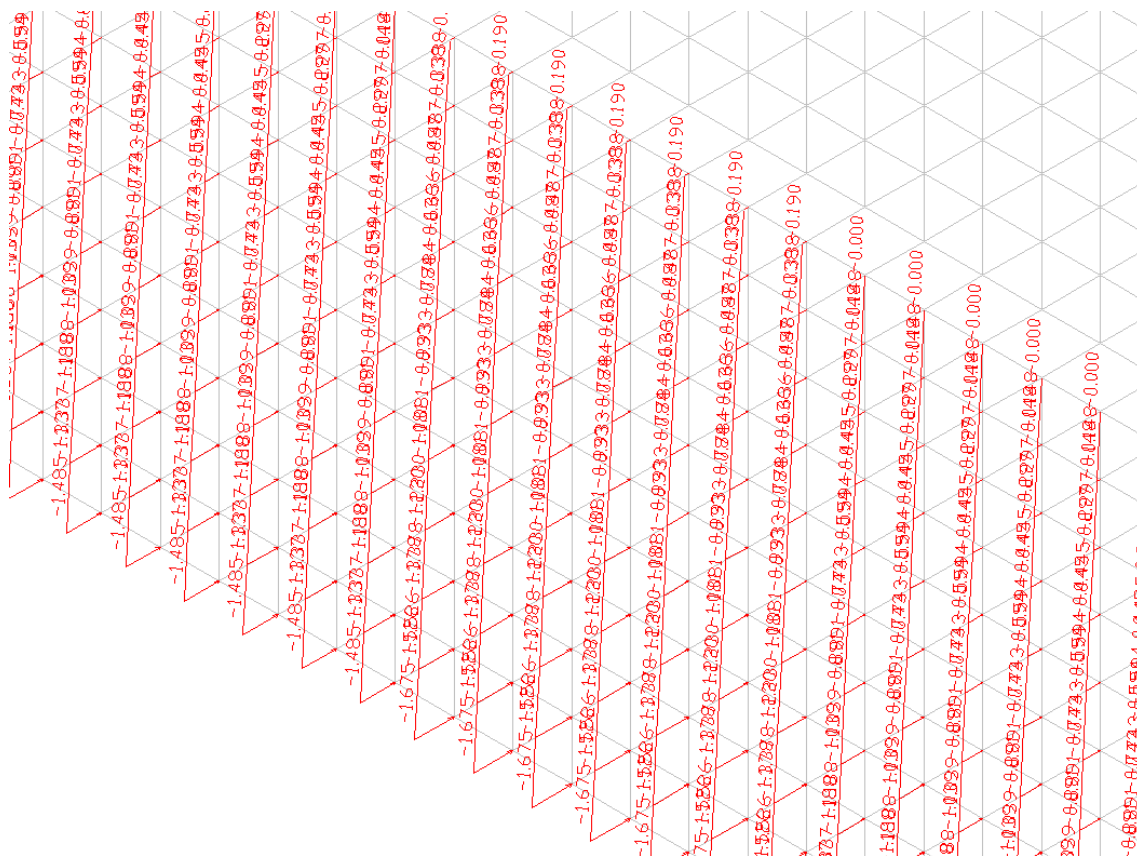
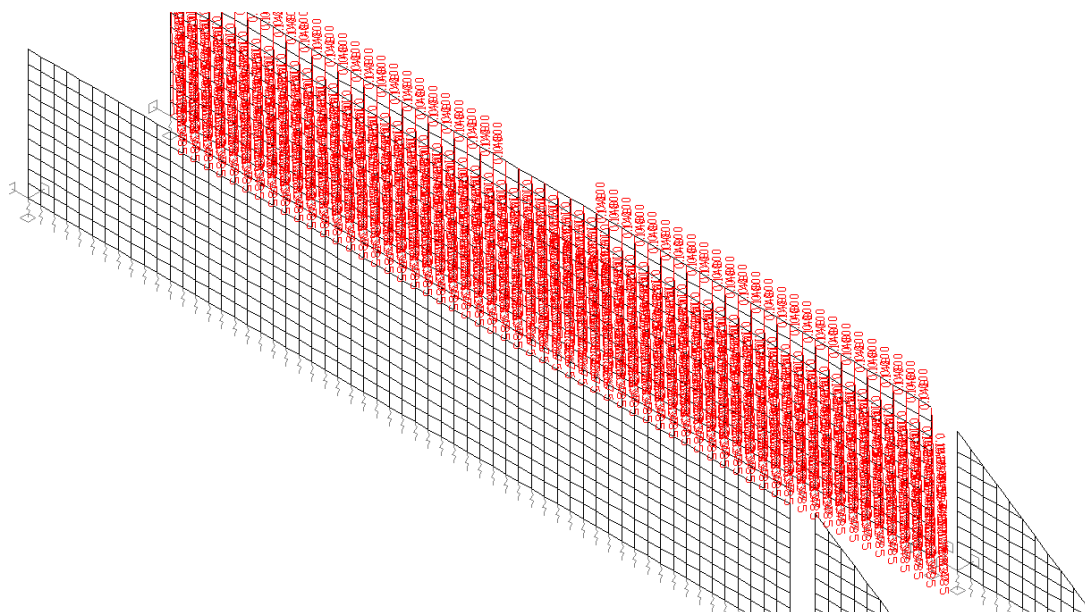


Figura 57 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Com sobrecarga da via permanente na região central (g3 e g4)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	79/127

Figura 58 – Vista 3D – Carregamento – Parede Direita Método de Rankine – Sem sobrecarga da via permanente (g4)

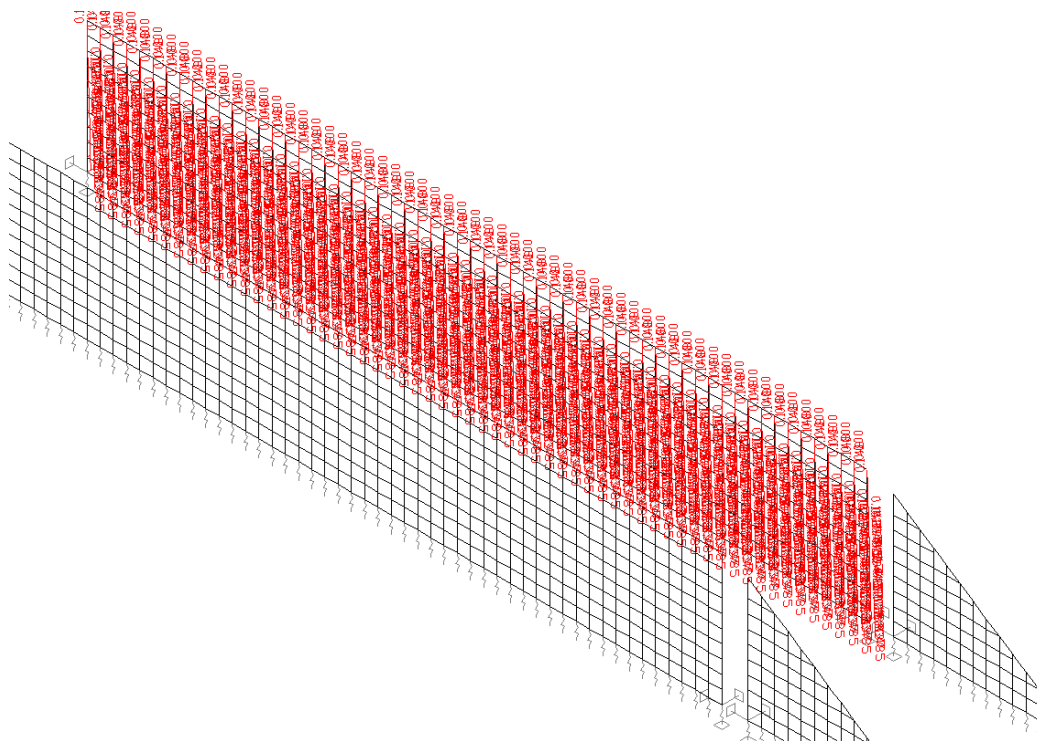
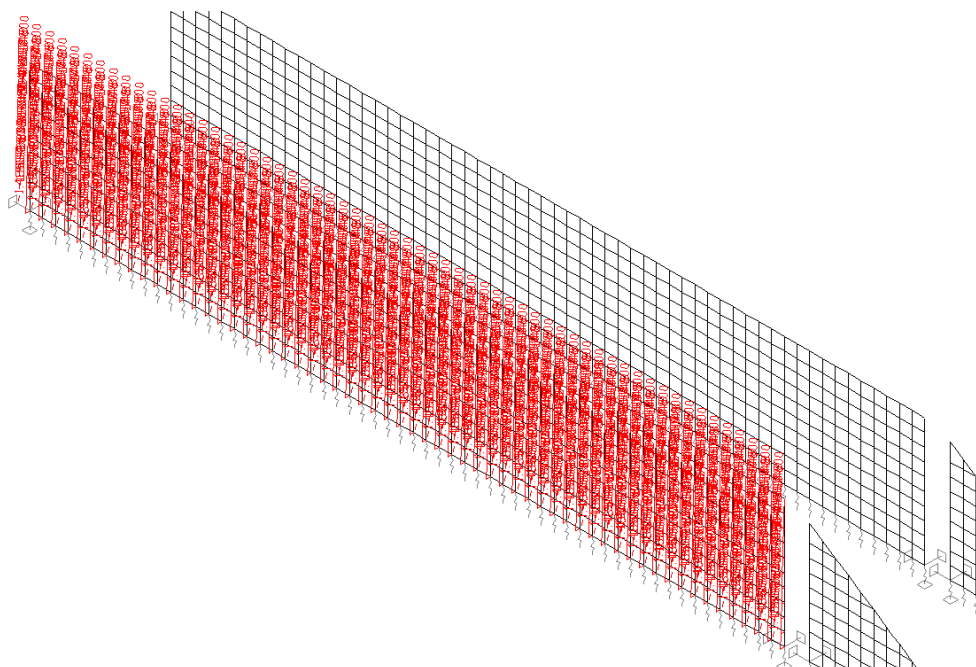
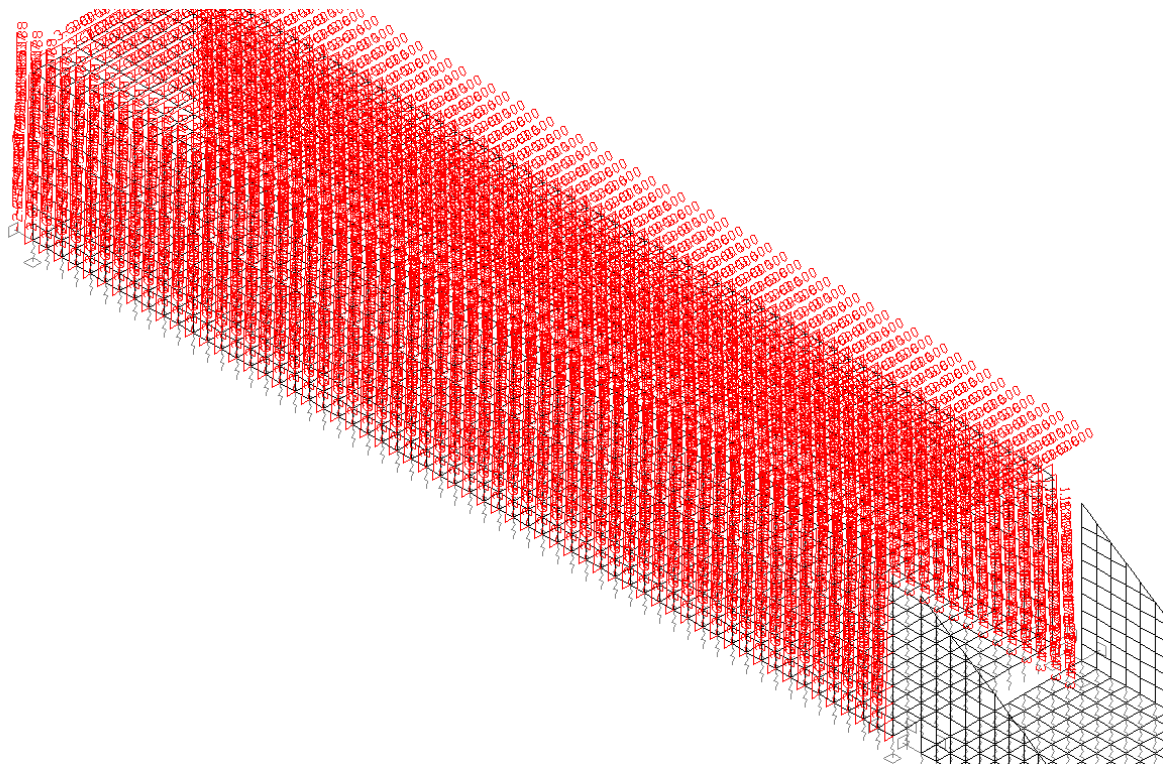


Figura 59 – Vista 3D – Carregamento – Parede Esquerda Método de Rankine – Sem sobrecarga da via permanente (g4)



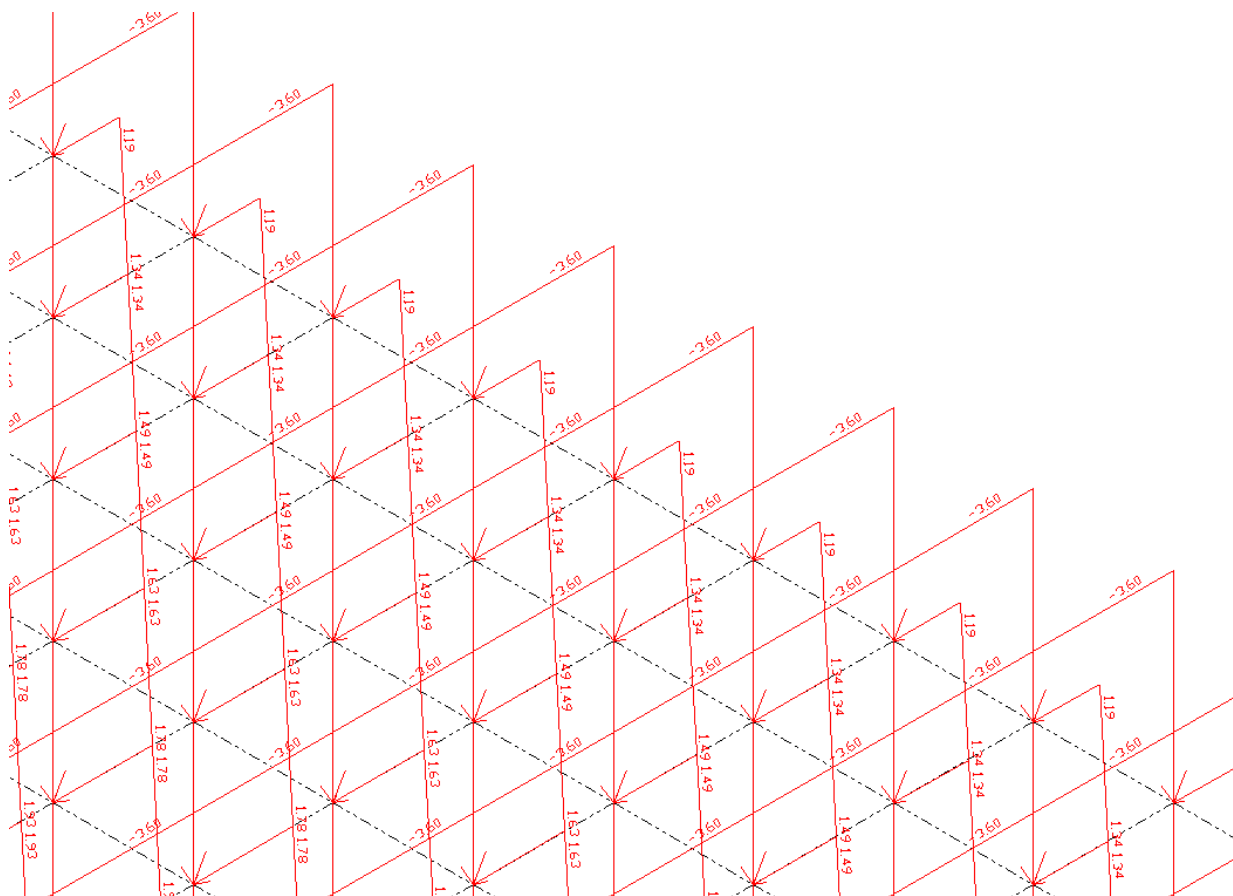
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	80/127

Figura 60 – Vista 3D – Carregamento Aterro de 4 metros e Empuxo – Método de Rankine (g8, g9 e g10)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	81/127

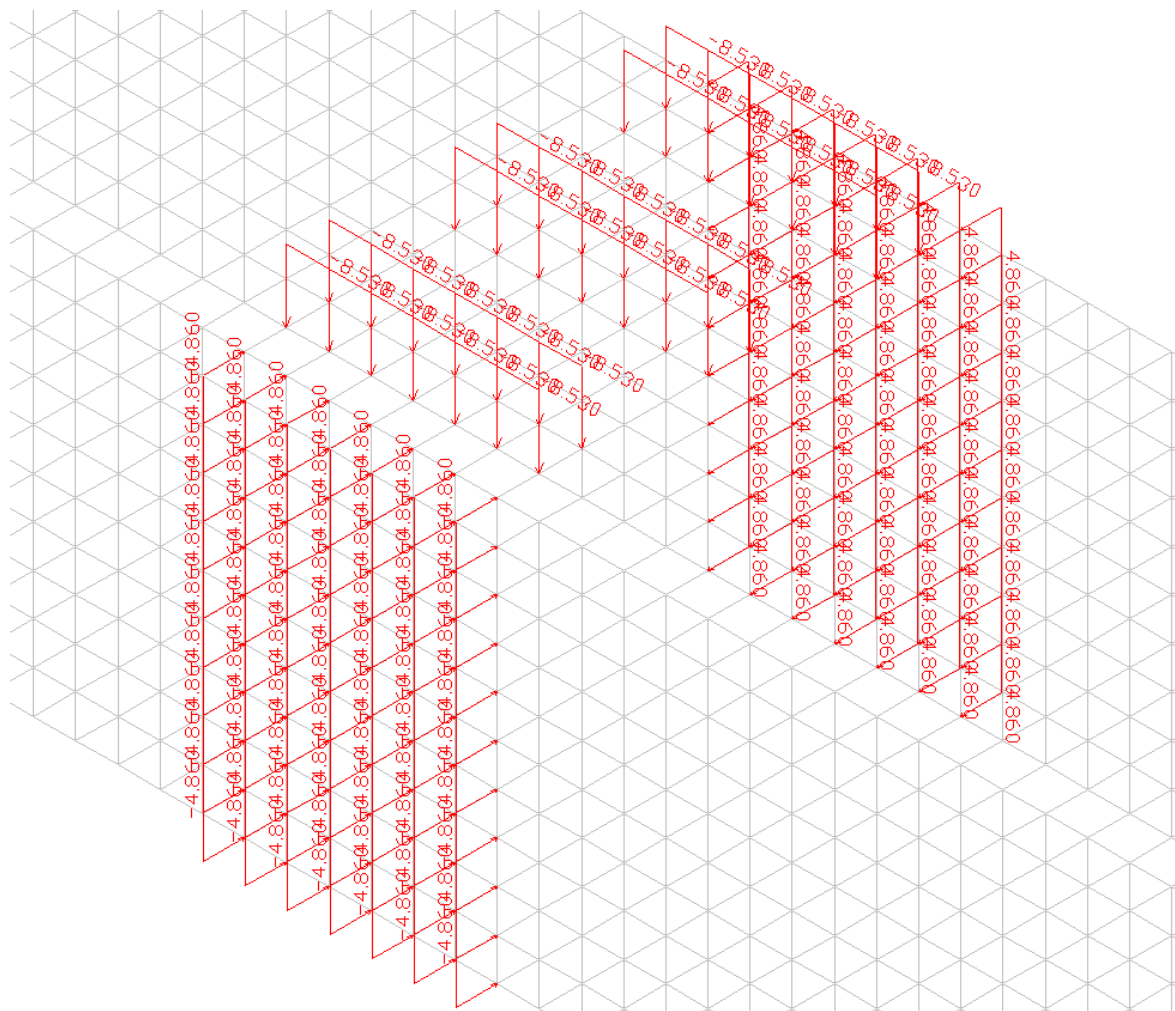
Figura 61 – Vista 3D Zoom – Carregamento Aterro de 4 metros e Empuxo – Método de Rankine (g8, g9 e g10)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	82/127

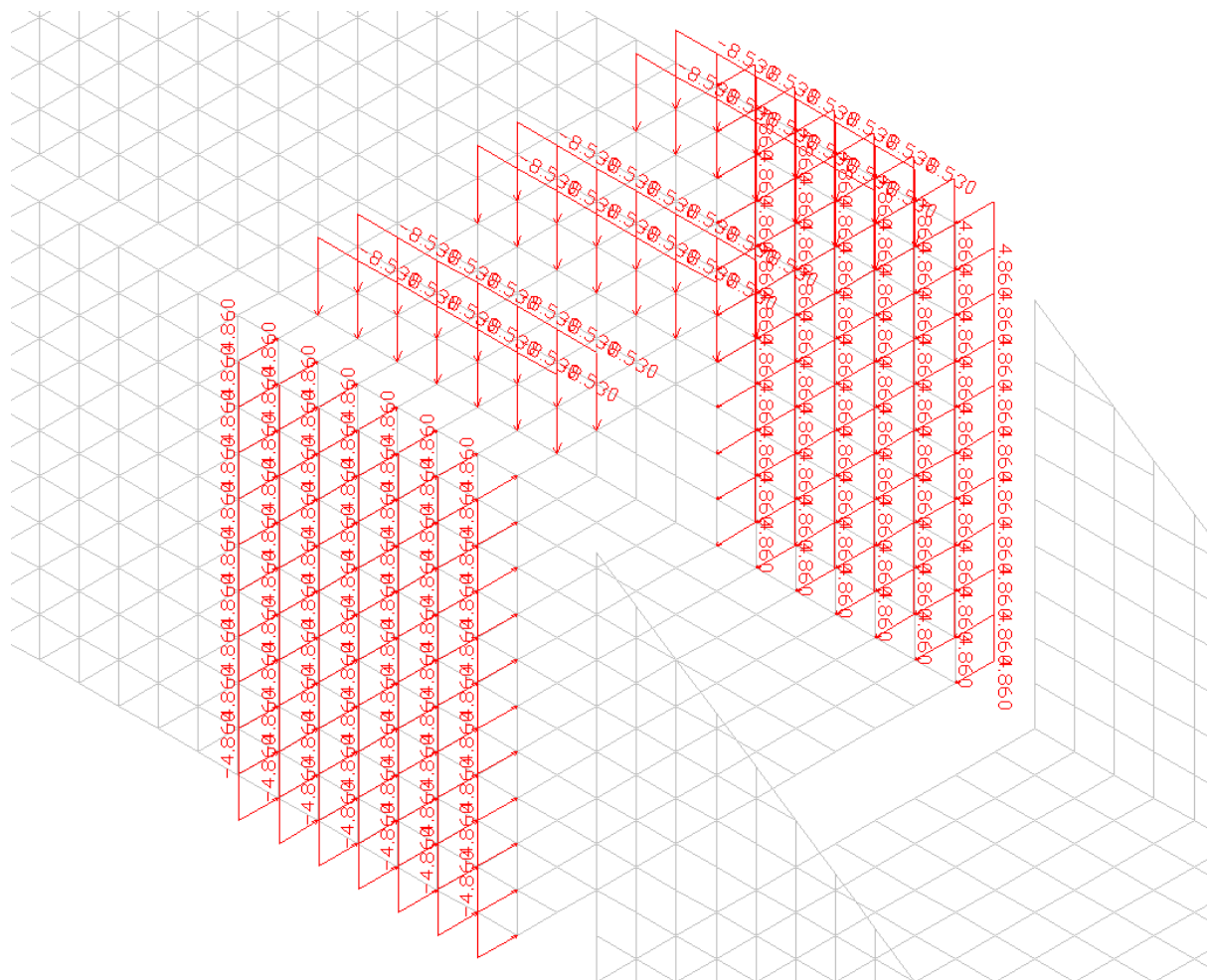
18.2.2 Trem Tipo Ferroviário VALEC

Figura 62 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Centrado – Região Central – Método de Rankine (q1 e q2 nas duas paredes)



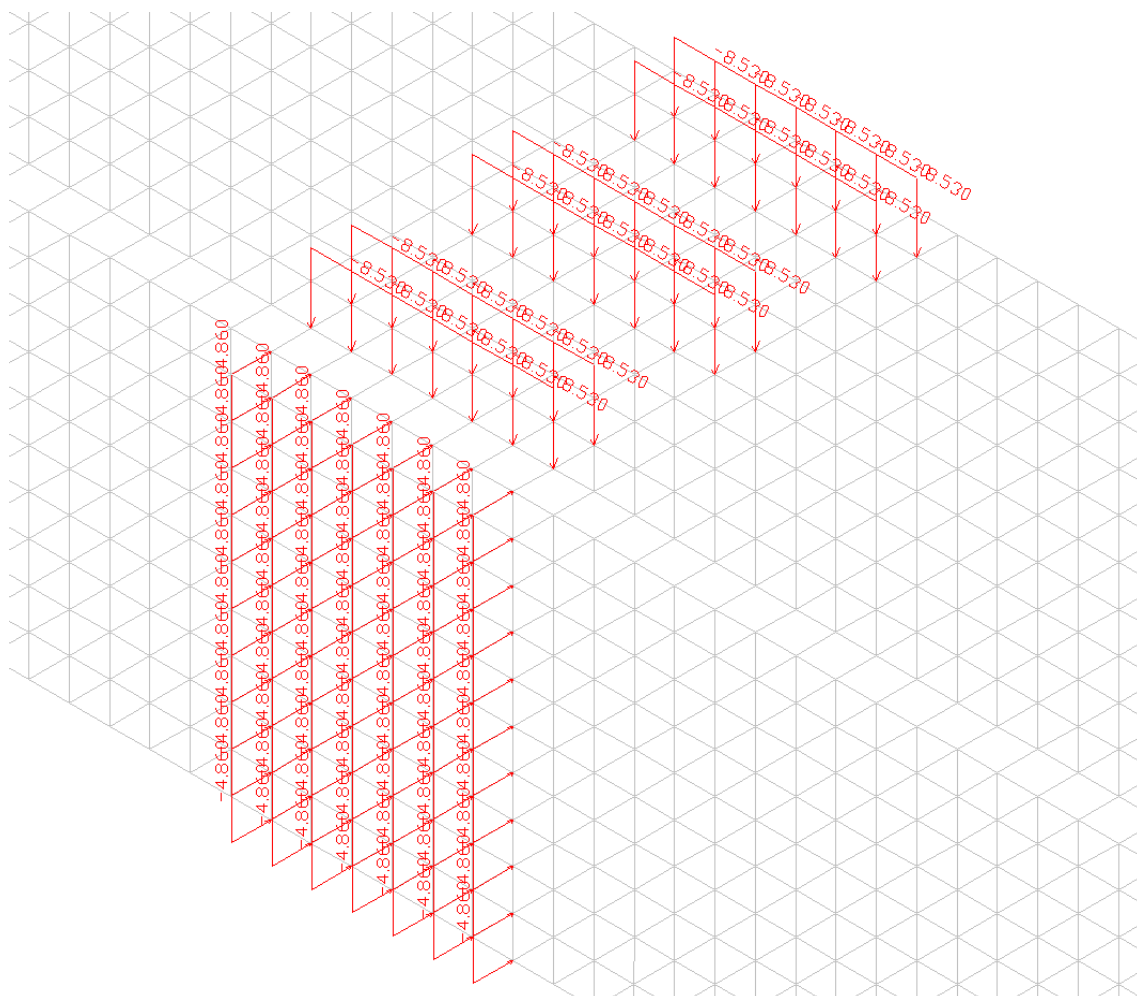
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	83/127

Figura 63 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Centrado – Região de Extremidade – Método de Rankine (q1 e q2 nas duas paredes)



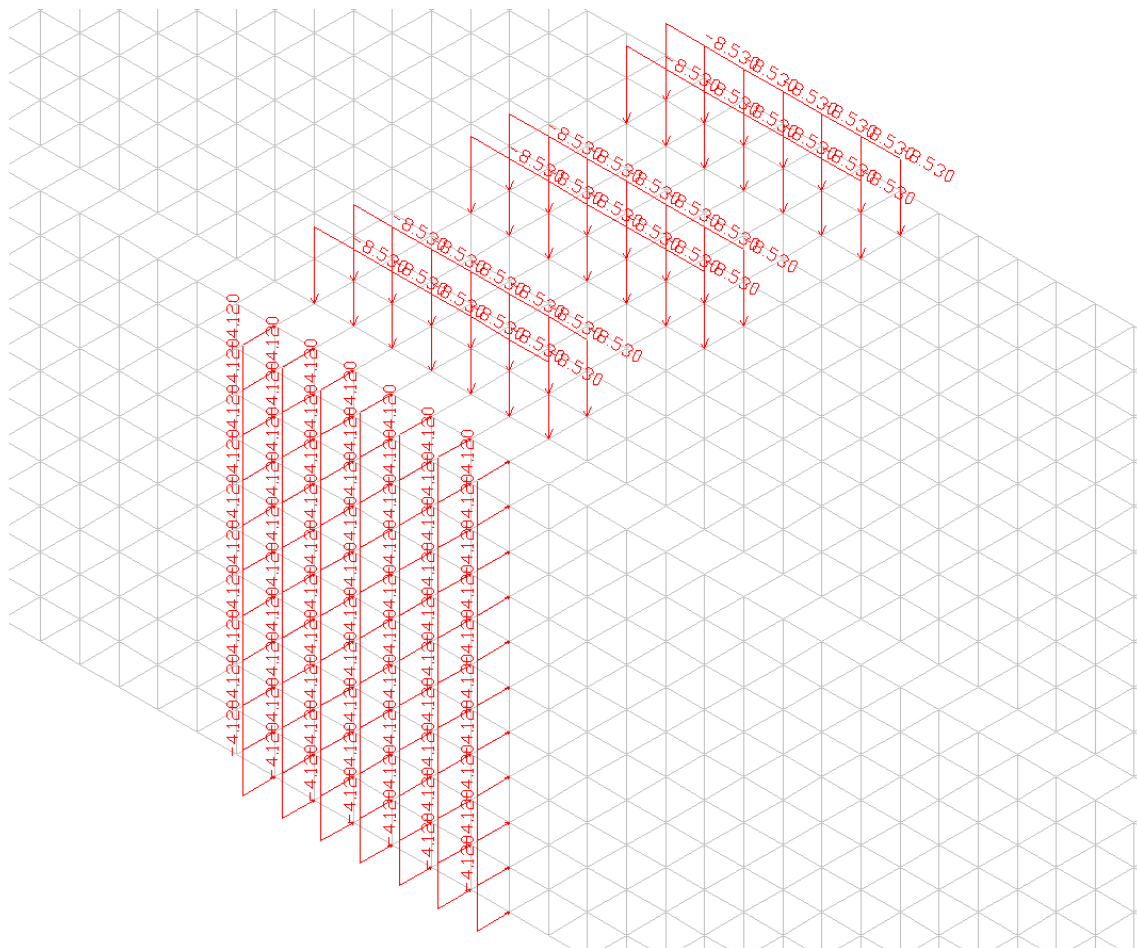
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	84/127

Figura 64 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Entrando – Região Central – Método de Rankine (q_1 e q_2 na parede esquerda)



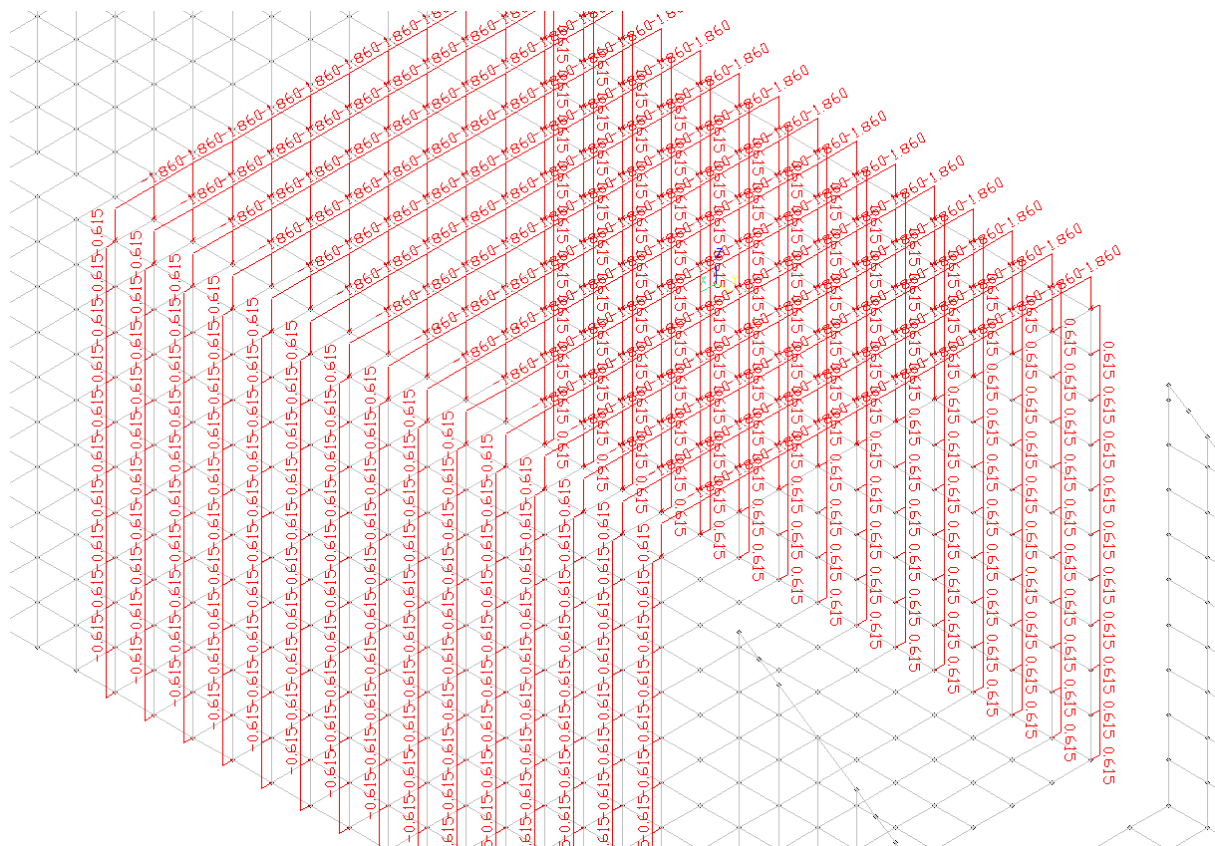
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	85/127

Figura 65 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário Entrando – Região Central – Método de Coubomb (q1 e q2 na parede esquerda)



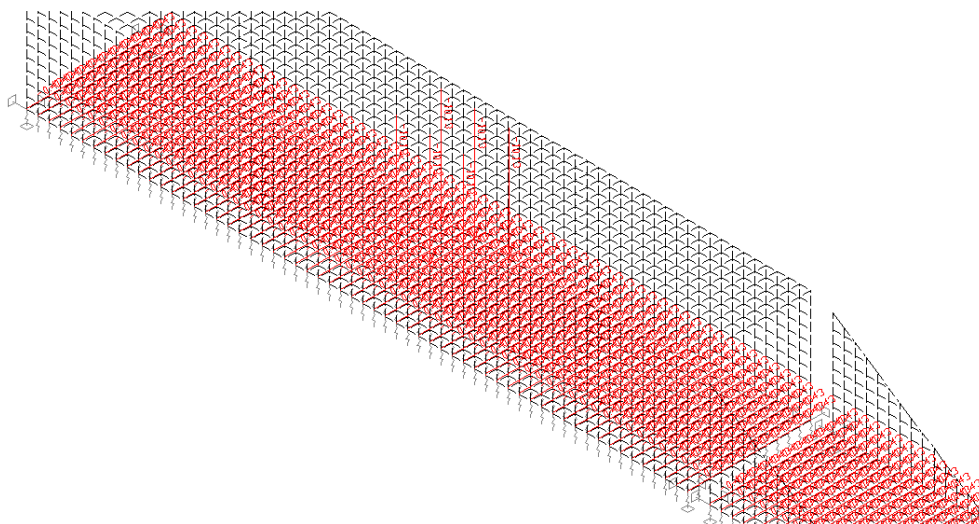
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	86/127

Figura 66 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Ferroviário – Região de Extremidade – Método de Coubomb (q3 e q4)



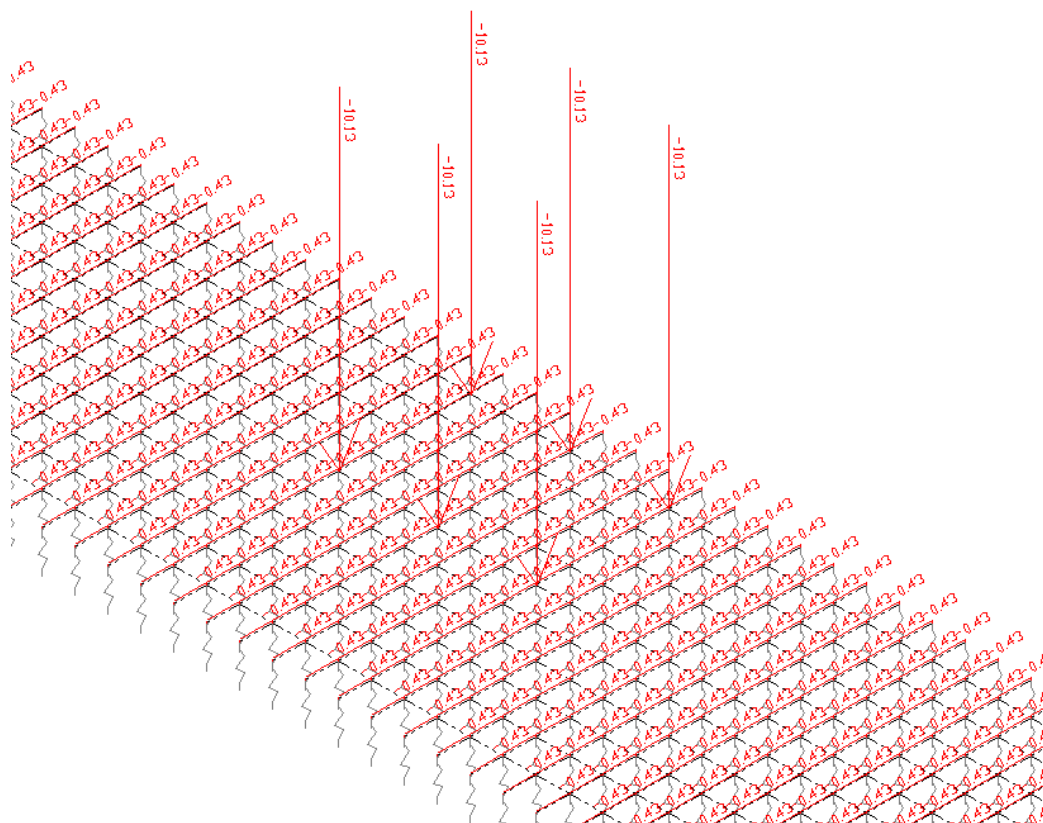
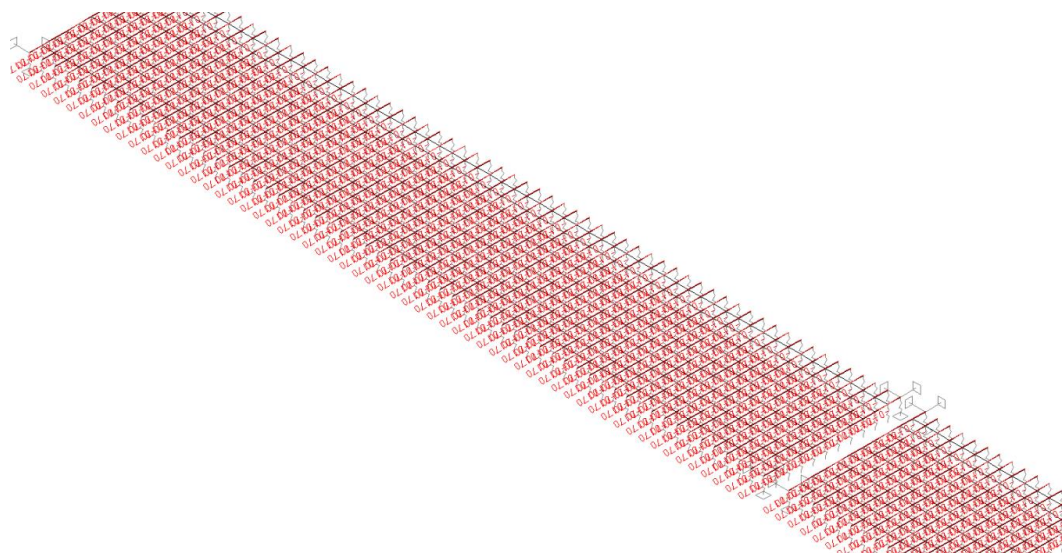
18.2.3 Laje Inferior

Figura 67 – Vista 3D – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Região Central (q e Q do item 9)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	87/127

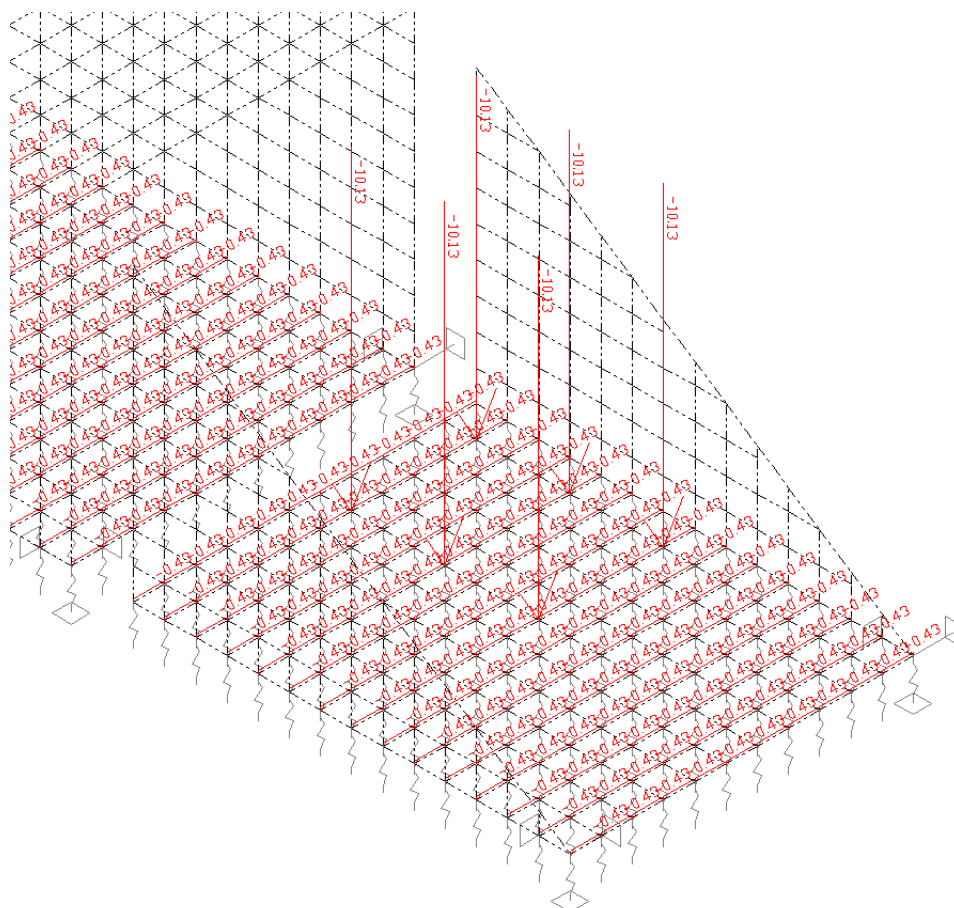
Figura 68 – Vista 3D Zoom – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Região Central (q e Q do item 9)

Figura 69 – Vista 3D – Carregamento Pavimentação na Laje Inferior (g_{pav})

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	88/127

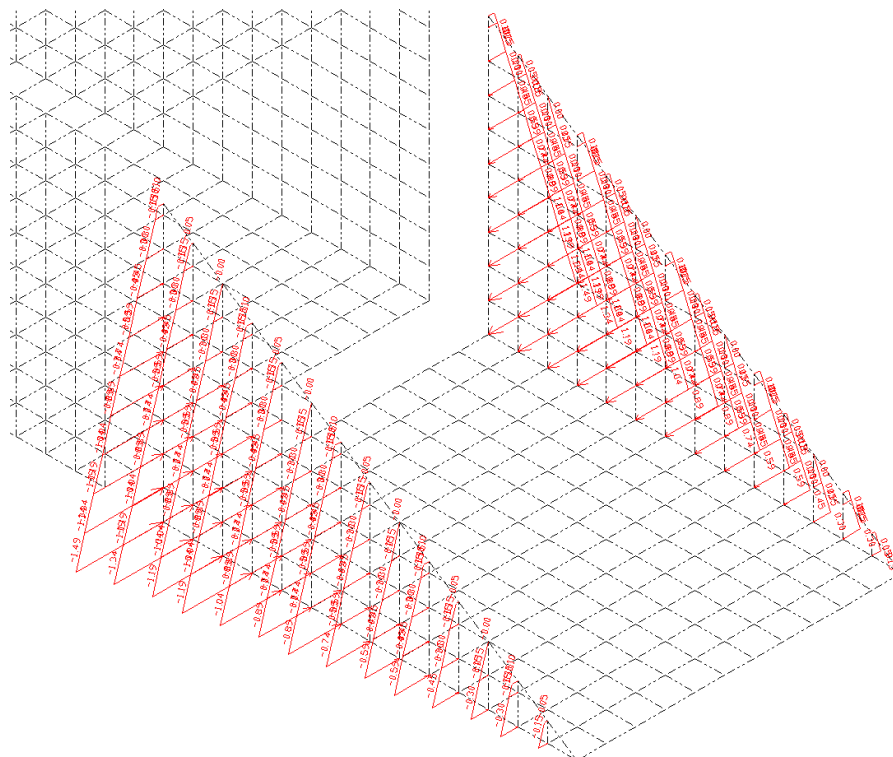
18.2.4 Bocas

Figura 70 – Vista 3D Zoom – Carregamento Trem Tipo Rodoviário – Na Boca (q e Q do item 9)



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	89/127

Figura 71 – Vista 3D – Carregamento Empuxo do Aterro nas Parede – Na Boca – Método de Rankine (g5)



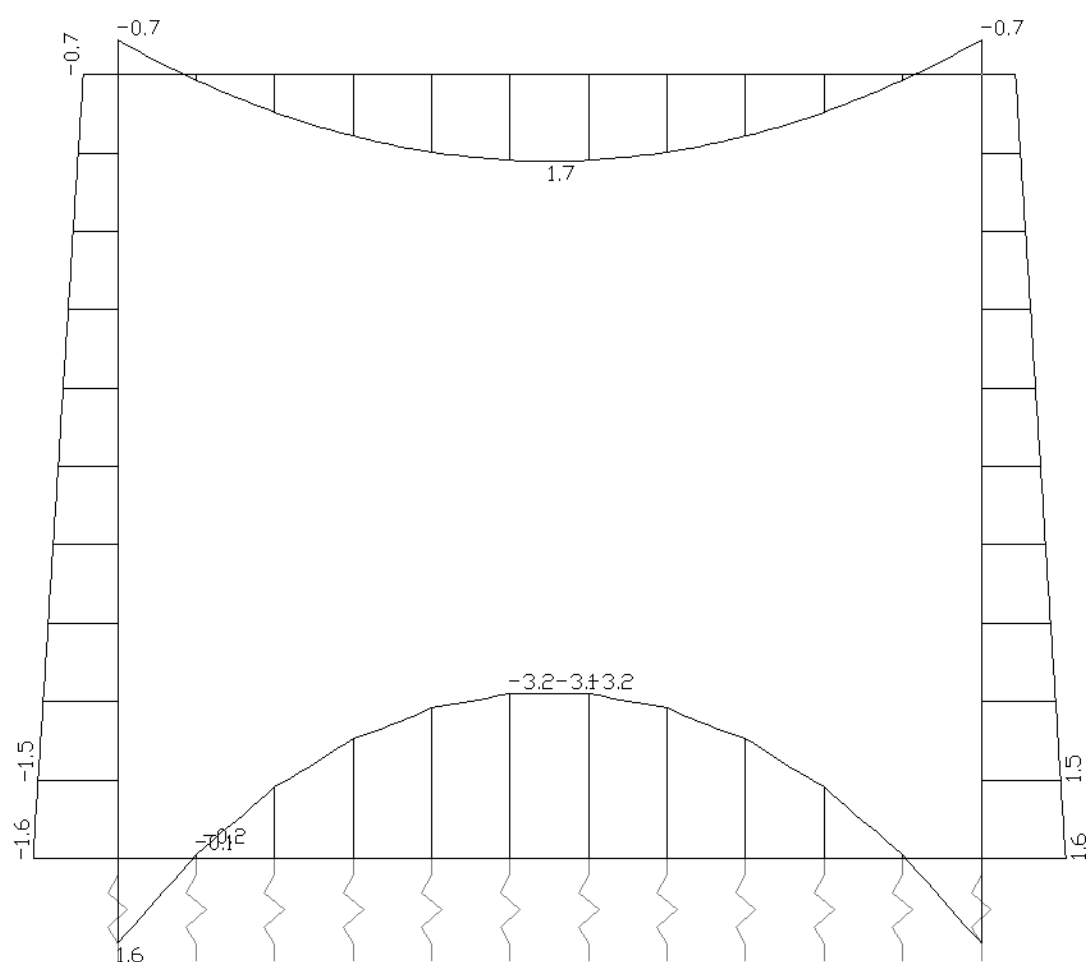
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	90/127

18.3 Solicitações

18.3.1 Momento Fletor

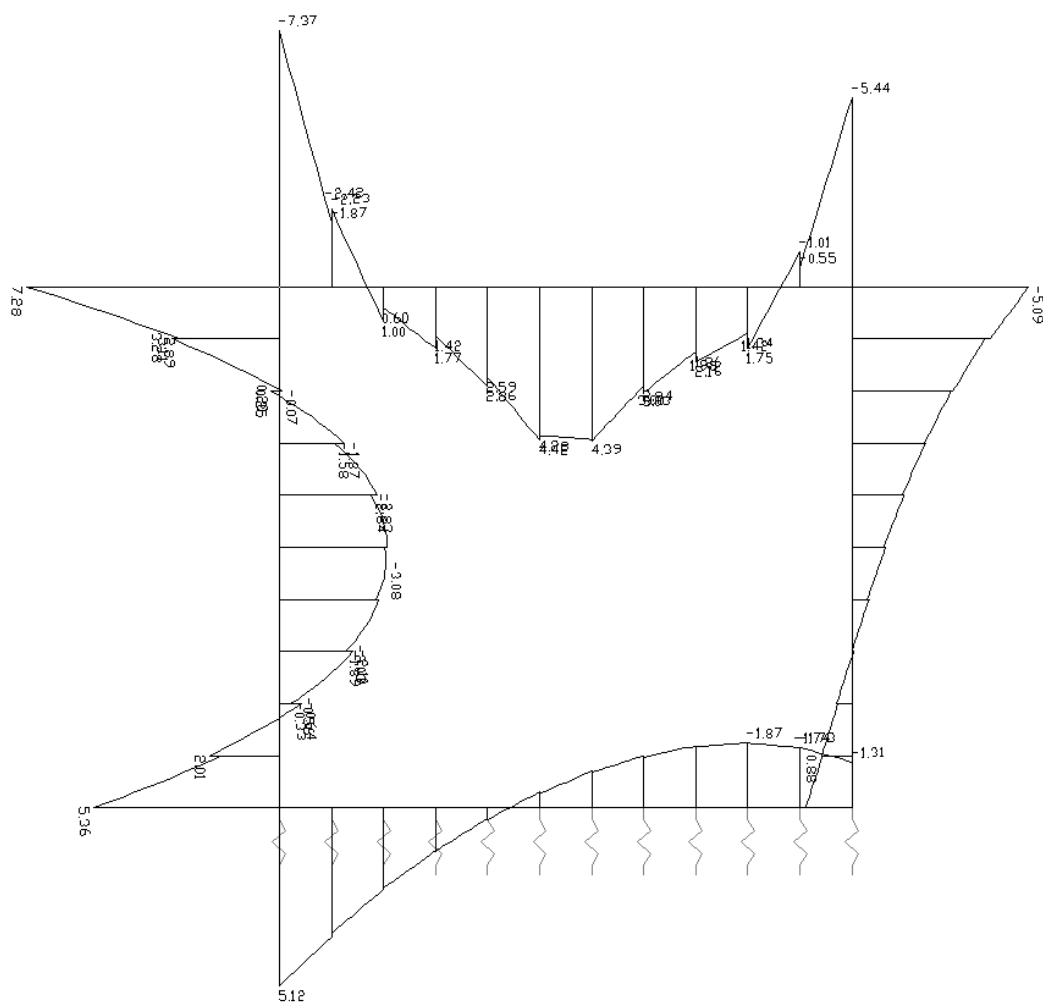
Unidades em tf.m/barra (toneladas força metro por barra do modelo), sendo que cada barra representa 50cm de largura.

Figura 72 – Seção Transversal – Momento Fletor – Peso Próprio – g1 definido em 7.1



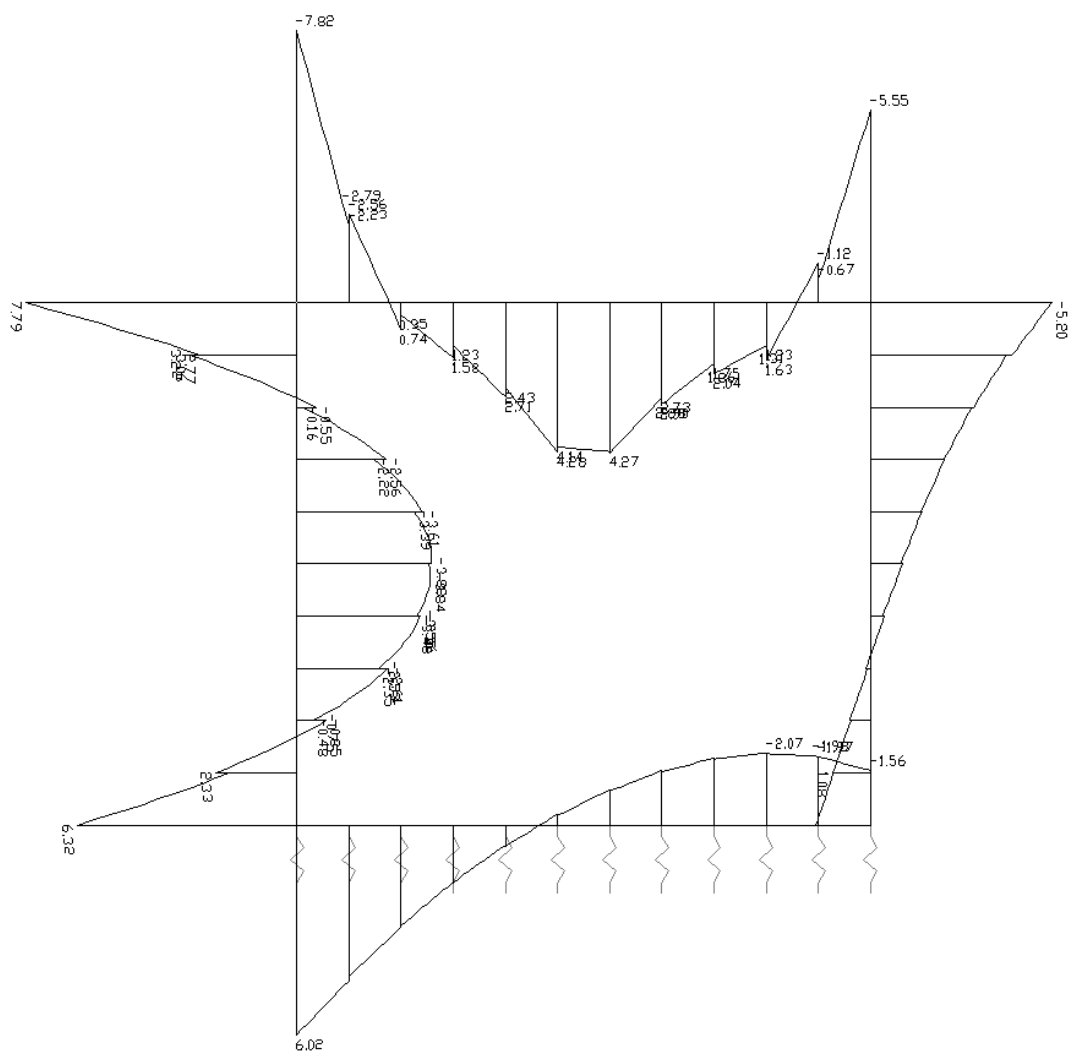
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	91/127

Figura 73 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Entrando – q1 na laje superior definido em 8.2.1 e q2 definido em 8.2.2 apenas na parede esquerda – Coulomb



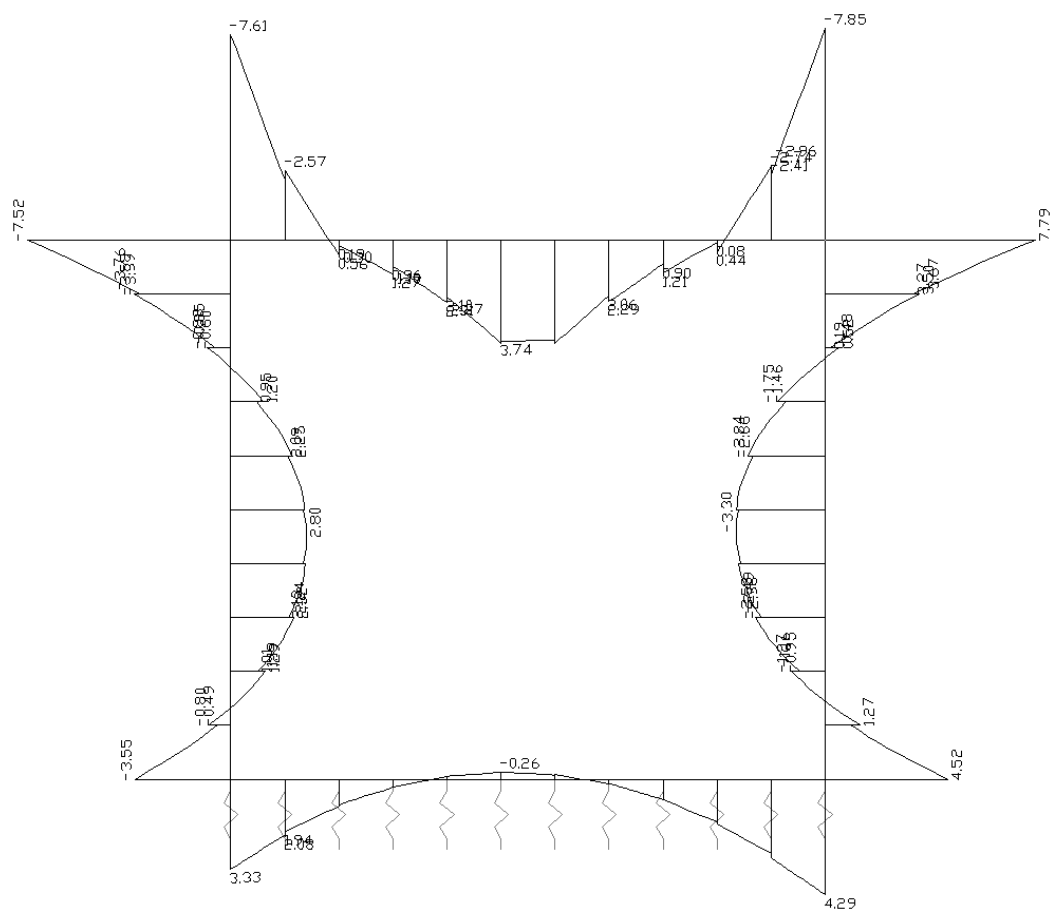
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	92/127

Figura 74 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Entrando – q1 na laje superior definido em 8.2.1 e q2 definido em 8.2.2 apenas na parede esquerda – Rankine



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	93/127

Figura 75 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Centrado – q1 definido em 8.2.1 na laje superior e q2 definido em 8.2.2 nas duas paredes – Coubomb



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	94/127

Figura 76 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário Centrado – q1 definido em 8.2.1 na laje superior e q2 definido em 8.2.2 nas duas paredes – Rankine

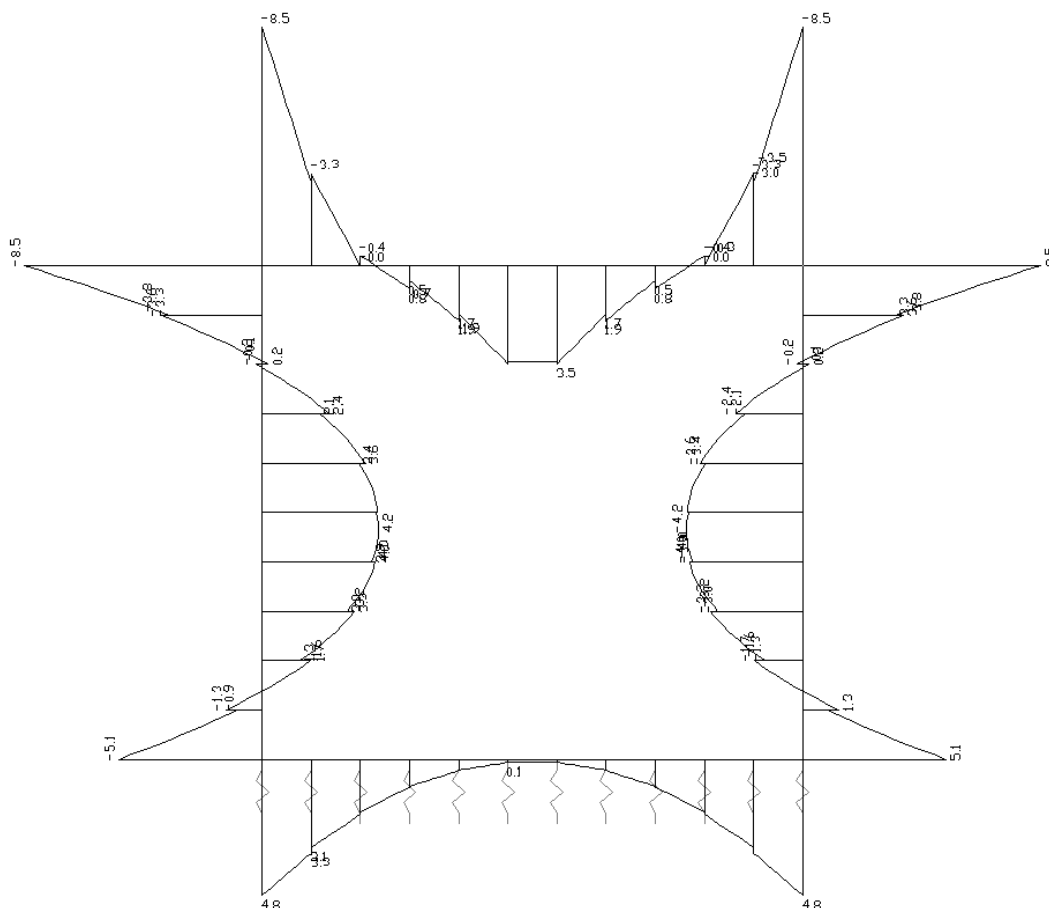


Figura 77 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a g2 de Trilhos, Dormentes e Lastro definido em 7.2.1 na Extremidade

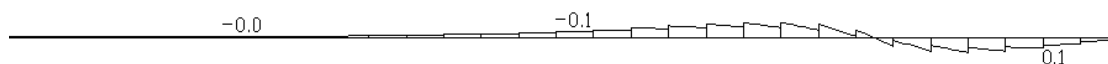


Figura 78 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a g2 de Trilhos, Dormentes e Lastro definido em 7.2.1 no Centro



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	95/127

Figura 79 – Barra Longitudinal da Laje Superior – Momento Fletor – Devido a q1 do Trem Tipo Ferroviário definido em 8.2.1 no Centro

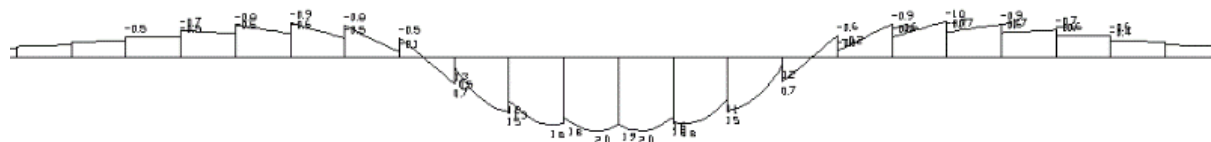
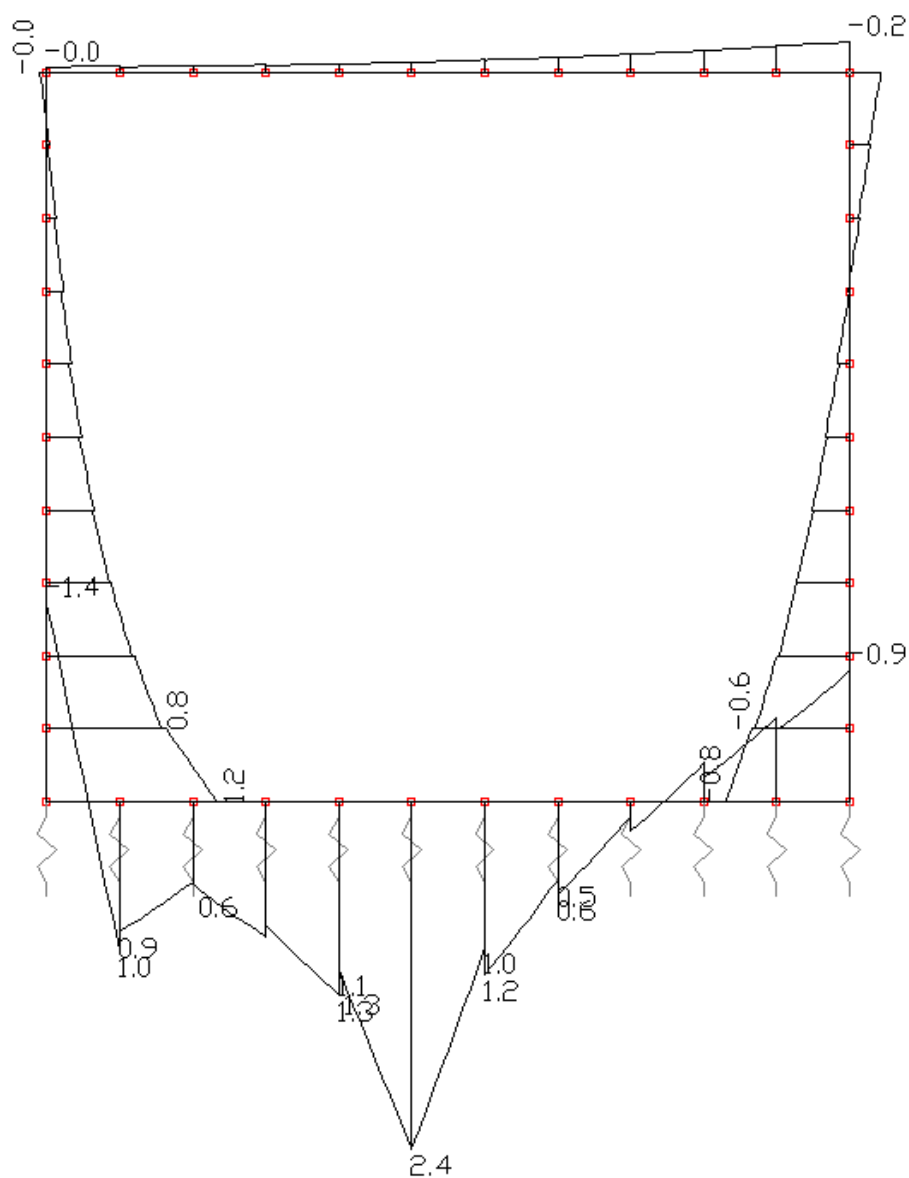
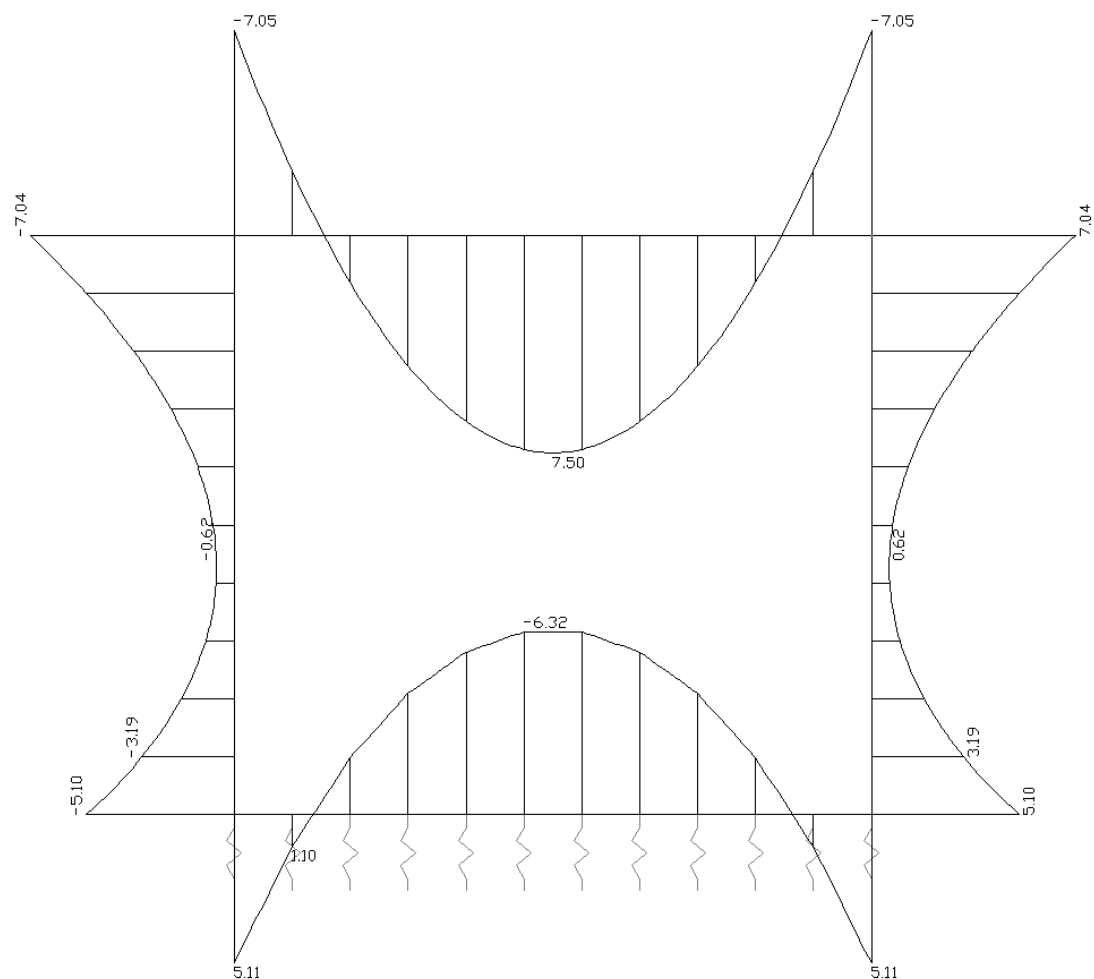


Figura 80 – Seção Transversal – Momento Fleitor – Devido ao Trem Tipo Rodoviário conforme Figura 12 definido no item 9.



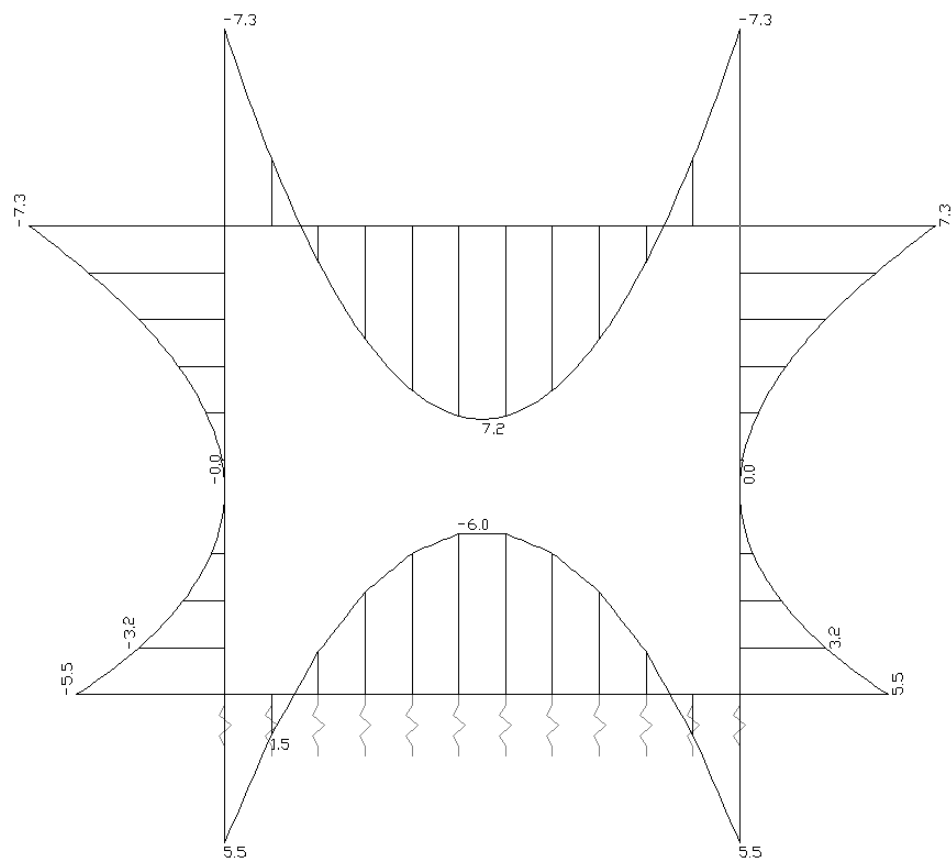
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	96/127

Figura 81 – Seção Transversal – Momento Fletor – Lastro, Trilhos e Aterro 4m aplicados g6, g7, g8, g9 e g10 conforme Figura 7 do item 7.3.2 – Coulomb



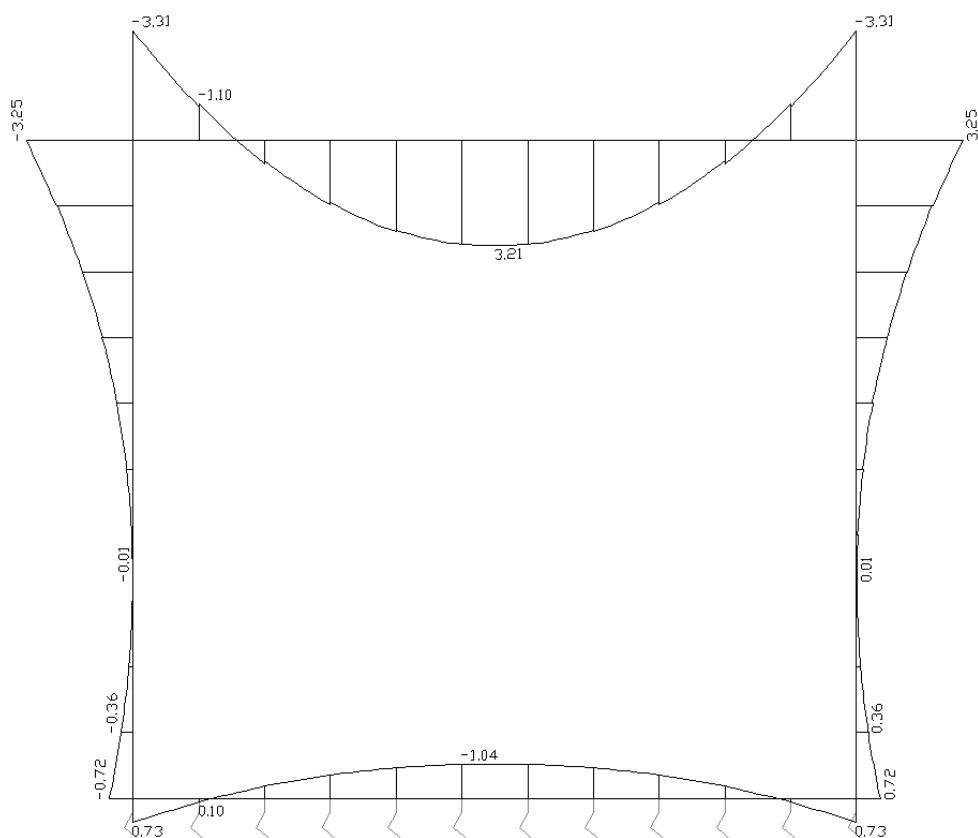
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	97/127

Figura 82 – Seção Transversal – Momento Fletor – Lastro, Trilhos e Aterro 4m aplicados g6, g7, g8, g9 e g10 conforme Figura 7 do item 7.3.2 – Rankine



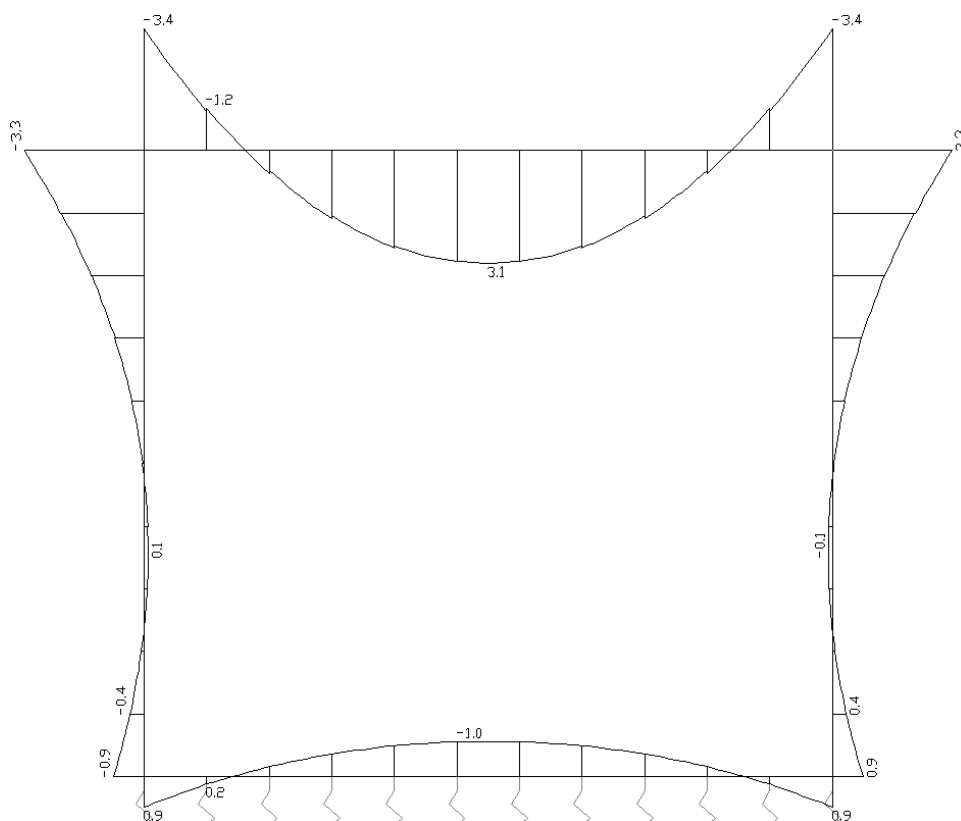
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	98/127

Figura 83 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre Aterro 4m aplicados q_3 na laje superior e q_4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 – Coulomb



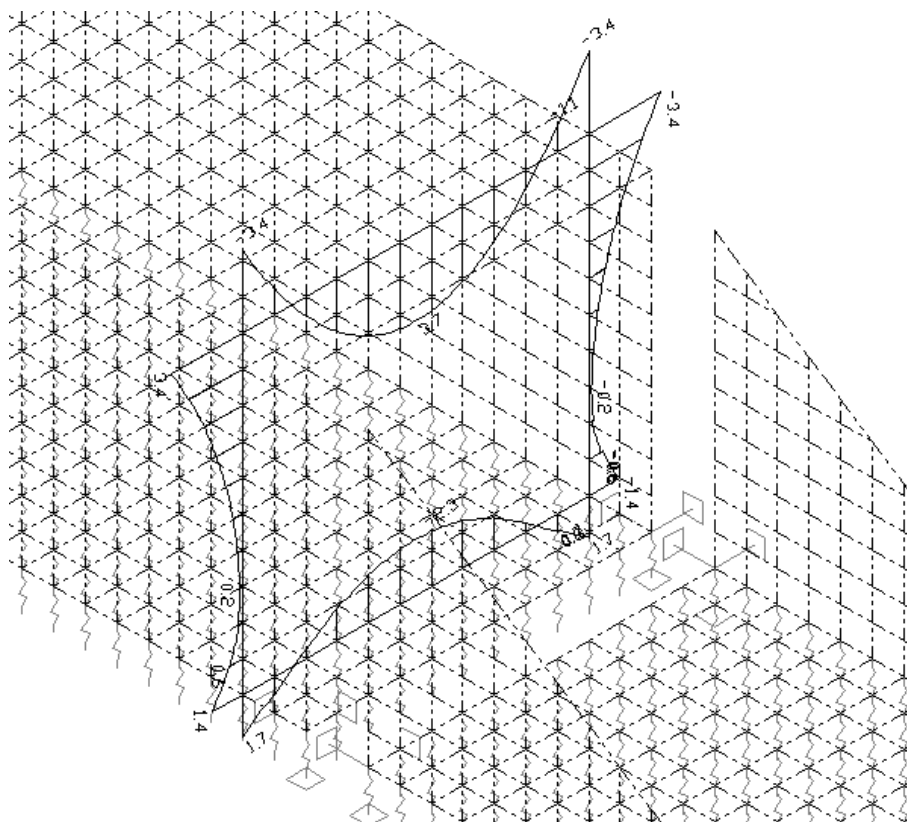
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	99/127

Figura 84 – Seção Transversal – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre Aterro 4m aplicados q_3 na laje superior e q_4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 – Rankine



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	100/127

Figura 85 – Vista 3D – Momento Fletor – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro de 4m aplicados q3 na laje superior e q4 nas duas paredes conforme Figura 11 do item 8.3 na Extremidade

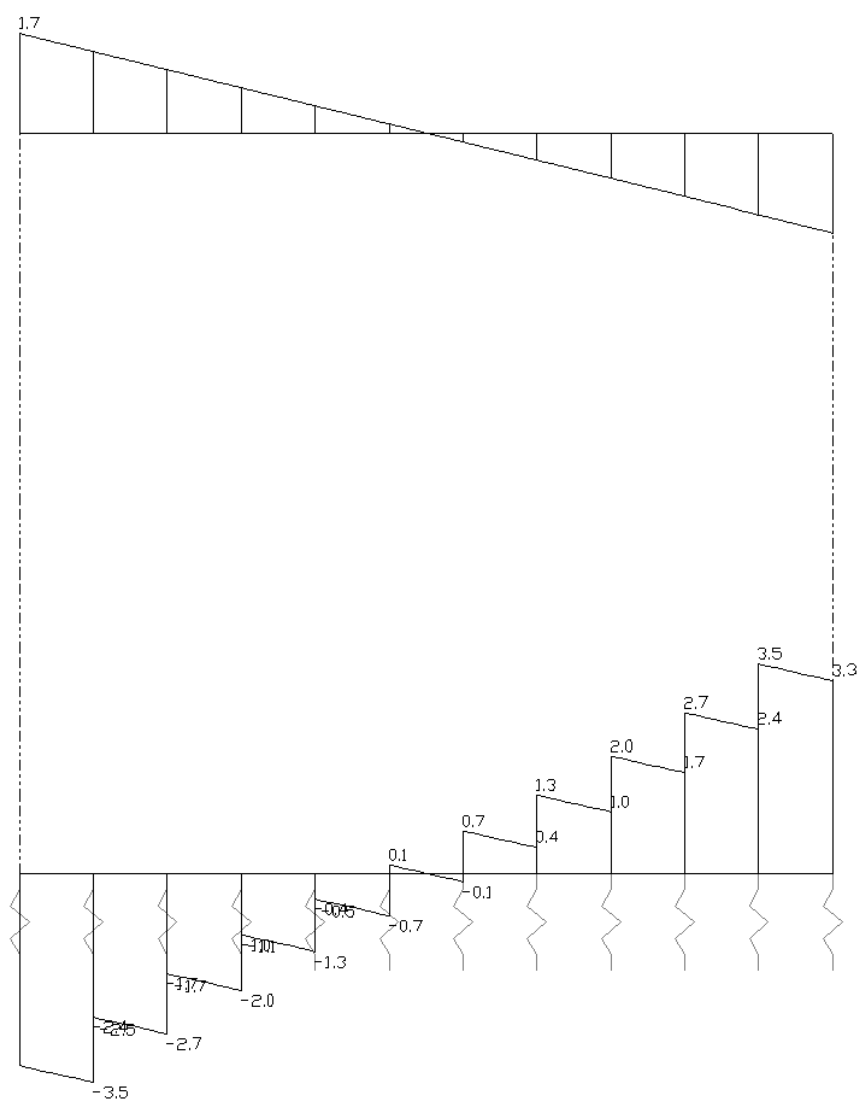


Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	101/127

18.3.2 Esforço Cortante

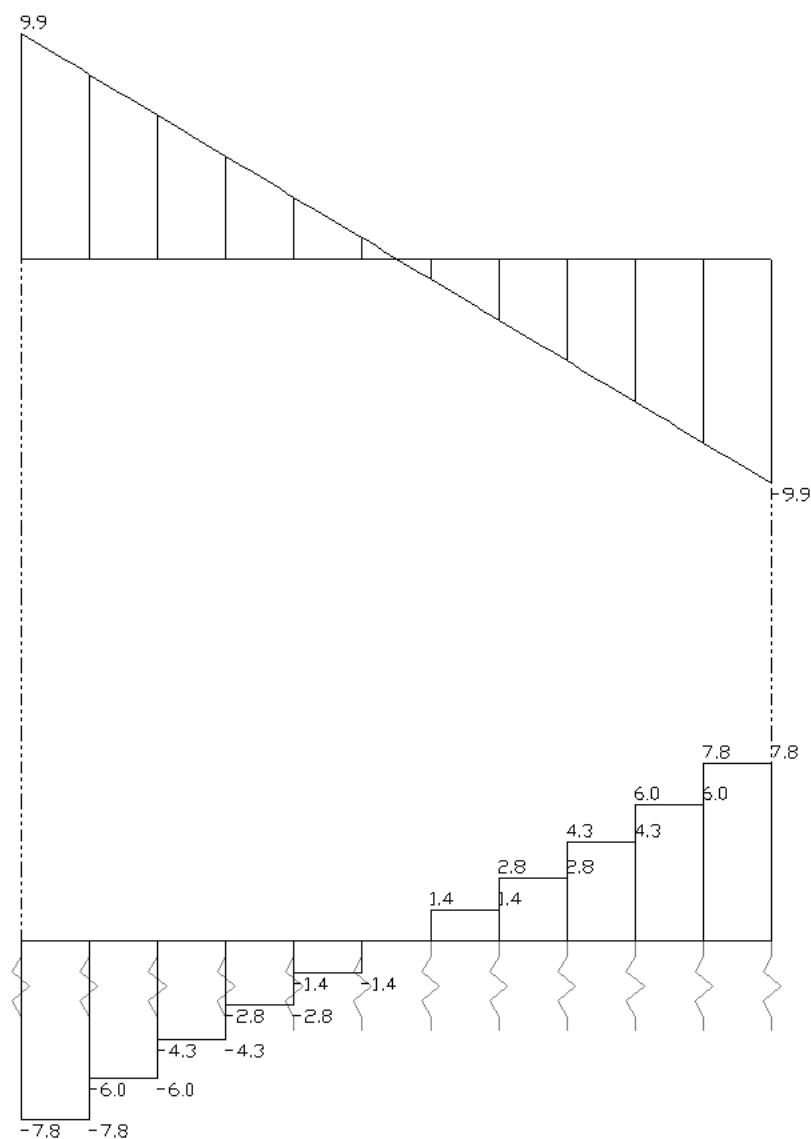
Unidades em tf/barra (toneladas força por barra do modelo), sendo que cada barra representa 50cm de largura.

Figura 86 – Seção Transversal – Esforço Cortante – Peso Próprio – g1 definido em 7.1



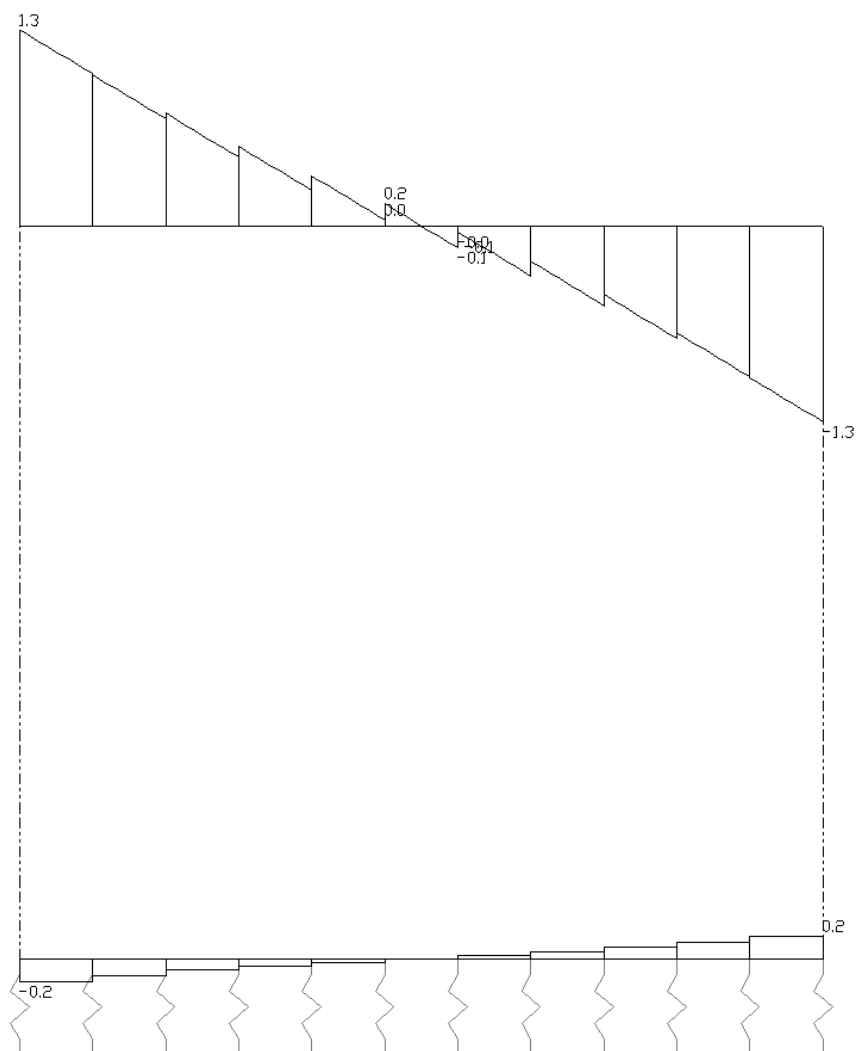
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	102/127

Figura 87 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Aterro 4 metros aplicado g8



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	103/127

Figura 88 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Lastro, Trilhos e Dormentes aplicado g6



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

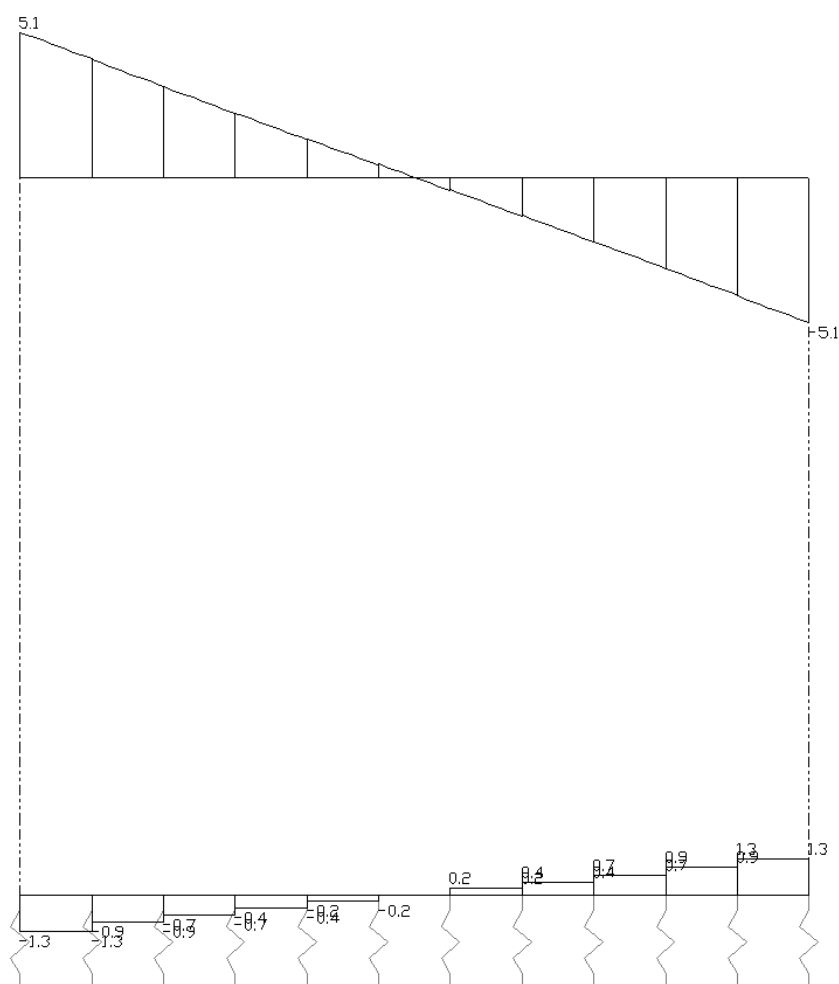
09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

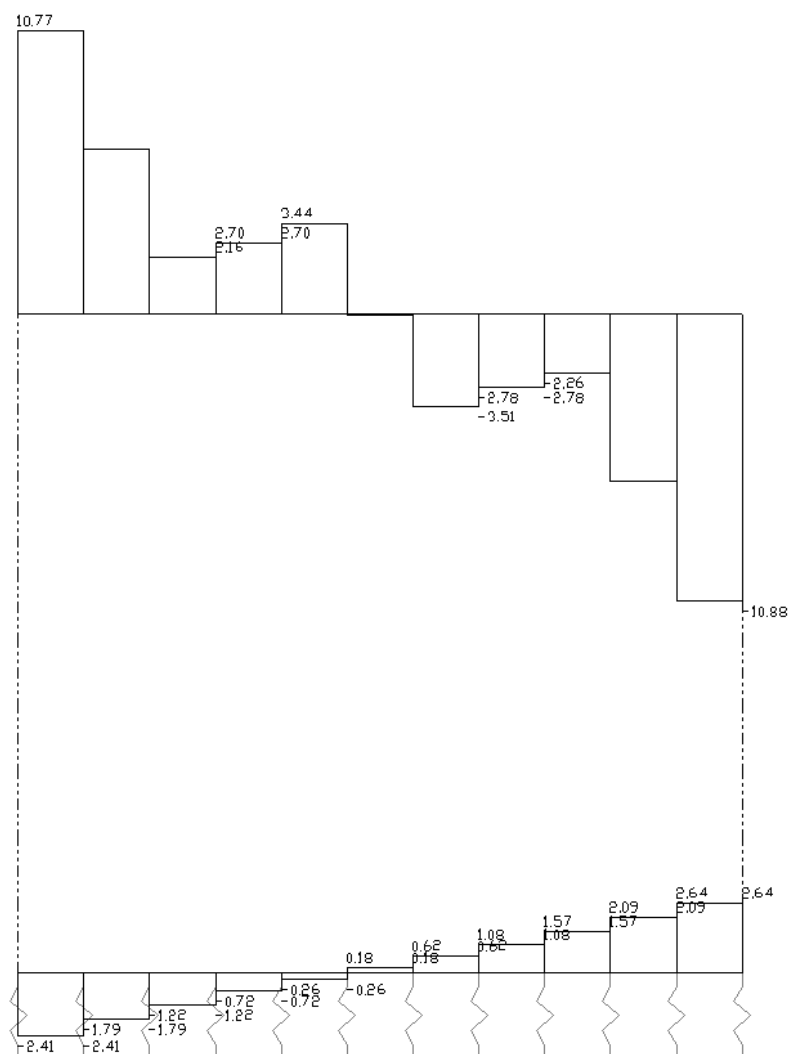
104/127

Figura 89 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro 4 metros aplicado q3 na laje superior



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	105/127

Figura 90 – Seção Transversal Central – Esforço Cortante – Trem Tipo Ferroviário sem aterro, aplicado q1 na laje superior, definido em 8.2.1

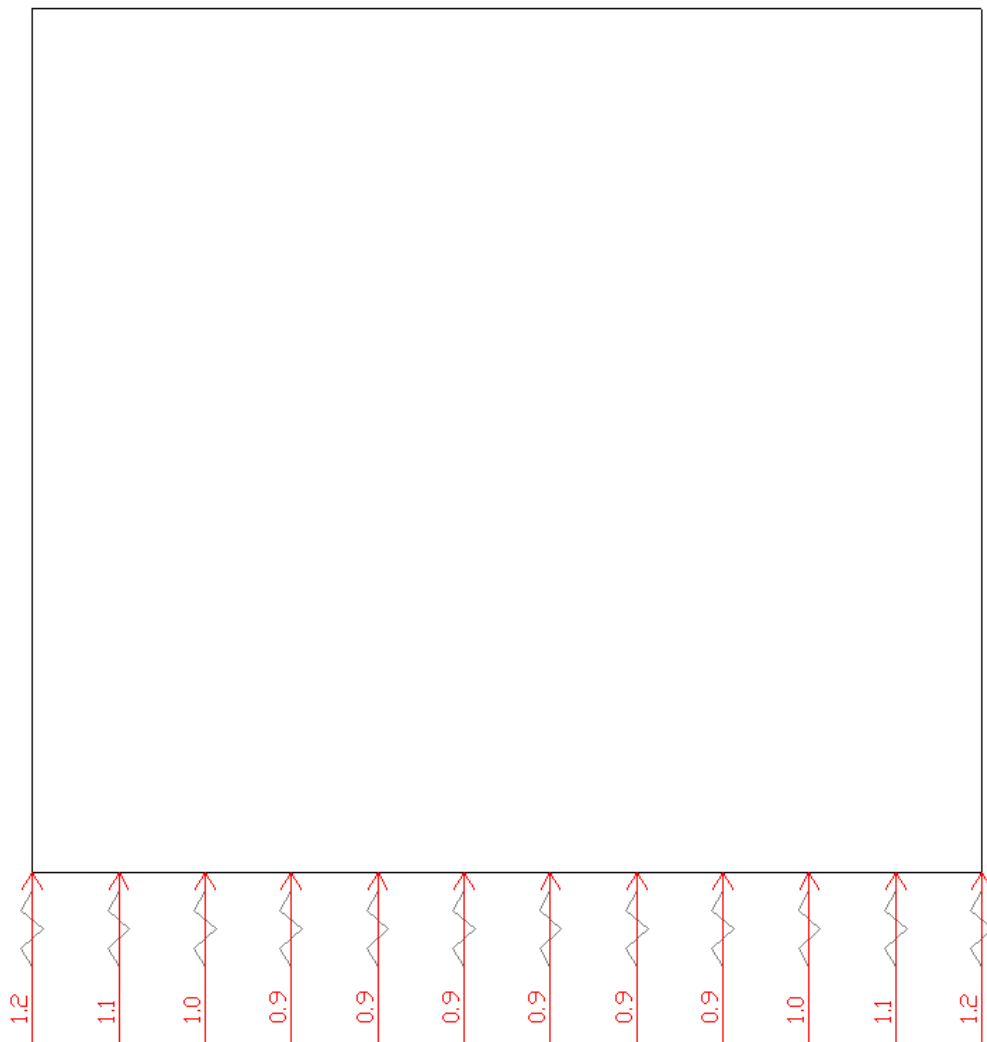


18.3.3 Reação de Apoio

Unidades em tf (toneladas força), sendo que cada ponto de apoio representa 50cm por 50cm de área de contato com o solo, exceto os pontos de extremidade que representam 50cm por 45cm.

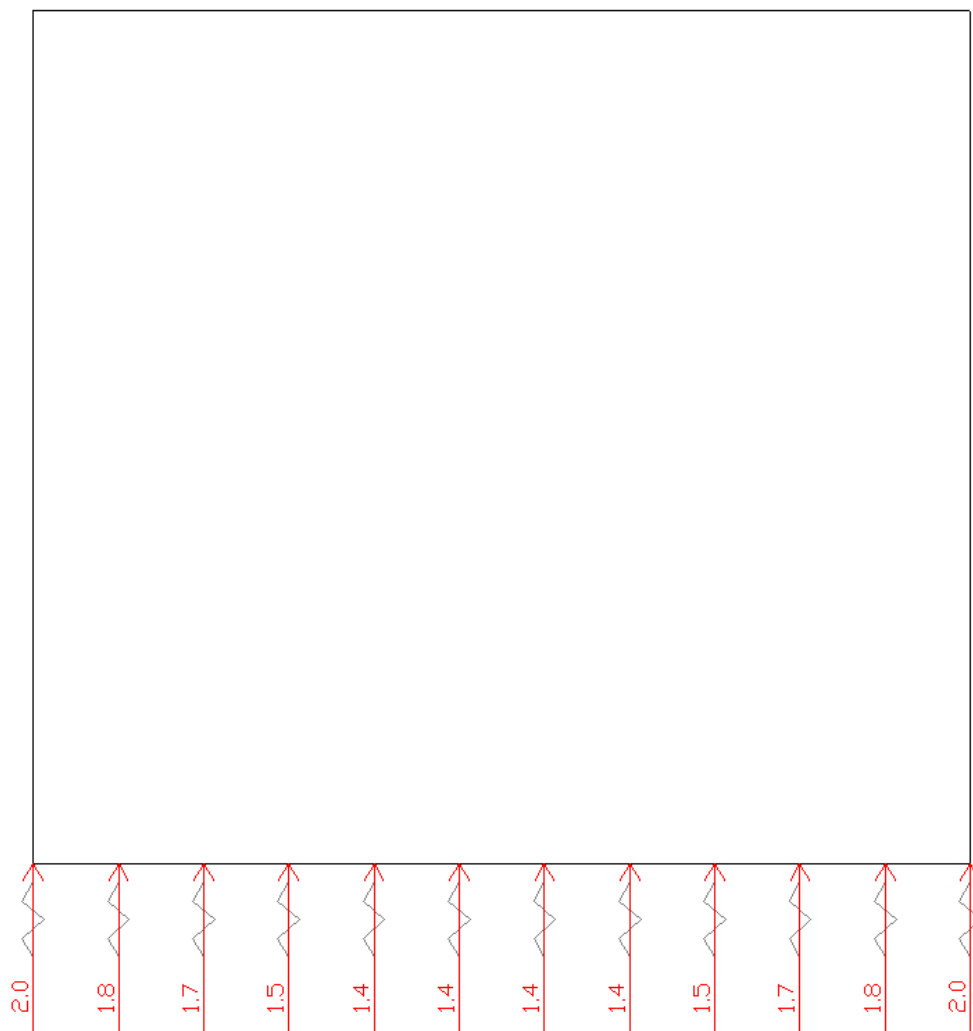
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	106/127

Figura 91 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Peso Próprio – g1 definido em 7.1



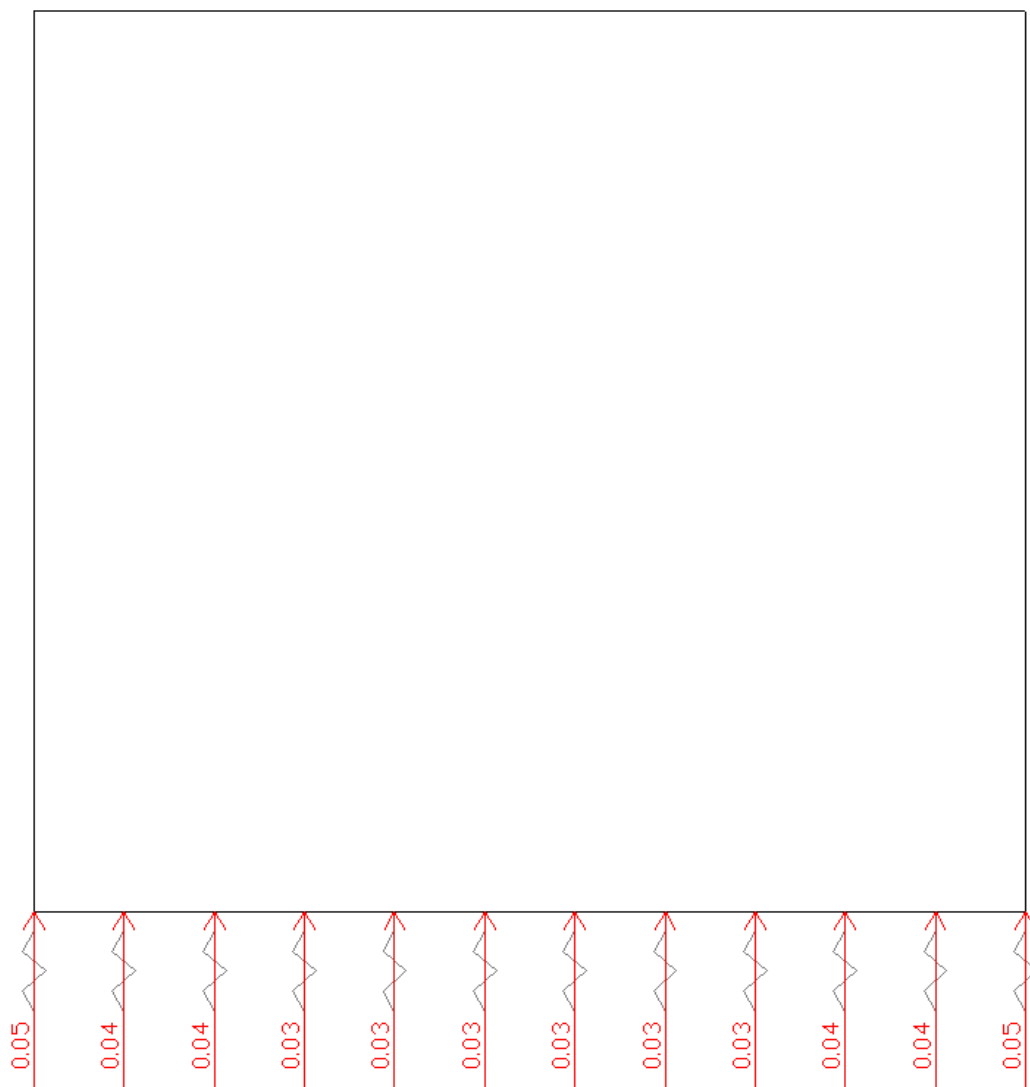
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	107/127

Figura 92 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Aterro de 4 metros – g8 definido em 7.3.2



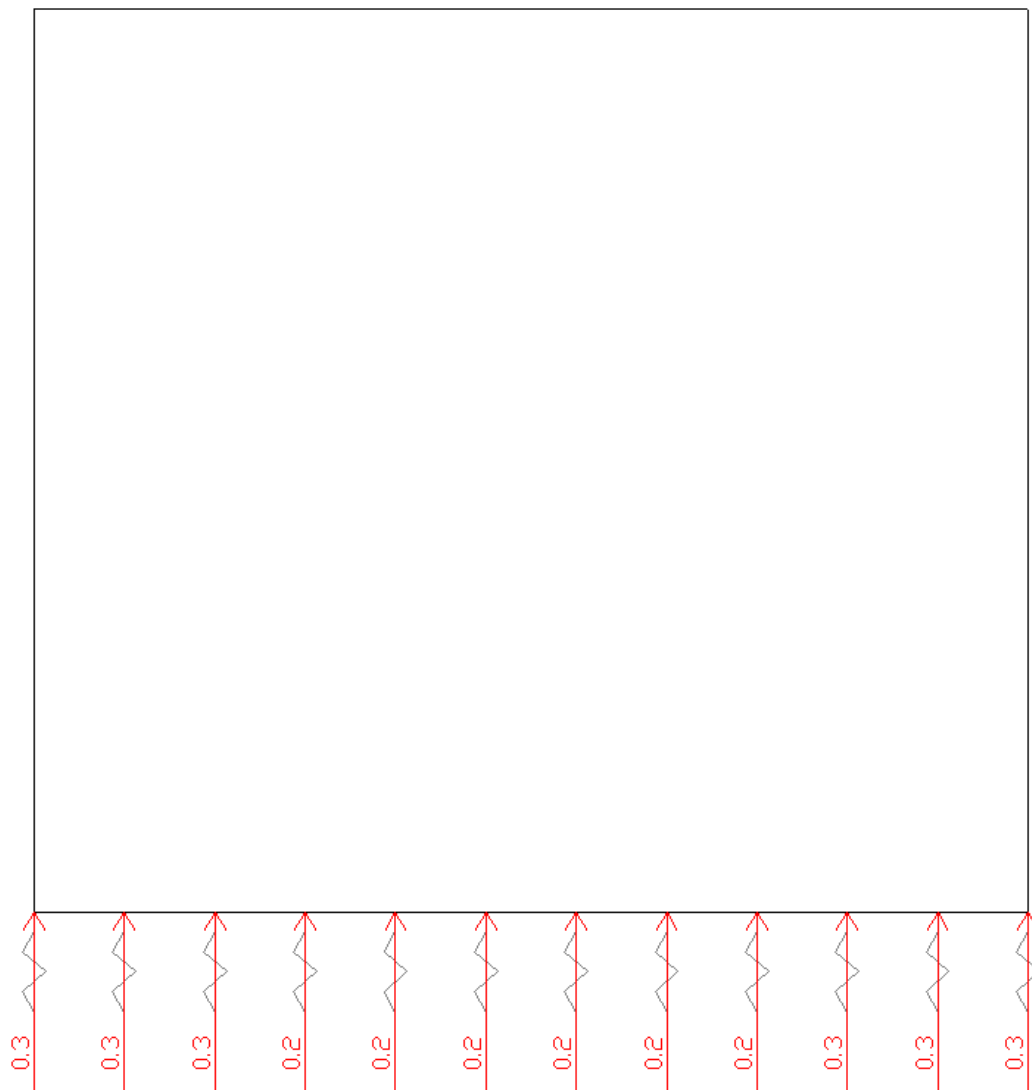
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	108/127

Figura 93 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Lastro e Trilhos sobre aterro de 4 m – g6 definido em 7.3.2



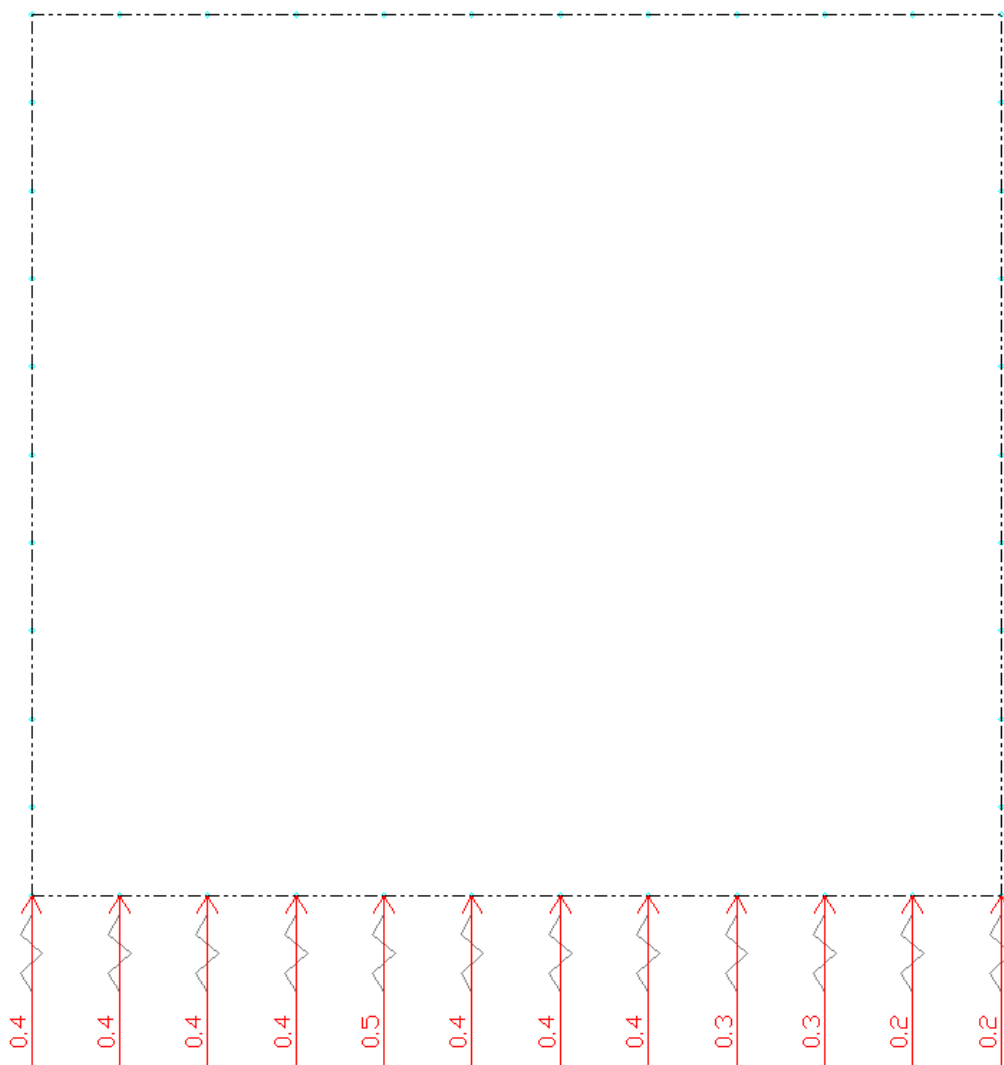
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	109/127

Figura 94 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Trem Tipo Ferroviário sobre aterro de 4m – q3 definido em 8.3



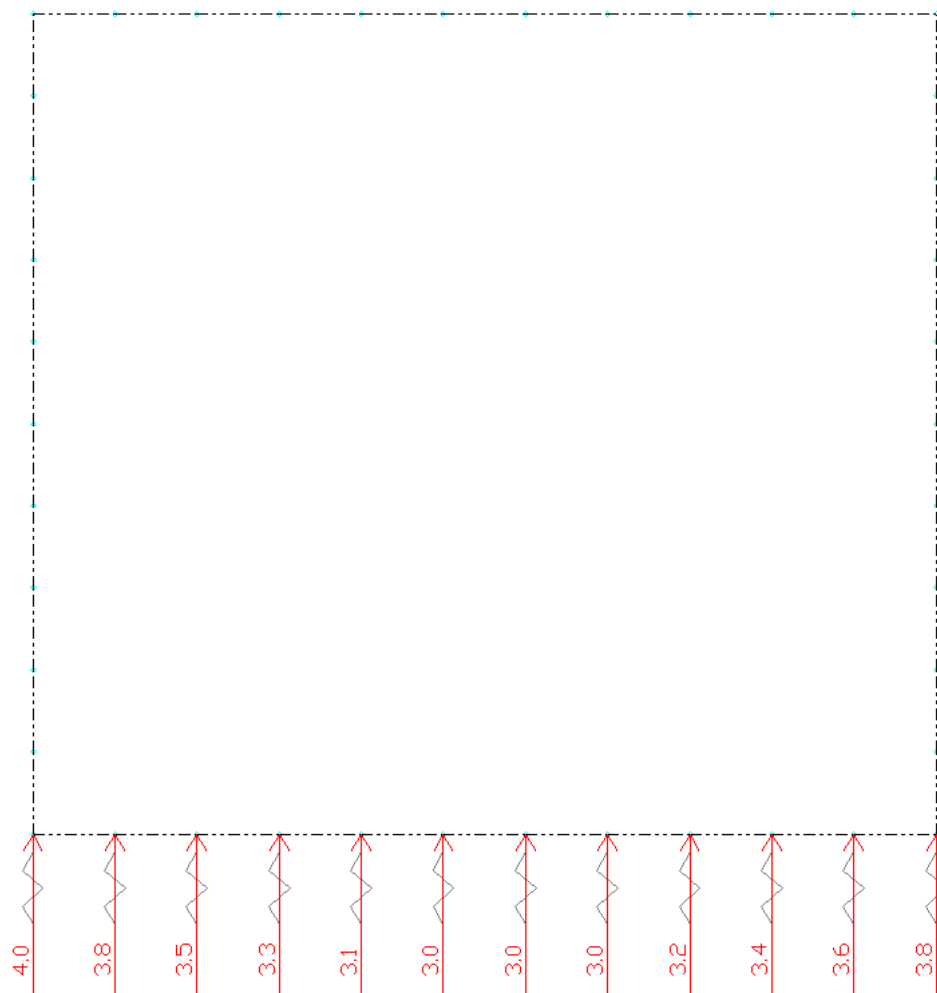
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	110/127

Figura 95 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Trem Tipo Rodoviário – conforme Figura 12 definido em 9



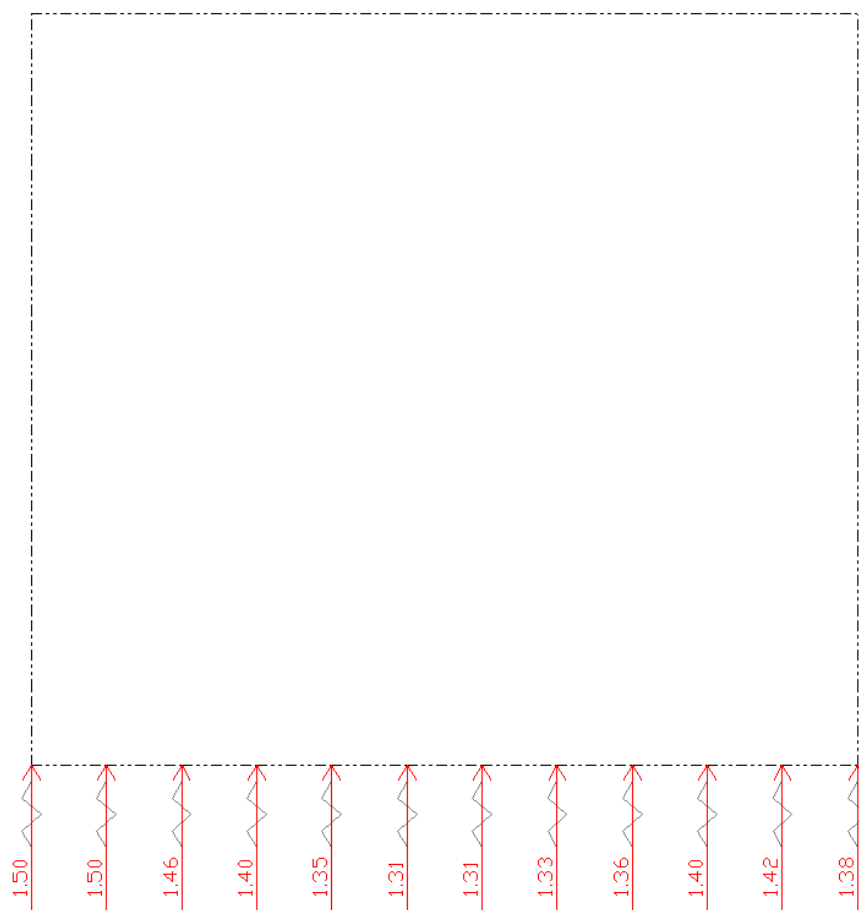
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	111/127

Figura 96 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Carregamento Total (com aterro) – g1, g8, g6, q3 e Trem Tipo Rodoviário



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	112/127

Figura 97 – Seção Transversal Central – Reação de Apoio – Carregamento Total (sem aterro) – g1, g2, q1 e Trem Tipo Rodoviário



Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

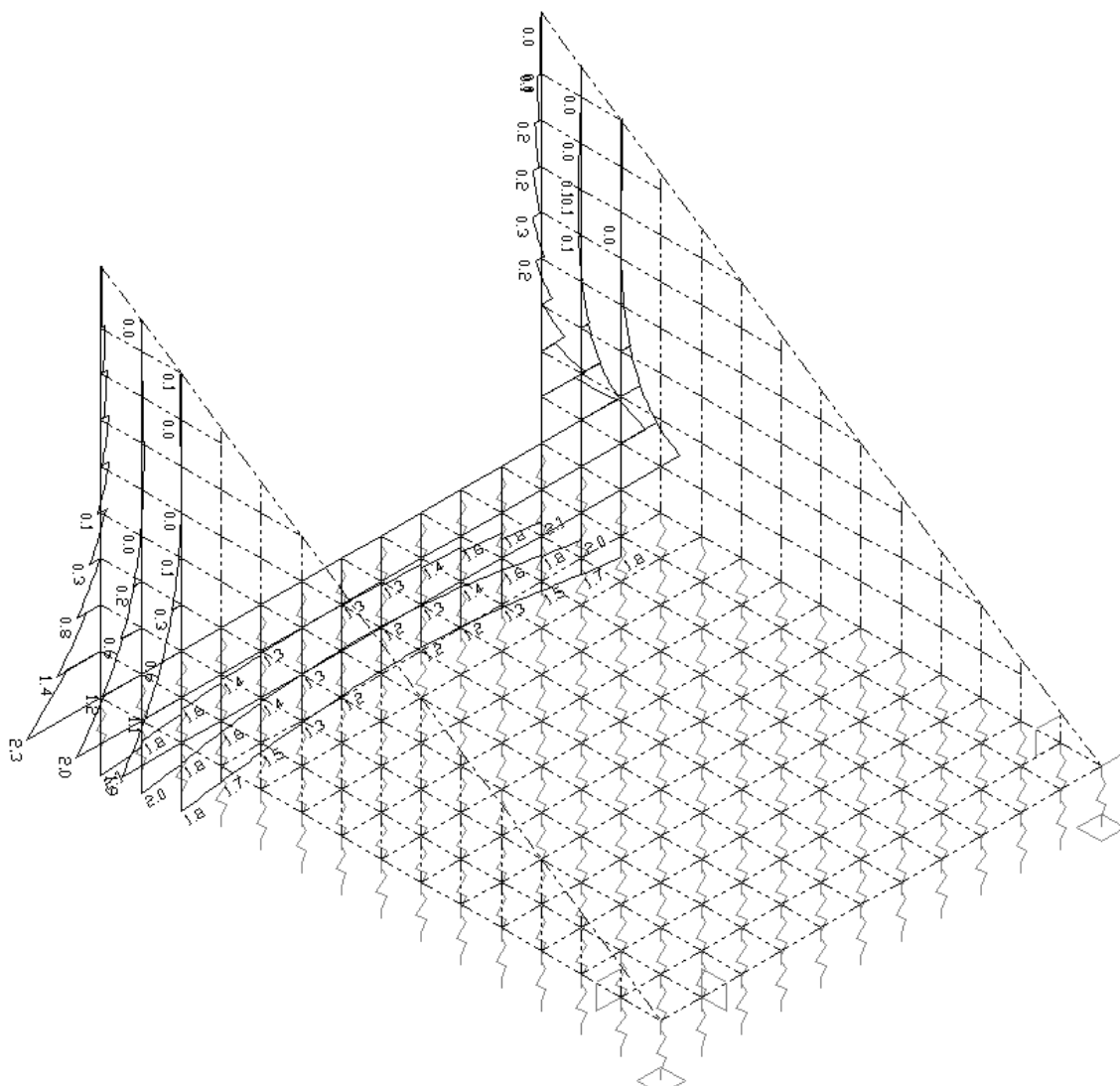
80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

113/127

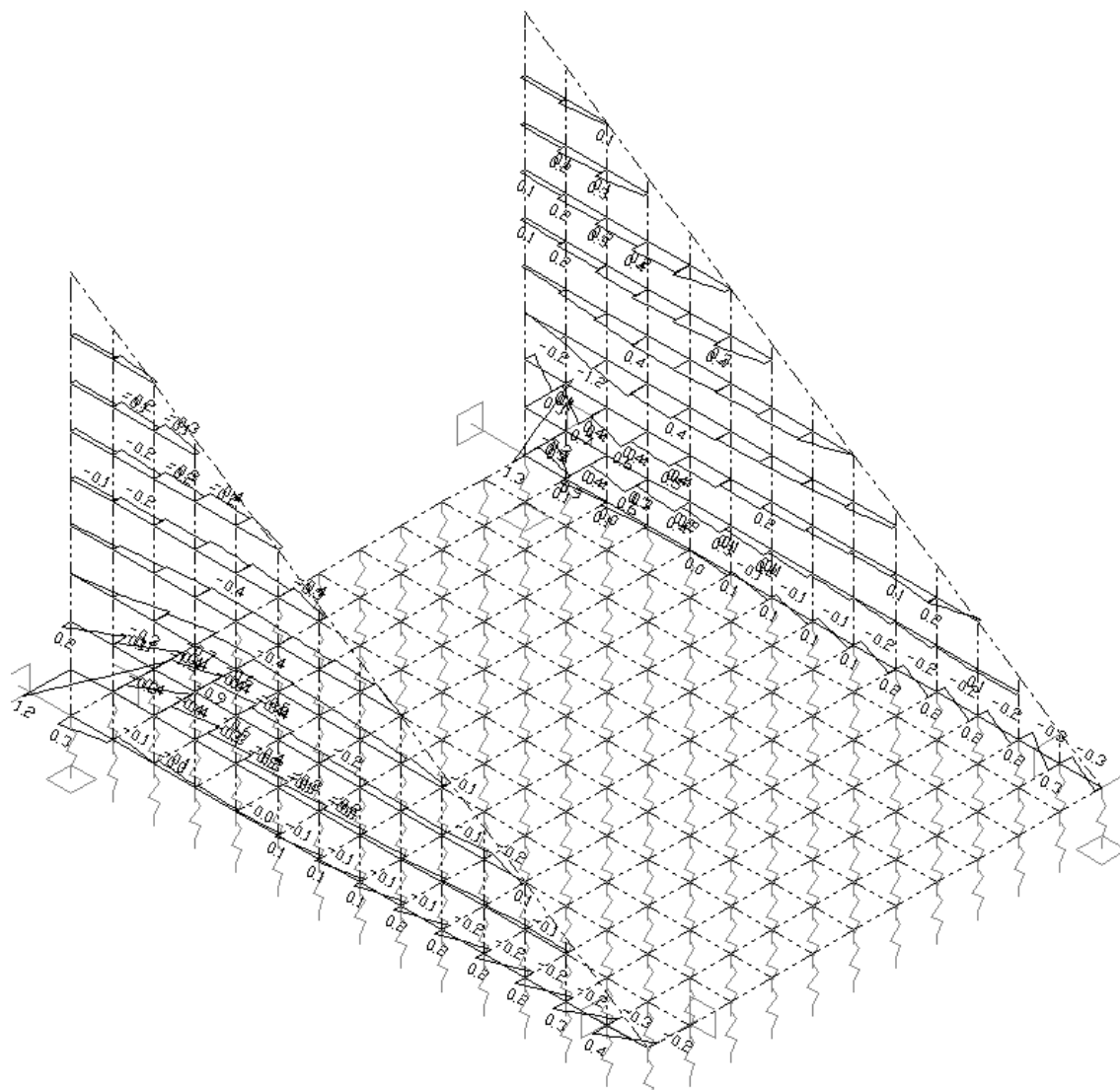
18.3.4 Alas

Figura 98 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Empuxo do Aterro conforme definido em 10



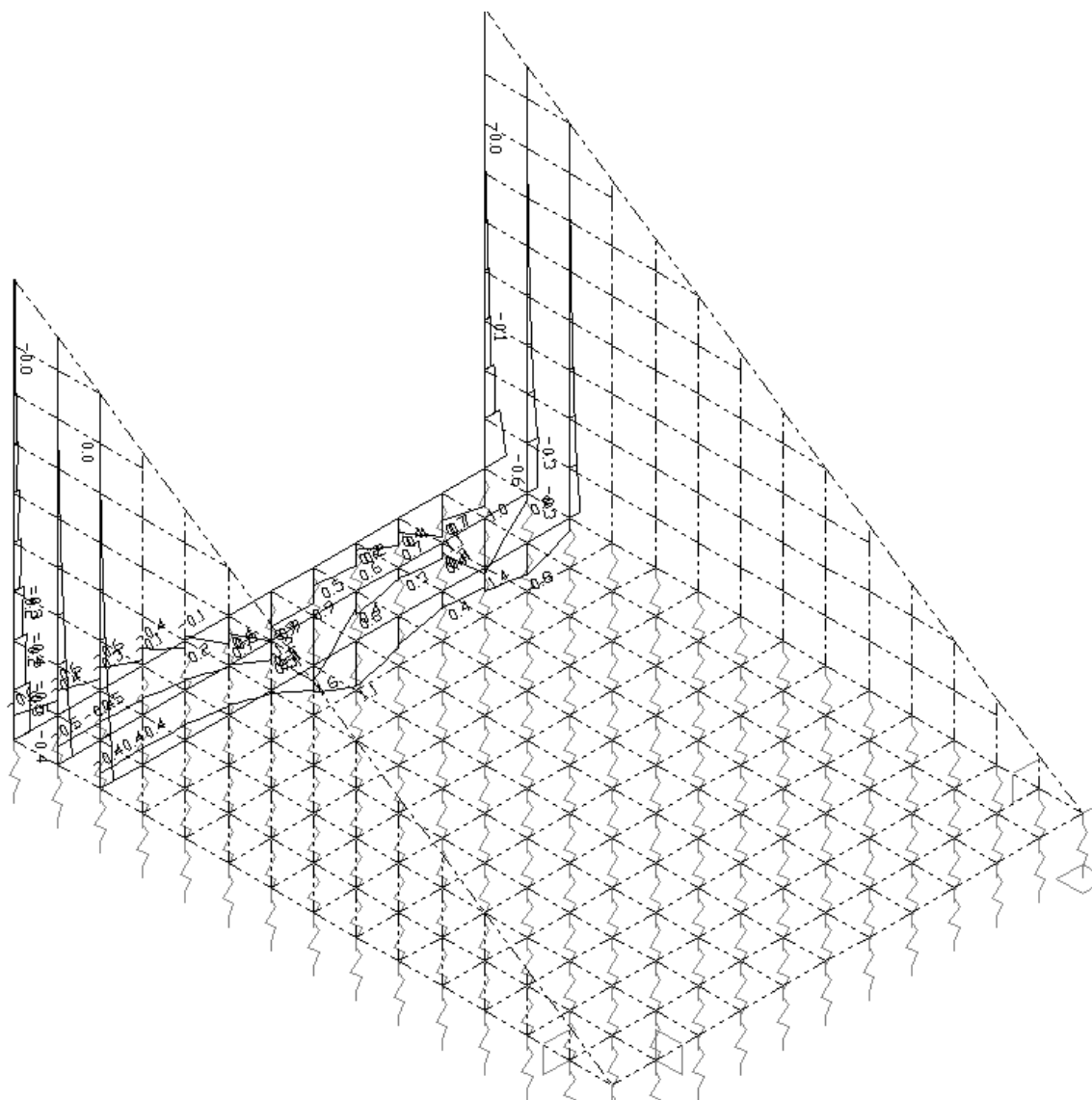
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	114/127

Figura 99 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor nas Barras Longitudinais – Empuxo do Aterro conforme definido em 10



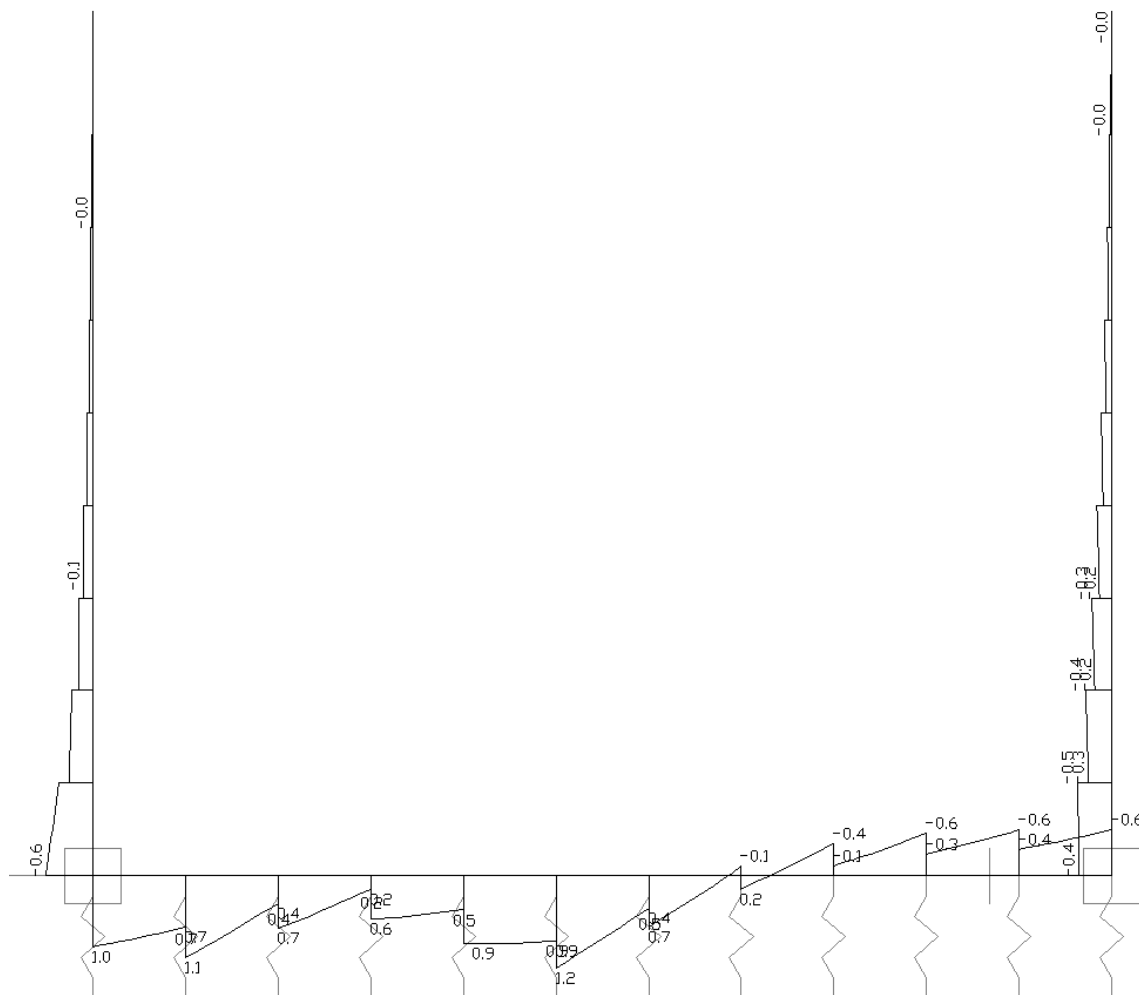
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	115/127

Figura 100 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9



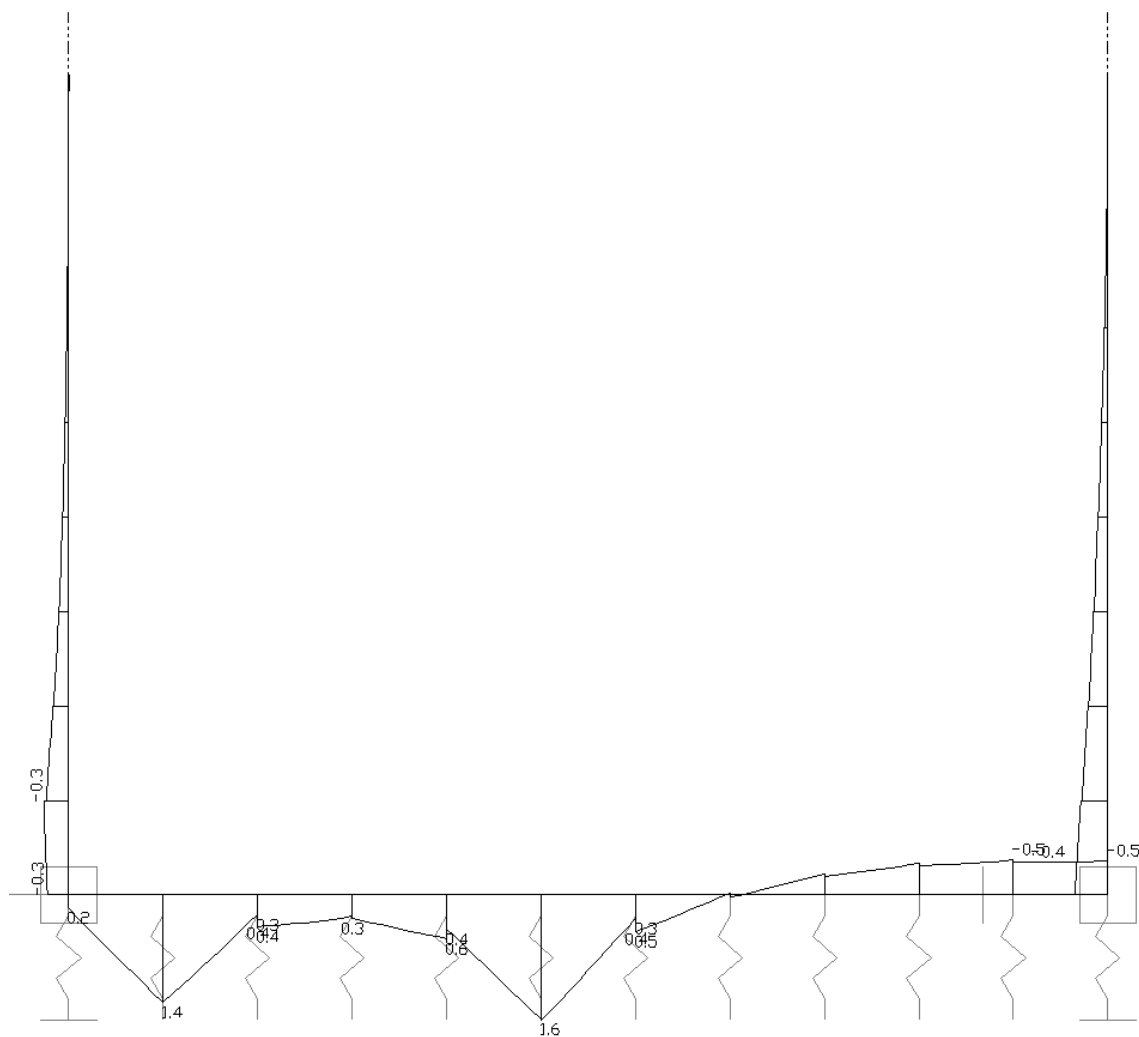
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	116/127

Figura 101 – Seção Transversal no 1º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fleter – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9



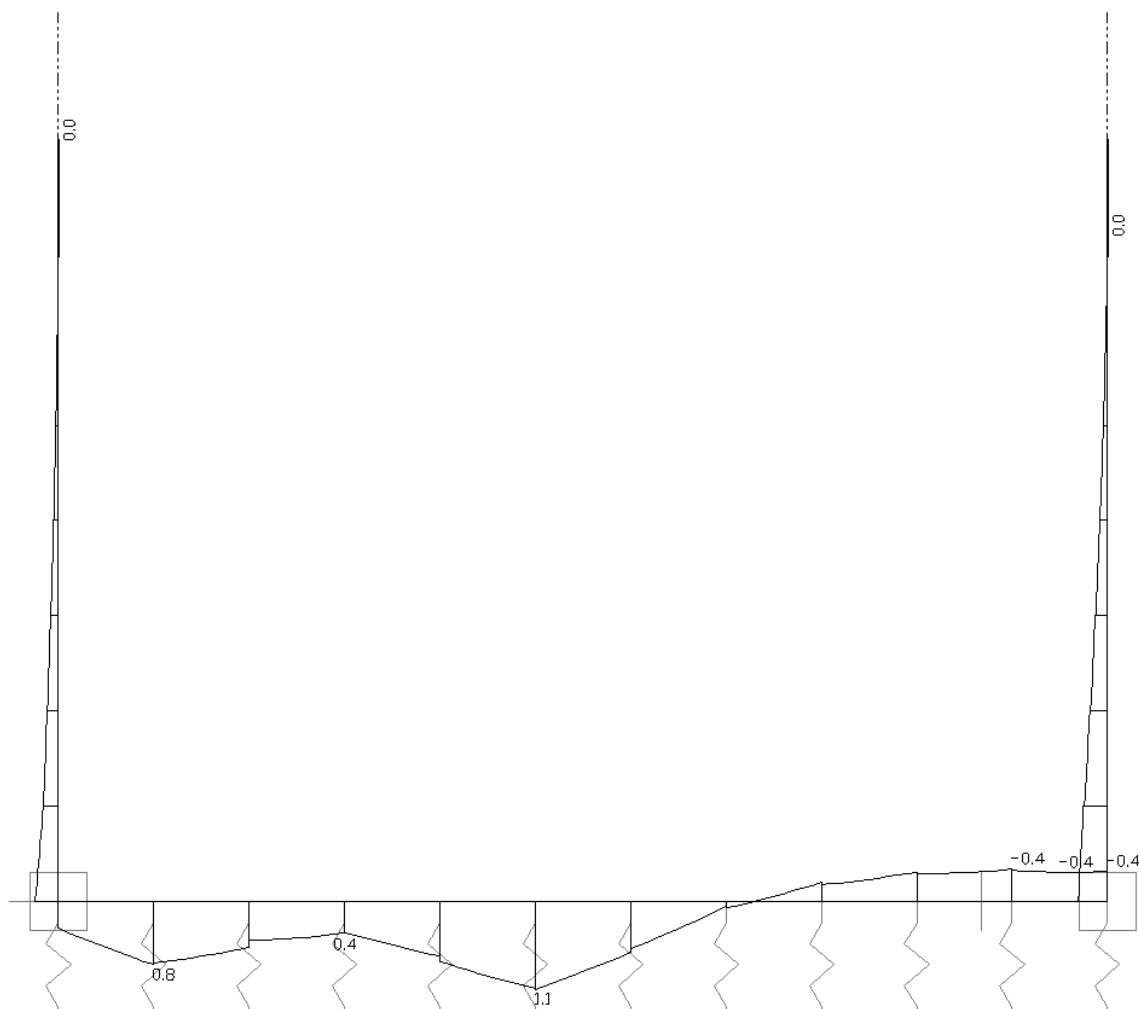
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	117/127

Figura 102 – Seção Transversal no 2º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9



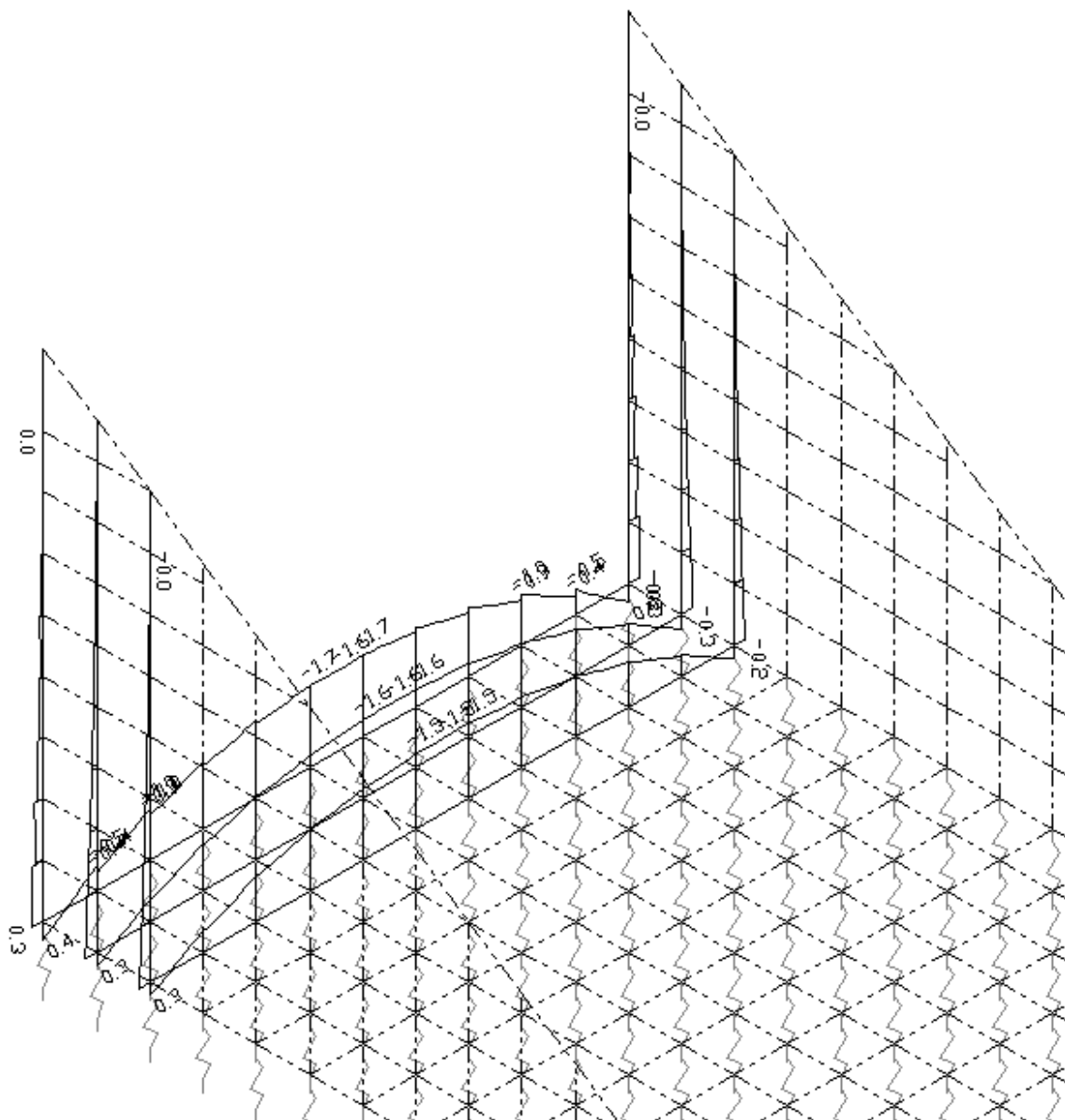
Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	118/127

Figura 103 – Seção Transversal no 3º Pórtico (próximo ao corpo) – Alas – Momento Fletor – Veículo Tipo Rodoviário conforme definido em 9



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	119/127

Figura 104 – Vista 3D – Alas – Momento Fletor – Peso Próprio e Pavimentação – g_1 e g_{pav}



Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	120/127

19 Anexos – Extrações Bibliográficas

19.1 Teoria de Coulomb apud Montoya

NORMA MV 101-1962

685

TABLA 8.2
ASIENTOS GENERALES ADMISIBLES

Características del edificio	Asiento general, máximo admisible en terrenos:	
	Sin cohesión mm	Coherentes mm
Obras de carácter monumental	12	25
Edificios con estructura de hormigón armado de gran rigidez	25	50
Edificios con estructura de hormigón armado de pequeña rigidez Estructuras metálicas hiperestáticas Edificios con muros de fábrica	50	75
Estructuras metálicas isostáticas Estructuras de madera Estructuras provisionales	> 50 Comprobando que no se produce desorganización en la estructura ni en los cerramientos.	> 75 Comprobando que no se produce desorganización en la estructura ni en los cerramientos.

8.9. RECONOCIMIENTO DEL TERRENO.—Para la elección de la presión admisible en el terreno se procederá a un reconocimiento de éste. Los criterios que suelen seguirse son los que a continuación se indican:

8.91. Estudio de las observaciones e informaciones locales, así como del comportamiento de las cimentaciones de edificios próximos.

8.92. Realización de perforaciones o calicatas, con profundidad suficiente para llegar a todas las capas que puedan influir en los asientos de la obra, y en número necesario para juzgar de la naturaleza de todo el terreno afectado por la edificación.

La profundidad de las perforaciones no será en general inferior a las siguientes:

A. Cimentaciones discontinuas.—Tres veces el ancho mínimo de las zapatas, con un mínimo de cinco metros.

B. Cimentaciones continuas.—Vez y media el ancho de la placa de cimentación.

Estas profundidades se aumentarán prudencialmente en el caso de terrenos de mala calidad, en el que se presume que puedan existir a profundidad que afecte a la obra, y en el de terrenos de estructura irregular.

8.93. Si con los estudios y observaciones de los apartados anteriores u otros adecuados no pudiese fijarse de manera clara la presión admisible para el terreno, se procederá a la realización de los ensayos precisos que deben ser programados, ejecutados e interpretados por personal especializado.

CAPITULO 9

Empujes del terreno

9.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS.—El cálculo de los empujes se realizará utilizando los métodos de la Mecánica del Suelo. Las características de cada terreno: peso específico aparente γ , índice de huecos n , ángulo de rozamiento interno φ y cohesión c se determinarán experimentalmente.

Título de Documento:

Unidade Responsável

Data:

Código:

Revisão:

Página:

Memória de Cálculo

SUPRO

09/09/2016

80-MC-000A-23-1000

Rev. 0

121/127

686

NORMA MV 101-1962

Cuando se juzgue necesario se realizarán los ensayos precisos, que deben ser programados, ejecutados e interpretados por personal especializado que domine las técnicas correspondientes.

En terrenos coherentes debe procederse con gran prudencia al fijar el valor de la cohesión, ya que varía con el grado de humedad del terreno, disminuyendo rápidamente cuando éste pasa de un cierto límite, así como a causa de posibles acciones perturbadoras de los agentes climatológicos. Si no se efectúa determinación directa de las características del terreno, se supondrá cohesión nula en todo caso y se tomarán los valores de la tabla 9.1.

TABLA 9.1

CARACTERÍSTICAS EMPÍRICAS DE LOS TERRENOS

Clase de terreno	Peso específico aparente γ t/m ³	Angulo de rodamiento interno φ grados	Índice de huecos n %
<i>Terrenos naturales</i>			
Grava y arena compacta	2,0	30°	30
Grava y arena suelta	1,7	30°	40
Arcilla	2,1	20°	—
<i>Rellenos</i>			
Tierra vegetal	1,7	25°	40
Terraplén	1,7	30°	40
Pedraplén	1,8	40°	35

9.2. ROZAMIENTO ENTRE TERRENO Y MURO.—El ángulo de rozamiento, δ , entre un terreno y un muro depende principalmente: del ángulo de rozamiento interno del terreno, de su grado de humedad y de la rugosidad del paramento del muro. El valor de δ puede determinarse experimentalmente o estimarse con las consideraciones siguientes:

En los casos más desfavorables, como, por ejemplo, en terrenos coherentes anegados o en muros de superficie muy lisa, se tomará un ángulo de rozamiento:

$$\delta = 0^\circ$$

Con terrenos bien drenados y muros de superficie muy rugosa, el máximo valor posible del ángulo de rozamiento es $\delta = \varphi$. Para el cálculo de los empujes, salvo justificación especial, no se pasará del valor:

$$\delta = \frac{2}{3} \cdot \varphi$$

9.3. EMPUJE ACTIVO.—Para el cálculo de los empujes activos de terrenos sin cohesión se recomienda aplicar la teoría de COULOMB, que proporciona valores suficientemente aproximados. Con muro de trasdós plano (fig. 1), que forma un ángulo α con la horizontal, y superficie del terreno plana, formando un talud de ángulo β , sobre la que actúa una carga uniformemente repartida de valor q por m de proyección, las componentes horizontal p_H y vertical p_V de la presión sobre el muro, a la profundidad z , contada a partir de la coronación del muro, tienen las expresiones siguientes:

$$p_H = (\gamma z + q) \lambda_H$$

$$p_V = (\gamma z + q) \lambda_V$$

Los coeficientes de empuje activo λ_H y λ_V vienen dados por las expresiones:

$$\lambda_H = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \varphi)}{\text{sen}^2 \alpha \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\lambda_V = \lambda_H \cot(\alpha - \delta)$$

pudiendo tomarse de la tabla 9.2.

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	122/127

NORMA MV 101-1962

687

Como valor β del ángulo de talud de la superficie libre del terreno, respecto a la horizontal, se tomará el más desfavorable de los que sean posibles.

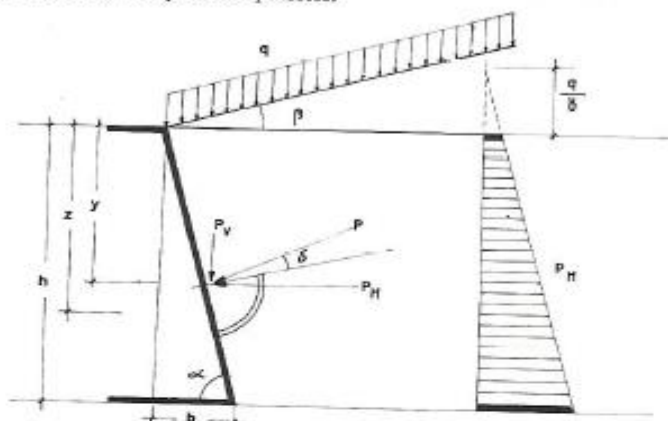


Figura 1

Las componentes horizontal P_H y vertical P_V del empuje total P , por unidad de longitud de muro, tienen por expresiones:

$$P_H = \left(\gamma \frac{h^2}{2} + q h \right) \cdot \lambda_H$$

$$P_V = \left(\gamma \frac{h^2}{2} + q h \right) \cdot \lambda_V$$

El punto de aplicación del empuje P se encuentra a una profundidad y desde la coronación del muro dada por la expresión:

$$y = h \frac{2 \cdot \gamma \cdot h + 3 \cdot q}{3 \cdot \gamma \cdot h + 6 \cdot q}$$

9.4. EMPUJE ACTIVO DE TERRENOS ESTRATIFICADOS.—En los terrenos constituidos por estratos de diversas características se determinará el empuje total obteniendo la resultante de los empujes parciales correspondientes a cada uno de los estratos. A este efecto, cada uno de ellos se considerará como un terreno homogéneo, sobre cuya superficie superior actúa una carga igual a la suma de los pesos de los estratos superiores, más la que pueda existir sobre la superficie libre.

9.5. EMPUJE ACTIVO DE TERRENOS ANEGADOS.—En los terrenos permeables anegados, se calculará el peso aparente del terreno, teniendo en cuenta la disminución originada por el empuje ascensional del agua, que se valorará a partir del índice de huecos. El peso específico virtual γ' , de un terreno anegado viene dado por la fórmula:

$$\gamma' = \gamma \left(1 - \frac{n}{100} \right) \cdot \gamma_a$$

siendo γ el peso específico aparente del terreno seco, n el índice de huecos, en tanto por ciento, y γ_a el peso específico del agua.

Al empuje del terreno sobre el muro, calculado con el peso específico virtual γ' , se superpondrá el empuje hidrostático del agua.

Si el terreno está anegado solamente desde cierta profundidad f (fig. 2), se procederá como en el caso de terrenos estratificados.

Las componentes horizontal p_H y vertical p_V de la presión sobre el muro, a una profundidad z por debajo del nivel freático, pueden calcularse con las fórmulas:

$$p_H = [\gamma'(z-f) + \gamma f + q] \lambda_H + \gamma_a (z-f) \operatorname{sen} \alpha$$

$$p_V = [\gamma'(z-f) + \gamma f + q] \lambda_V + \gamma_a (z-f) \cos \alpha$$

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	123/127

688

NORMA MV 101-1962



Continua na Página 689

COEFICIENTES DE

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal del muro $b : h = \cot \alpha =$			
			0,8	0,6	0,4	0,2
20°	0°	0°	0,71	0,67	0,62	0,56
		5°	0,78	0,73	0,67	0,60
		10°	0,88	0,81	0,74	0,65
		15°	1,01	0,92	0,83	0,74
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02
	$\frac{\varphi}{3} = 6^\circ 40'$	0°	0,63	0,60	0,56	0,51
		5°	0,70	0,66	0,62	0,56
		10°	0,80	0,75	0,68	0,61
		15°	0,95	0,87	0,79	0,70
		20°	1,47	1,21	1,16	1,02
	$\frac{2\varphi}{3} = 13^\circ 20'$	0°	0,56	0,54	0,52	0,48
		5°	0,63	0,61	0,57	0,52
		10°	0,73	0,69	0,64	0,58
		15°	0,88	0,82	0,75	0,67
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02
	$\varphi = 20^\circ$	0°	0,49	0,49	0,47	0,44
		5°	0,56	0,55	0,53	0,43
		10°	0,66	0,64	0,60	0,55
		15°	0,82	0,77	0,71	0,64
		20°	1,47	1,31	1,16	1,02
25°	0°	0°	0,65	0,60	0,55	0,48
		10°	0,79	0,72	0,64	0,55
		15°	0,89	0,80	0,70	0,60
		20°	1,03	0,92	0,80	0,69
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98
	$\frac{\varphi}{3} = 8^\circ 20'$	0°	0,56	0,53	0,49	0,44
		10°	0,70	0,65	0,58	0,51
		15°	0,80	0,73	0,65	0,56
		20°	0,96	0,86	0,76	0,65
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98
	$\frac{2\varphi}{3} = 16^\circ 40'$	0°	0,48	0,47	0,44	0,40
		10°	0,61	0,58	0,53	0,47
		15°	0,72	0,67	0,60	0,53
		20°	0,88	0,80	0,71	0,62
		25°	1,55	1,35	1,15	0,98
	$\varphi = 25^\circ$	0°	0,40	0,41	0,39	0,37
		10°	0,53	0,52	0,48	0,44
		15°	0,63	0,60	0,56	0,50
		20°	0,79	0,74	0,67	0,59
		25°	1,55	1,35	1,16	0,98

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	124/127



NORMA MV 101-1962

689

Continua na Página 688

A 9.2

EMPUE ACTIVE

siendo la inclinación		Coeficiente λ_v de empuje activo vertical, siendo la inclinación del muro $b : h = \cot \alpha =$					
0	-0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2
0,40	0,42	0,57	0,40	0,25	0,11	0	-0,08
0,52	0,44	0,62	0,44	0,27	0,12	0	-0,09
0,57	0,48	0,70	0,49	0,29	0,13	0	-0,10
0,64	0,54	0,81	0,55	0,33	0,15	0	-0,11
0,88	0,76	1,18	0,79	0,46	0,20	0	-0,15
0,45	0,39	0,64	0,46	0,28	0,16	0,05	-0,03
0,48	0,42	0,71	0,51	0,31	0,18	0,06	-0,03
0,54	0,46	0,81	0,58	0,34	0,20	0,06	-0,04
0,61	0,52	0,96	0,67	0,39	0,23	0,07	-0,04
0,88	0,76	1,49	1,01	0,58	0,33	0,10	-0,06
0,42	0,37	0,72	0,53	0,36	0,22	0,10	0,01
0,46	0,40	0,81	0,60	0,40	0,24	0,11	0,01
0,51	0,44	0,93	0,67	0,45	0,27	0,12	0,02
0,59	0,50	1,13	0,81	0,53	0,31	0,14	0,02
0,88	0,76	1,18	1,28	0,82	0,47	0,21	0,03
0,40	0,35	0,80	0,60	0,42	0,27	0,15	0,05
0,44	0,38	0,92	0,69	0,47	0,29	0,16	0,06
0,49	0,42	1,08	0,78	0,54	0,33	0,18	0,07
0,57	0,48	1,35	1,01	0,69	0,39	0,21	0,12
0,88	0,78	2,42	1,62	1,04	0,60	0,32	0,06
0,41	0,33	0,52	0,36	0,22	0,10	0	-0,07
0,46	0,37	0,63	0,43	0,26	0,11	0	-0,07
0,50	0,41	0,71	0,48	0,28	0,12	0	-0,08
0,57	0,46	0,82	0,55	0,32	0,14	0	-0,09
0,82	0,68	1,24	0,81	0,46	0,20	0	-0,14
0,37	0,30	0,60	0,43	0,28	0,16	0,05	-0,02
0,43	0,34	0,75	0,53	0,34	0,18	0,06	-0,02
0,47	0,38	0,86	0,60	0,38	0,20	0,07	-0,02
0,55	0,44	1,03	0,70	0,44	0,23	0,08	-0,02
0,82	0,68	1,66	1,10	0,67	0,35	0,12	-0,03
0,35	0,29	0,69	0,51	0,35	0,21	0,10	0,03
0,40	0,33	0,88	0,64	0,42	0,25	0,12	0,03
0,45	0,37	1,04	0,73	0,48	0,28	0,14	0,03
0,52	0,42	1,27	0,88	0,56	0,33	0,16	0,04
0,82	0,68	2,24	1,47	0,92	0,52	0,25	0,06
0,32	0,27	0,81	0,60	0,42	0,27	0,15	0,07
0,38	0,31	1,07	0,77	0,51	0,32	0,18	0,07
0,43	0,35	1,27	0,89	0,60	0,37	0,20	0,08
0,50	0,41	1,60	1,10	0,71	0,43	0,23	0,10
0,82	0,68	3,13	1,99	1,23	0,72	0,38	0,17

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	125/127

690

NORMA MV 101-1962

Continua na Página 691

TABLA 92 (continua)

Angulo de rozamiento interno del terreno φ	Angulo de rozamiento de terreno y muro δ	Angulo del talud del terreno β	Coeficiente λ_H de empuje activo horizontal, del muro $b : h = \cot \alpha =$				siendo $\lambda =$
			0,8	0,6	0,4	0,2	
30°	0°	0°	0,60	0,54	0,48	0,41	0,3
		10°	0,71	0,64	0,55	0,46	0,3
		20°	0,89	0,78	0,67	0,55	0,4
		25°	1,04	0,90	0,77	0,63	0,5
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,6
	$\frac{\varphi}{3} = 10°$	0°	0,50	0,47	0,42	0,37	0,3
		10°	0,61	0,56	0,50	0,42	0,3
		20°	0,79	0,71	0,61	0,51	0,4
		25°	0,95	0,84	0,72	0,60	0,4
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,5
	$\frac{2\varphi}{3} = 20°$	0°	0,41	0,40	0,37	0,33	0,3
		10°	0,52	0,49	0,44	0,39	0,3
		20°	0,69	0,63	0,56	0,48	0,4
		25°	0,86	0,78	0,67	0,57	0,4
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,5
	$\varphi = 30°$	0°	0,32	0,33	0,33	0,30	0,3
		10°	0,42	0,42	0,39	0,35	0,3
		20°	0,58	0,56	0,51	0,44	0,3
		25°	0,75	0,70	0,62	0,53	0,3
		30°	1,60	1,36	1,14	0,93	0,5
35°	0°	0°	0,54	0,49	0,42	0,35	0,3
		15°	0,70	0,61	0,51	0,42	0,3
		25°	0,88	0,75	0,62	0,50	0,3
		30°	1,04	0,88	0,72	0,57	0,4
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,4
	$\frac{\varphi}{3} = 11° 40'$	0°	0,44	0,41	0,37	0,31	0,3
		15°	0,60	0,53	0,46	0,38	0,3
		25°	0,77	0,67	0,57	0,46	0,3
		30°	0,94	0,81	0,67	0,54	0,4
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,4
	$\frac{2\varphi}{3} = 23° 20'$	0°	0,35	0,34	0,32	0,28	0,3
		15°	0,49	0,46	0,41	0,34	0,3
		25°	0,66	0,60	0,52	0,43	0,3
		30°	0,83	0,73	0,62	0,51	0,3
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,4
	$\varphi = 35°$	0°	0,25	0,27	0,27	0,24	0,3
		15°	0,36	0,37	0,35	0,31	0,3
		25°	0,52	0,51	0,46	0,39	0,3
		30°	0,69	0,64	0,57	0,48	0,3
		35°	1,63	1,35	1,10	0,87	0,4

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	126/127



NORMA MV 101-1962

691

Continua na Página 690

(continuación)

siendo la inclinación		Coeficiente λ_v de empuje activo vertical, siendo la inclinación del muro $b : h = \cot \alpha =$					
0	-0,2	0,8	0,6	0,4	0,2	0	-0,2
0,33	0,26	0,48	0,33	0,19	0,08	0	-0,05
0,37	0,28	0,57	0,38	0,22	0,09	0	-0,06
0,44	0,33	0,71	0,47	0,27	0,11	0	-0,07
0,50	0,38	0,83	0,54	0,31	0,13	0	-0,08
0,75	0,59	1,28	0,82	0,45	0,19	0	-0,12
0,30	0,24	0,57	0,41	0,26	0,14	0,05	-0,01
0,34	0,27	0,69	0,49	0,31	0,16	0,06	-0,01
0,41	0,32	0,90	0,62	0,38	0,20	0,07	-0,01
0,48	0,37	1,08	0,73	0,45	0,23	0,08	-0,01
0,75	0,59	1,82	1,18	0,71	0,36	0,13	-0,01
0,38	0,22	0,68	0,49	0,33	0,20	0,10	0,03
0,32	0,25	0,85	0,60	0,39	0,24	0,12	0,04
0,39	0,30	1,13	0,78	0,50	0,29	0,14	0,05
0,46	0,35	1,41	0,89	0,60	0,35	0,17	0,05
0,75	0,59	2,63	1,68	1,02	0,57	0,27	0,09
0,26	0,21	0,82	0,60	0,41	0,26	0,15	0,07
0,30	0,24	1,07	0,76	0,50	0,31	0,17	0,08
0,37	0,29	1,48	1,01	0,65	0,39	0,21	0,10
0,41	0,31	1,82	1,26	0,79	0,47	0,25	0,12
0,75	0,59	4,10	2,45	1,44	0,82	0,43	0,20
0,27	0,20	0,43	0,29	0,17	0,07	0	-0,04
0,32	0,23	0,56	0,37	0,20	0,08	0	-0,05
0,38	0,27	0,70	0,45	0,25	0,10	0	-0,05
0,44	0,31	0,83	0,53	0,29	0,11	0	-0,06
0,67	0,50	1,31	0,81	0,44	0,17	0	-0,10
0,25	0,18	0,53	0,38	0,24	0,13	0,05	0,00
0,29	0,21	0,72	0,49	0,30	0,16	0,06	0,00
0,35	0,25	0,93	0,62	0,38	0,19	0,07	0,00
0,41	0,30	1,13	0,75	0,44	0,23	0,08	0,00
0,67	0,50	1,96	1,24	0,73	0,37	0,14	0,00
0,22	0,17	0,81	0,47	0,32	0,19	0,10	0,04
0,27	0,20	0,92	0,64	0,41	0,23	0,12	0,04
0,33	0,24	1,24	0,83	0,52	0,30	0,14	0,05
0,39	0,29	1,56	1,02	0,62	0,35	0,17	0,06
0,67	0,50	3,07	1,88	1,10	0,60	0,29	0,11
0,21	0,16	0,85	0,60	0,41	0,26	0,14	0,07
0,25	0,19	1,23	0,83	0,53	0,30	0,17	0,08
0,31	0,23	1,77	1,14	0,70	0,37	0,22	0,10
0,37	0,27	2,35	1,43	0,87	0,46	0,26	0,12
0,67	0,50	5,57	3,03	1,68	0,91	0,47	0,22

Título de Documento:	Unidade Responsável	Data:	Código:	Revisão:	Página:
Memória de Cálculo	SUPRO	09/09/2016	80-MC-000A-23-1000	Rev. 0	127/127

19.2 Critério AREMA para Carga Móvel apud MANUAL FOR RAILWAY ENGINEERING

¶ *Live Load.*

- (1) The recommended live load for each track of main line structure is Cooper E 80 (EM 360) loading with axle loads and axle spacing as shown in [Figure 8-2-1](#). On branch lines and in other locations where the loading is limited to the use of light equipment, or cars only, the live load may be reduced, as directed by the engineer. For structures wherein the material in the primary load-carrying members is not concrete, the E loading used for the concrete design shall be that used for the primary members.
- (2) The axle loads on structures may be assumed as uniformly distributed longitudinally over a length of 3 feet (900 mm), plus the depth of ballast under the tie, plus twice the effective depth of slab, limited, however, by the axle spacing.
- (3) Live load from a single track acting on the top surface of a structure with ballasted deck or under fills shall be assumed to have uniform lateral distribution over a width equal to the length of track tie plus the depth of ballast and fill below the bottom of tie, unless limited by the extent of the structure.
- (4) The lateral distribution of live load from multiple tracks shall be as specified for single tracks and further limited so as not to exceed the distance between centers of adjacent tracks.