

ESTUDO E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE CIBRES AO SOLO PARA UM VIADUTO

MÁRIO PEDRO NEVES DE SOUSA MAIA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Orientador: Professor Doutor Nelson Saraiva Vila Pouca

SETEMBRO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais,
Por Tudo e Tudo

Que nunca por vencidos se conheçam
Escola de Tropas Pára-quedistas

AGRADECIMENTOS

Acabo de entregar a minha Tese de Dissertação de Mestrado e não posso deixar passar esta data sem agradecer a todos os que, de alguma maneira, me apoiaram ao longo do meu percurso na Academia.

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Nelson Vila Pouca, os sábios conselhos que me transmitiu sempre que nos reunimos.

Gostaria de agradecer ao do Professor José Miguel Castro a sua disponibilidade, que foi também ela fundamental para a execução e conclusão deste trabalho bem como a receptividade do Professor Renato Bastos quando solicitei a sua ajuda.

Gostaria também de agradecer ao Professor António Adão da Fonseca e ao Professor Rui Faria pela disponibilidade e pelos conselhos transmitidos uma vez que estes foram fundamentais para a decisão do tema estudado neste trabalho.

Não poderia deixar de prestar os meus mais sinceros agradecimentos ao grande Amigo e Engenheiro Gilberto Castro Alves que foi incansável na ajuda valiosa e nas opiniões que foi dando ao longo do trabalho. Relativamente a este grande Amigo, não podia deixar de agradecer também a sua quota-parte da responsabilidade na forte amizade que existe entre nós.

Gostaria de agradecer também aos grandes amigos, Engenheiro João Gaspar e o Engenheiro Nuno Queirós, que desde cedo, na minha aventura no mundo universitário, me acompanharam. Nestes agradecimentos também não poderia esquecer a PRAXE, que me recebeu e deu a conhecer aquilo que de bom a vida Académica tem.

Gostaria de expressar ainda o meu agradecimento aos meus colegas de curso, em especial aos que frequentaram comigo a opção de estruturas, por todos os bons momentos que passamos juntos, por maior que fosse o volume de trabalho a fazer.

Uma vez que durante a realização desta tese houve um momento particularmente difícil e marcante para mim, gostaria que o meu amigo Diogão, seja lá onde for que ele se encontre agora, soubesse que lhe agradeço todos os bons momentos de alegria que ele sempre soube proporcionar.

Gostava também de agradecer a minha madrinha Conceição, pois sem ela a interpretação do que está escrito neste documento seria certamente uma tarefa mais difícil.

No fim, mas não menos sentidos, são os agradecimentos aos meus pais, aos meus avós, Manuel Joaquim de Sousa, que tanto influenciou a minha formação, Madalena Rosa e Albino Maia e à restante família quer pelo apoio incondicional que sempre me transmitiram quer pelo grande orgulho que por mim sempre manifestaram.

Àqueles que injustamente me esqueci de referir, o meu muito sincero obrigado por me terem ajudado a ser aquilo que sou hoje.

RESUMO

Este documento centra-se no estudo de diferentes opções de contraventamento para cimbres ao solo contínuos.

Os contraventamentos têm um papel fundamental no que respeita à estabilidade da estrutura pelo facto de permitirem que a mesma responda às solicitações como um corpo rígido. Apesar disso, não existem normas que definam como obter sistemas de contraventamento o mais eficazes e seguros possível.

Numa primeira fase deste documento são apresentados vários tipos de cimbres ao solo utilizados na construção de viadutos. Nesta primeira fase é feita uma exposição desse tipo de estruturas realçando eventuais problemas que podem acontecer na sua construção e como os minimizar. Posteriormente são efectuadas análises a diferentes opções de contraventamento de cimbres ao solo com 9 m e 18 m de altura utilizados na construção de viadutos com 20 m e 40 m de vão. Estas análises têm como objectivo conhecer a influência do contraventamento nos factores de carga crítica e os seus respectivos valores. Desta forma é possível retirar algumas conclusões relativamente à influência dos contraventamentos na estabilidade da estrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Cimbra, contraventamento, factor de carga critica.

ABSTRACT

This document focuses on the study of different options for bracing in falsework structures.

The bracing has a fundamental role with regard to the stability of the structure that allows the structure to respond to requests as a rigid body. Nevertheless, there are no standards that define how bracing systems as effective and safe as possible.

Initially, this document presents various types of bracing in a falsework structures used in the construction of viaducts. In this first phase is made an exhibition of such structures showing potential problems that can happen during the construction and how to minimize them. Later tests are performed at different options for bracing in falsework structures with 9 m 18 m height used in building bridges with 20 m 40 m span. These tests aim to determine the influence of bracing in critical load factors and their values. That way, it is possible to get some conclusions concerning the influence of bracing on the stability of the structure.

KEYWORDS: Falsework, bracing, critical load factor.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA EM ANÁLISE.....	1
1.2. OBJECTIVOS DESTE ESTUDO.....	2
1.3. BREVE DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DA TESE	2
2. Utilização de Cimbres ao Solo na Construção de Viadutos	5
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. SISTEMAS DE CIMBRE AO SOLO.....	6
2.2.1. CIMBRES AO SOLO CONTÍNUOS	6
2.2.1.1. Apresentação do sistema de funcionamento.....	6
2.2.1.2. Principais Causas de Possíveis Problemas.....	12
2.2.2. CIMBRES AO SOLO MODULARES	16
2.2.2.1. Apresentação do sistema de funcionamento.....	16
2.2.2.2. Recomendações no Dimensionamento	18
2.2.3. CIMBRES AO SOLO COM RECURSO A TORRES	19
2.2.3.1. Sistema de funcionamento.....	19
2.2.3.2. Recomendações no Dimensionamento	20
2.3. RECOMENDAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO	25

2.4. CONSTRUÇÃO E DESMONTAGEM	29
2.5. DOCUMENTAÇÃO ANALISADA NESTE ESTUDO	32
3. Análise de Soluções de Contraventamento de Cimbres ao Solo Contínuos para Diferentes Relações Vão/Altura	35
3.1. INTRODUÇÃO	35
3.2. DESCRIÇÃO DAS CARGAS APLICADAS	36
3.2.1. GENERALIDADES	36
3.2.2. CARGAS UTILIZADAS NA REALIZAÇÃO DESTE ESTUDO	43
3.3. DETERMINAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE CIMBRES A ESTUDAR	45
3.4. ESTUDO DE DIFERENTES SOLUÇÕES DE CONTRAVENTAMENTO	60
3.4.1. GENERALIDADES.....	60
3.4.2. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AO MODELO ADOPTADO	61
3.4.3. RESULTADOS OBTIDOS.....	64
3.4.3.1. CIMBRE AO SOLO CONTÍNUO COM 9 M DE ALTURA PARA UM VÃO DE 20 M	69
3.4.3.2. CIMBRE AO SOLO CONTÍNUO COM 18 M DE ALTURA PARA UM VÃO DE 20 M	94
3.4.3.3. CIMBRE AO SOLO CONTÍNUO COM 9 M DE ALTURA PARA UM VÃO DE 40 M	118
3.4.3.4. CIMBRE AO SOLO CONTÍNUO COM 18 M DE ALTURA PARA UM VÃO DE 40 M	143
4. Conclusões e Propostas de Trabalhos a Realizar Futuramente	169
4.1. CONCLUSÕES	169
4.2. PROPOSTAS DE TRABALHOS A REALIZAR FUTURAMENTE	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cimbre ao Solo Contínuo [5]	6
Figura 2 – Elementos Constituintes de Um Cimbre, adaptado de [3].....	7
Figura 3 – Cofragem de Um Tabuleiro [7].....	8
Figura 4 - Viga de Distribuição [3].....	8
Figura 5 - Sistema de Cimbre ao Solo Constituído Por Colunas de Tubos de Andaime [8] [9]	9
Figura 6 - Sistema de Cimbre Constituído Por Tubos de Andaime Ligados Entre Si de Forma Contínua [10].....	9
Figura 7 - Sistema de Cimbre ao Solo Contínuo Constituído por Torres em Tubo de Andaime [11] [12]	9
Figura 8 - Tipos de Contraventamentos de Um Sistema de Cimbre ao Solo, adaptado de [3].....	10
Figura 9 - Cimbre Apoiado em Tábuas de Madeira [3].....	11
Figura 10 - Cimbre Instalado Sobre Uma Fundação [3]	11
Figura 11 - Exemplo Incorrecto de Transmissão de Cargas ao Cimbre, adaptado de [3]	12
Figura 12 - Forma Correcta de Centrar Uma Viga Numa Forquilha, adaptado de [3].....	13
Figura 13 – Forma Correcta de Centrar as Vigas de Distribuição nas Forquilhas, adaptado de [3].....	13
Figura 14 - Diagonal de Contraventamento de Um Cimbre Ligada de Forma Incorrecta [3].....	14
Figura 15 - Exemplo de Contraventamento nos Parafusos Superiores e Inferiores de Um Cimbre [3]	14
Figura 16 - Exemplo de Um Cimbre Apoiado de Forma Errada [3].....	15
Figura 17 – Exemplos de Possíveis Causas de Um Mau Apoio da Fundação, adaptado de [3]	15
Figura 18 - Sistema de Cimbre Com Nós Semi-Rígidos [3]	16
Figura 19 - Cimbre ao Solo Modular [13].....	17
Figura 20 - Viga de Vão Metálica Construída em Treliça [3]	17
Figura 21 - Viga de Vão de Alma Cheia [14].....	17
Figura 22 - Cimbre Com Recurso a Torres [15].....	20
Figura 23 - Recurso a Uma Torre Para Auxiliar a Construção de Um Cimbre Auto-Lançável [3].....	20
Figura 24 - Pirâmide Metálica Que Permite a Introdução da Carga Numa Torre de Forma Centrada [3] [16].....	21
Figura 25 - Caso em Que a Carga Está Centrada Numa Torre e Distribuída Pelos Seus Quatro Prumos, adaptado de [3].....	22
Figura 26 - Caso em Que a Carga Está Centrada Numa Torre e Distribuída Apenas Pelos Seus Dois Prumos, adaptado de [3].....	22
Figura 27 - Vigas Cruzadas Utilizadas Para Centrar e Distribuir Correctamente as Cargas [3]	23
Figura 28 - Caso de Introdução de Cargas Num Contraventamento Provocado Por Uma Carga Descentrada [3].....	24

Figura 29 – Torre Contraventada Contra um Muro Com Dispositivos de Ajuste de Altura ao Solo Contraventados por Tirantes [3]	25
Figura 30 - Detalhes de Ligações de Contraventamentos na Parte Superior e Inferior do Cimbra [3] 27	
Figura 31 - Detalhe de Uma Solução no Caso de Existir Uma Viga Inclinada, adaptado de [3]	28
Figura 32 - Encurvadura Devido a Uma Carga Aplicada Numa Viga, adaptado de [3]	28
Figura 33 – Diagramas de Esforços de Possível Retirada do Cimbra Recorrendo à Descida Programada dos Dispositivos de Ajuste, adaptado de [3].....	32
Figura 34 - Sobrecarga do Betão Fresco	38
Figura 35 - Esquema de execução e Montagem do Sistema Duralok [21].....	46
Figura 36 - Secção Tipo Para Viadutos Com Vãos Até 20 m	47
Figura 37 - Secção Tipo Para Vãos Entre os 20 m e os 40 m	47
Figura 38 - Vista Em Planta da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão	49
Figura 39 – Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m.....	50
Figura 40 - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m.....	50
Figura 41 - Vista 3D da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m	51
Figura 42 - Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m.....	52
Figura 43 - - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m.....	52
Figura 44 - Vista 3D da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m	53
Figura 45 – Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbra ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão.....	54
Figura 46 - Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbra ao Solo Com 18m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão.....	54
Figura 47 - Vista Em Planta da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão	55
Figura 48 – Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m.....	55
Figura 49 - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m.....	56
Figura 50 - Vista 3D da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m	56

Figura 51 - Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m	57
Figura 52 - - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m.....	57
Figura 53 - Vista 3D da Configuração do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m	58
Figura 54 – Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cembre ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão	59
Figura 55 - Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cembre ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão	59
Figura 56 - Disposição do Diafragma no Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de vão.....	61
Figura 57 - Diafragma no Topo do Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão e 9m de Altura	62
Figura 58 - Disposição do Diafragma no Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de vão.....	62
Figura 59 - Diafragma no Topo do Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão e 9m de Altura	63
Figura 60 – Vista em Planta dos Planos Verticais no Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão	64
Figura 61 - Plano Vertical do Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão	65
Figura 62 - Vista em Alçado dos Planos Horizontais no Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão	65
Figura 63 – Vista em Planta de Um Plano Horizontal no Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão.....	66
Figura 64 - Exemplo de Planos Horizontais Contraventados de Forma Alternada, 3 m em 3 m	67
Figura 65 – Contraventamento de Plano Vertical em que os Elementos de Contraventamento Funcionam Apenas À Tracção.....	68
Figura 66 - Contraventamento de Plano Vertical em que os Elementos de Contraventamento Estão Dispostos em Cruz	68
Figura 67 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	69
Figura 68 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	69
Figura 69 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	70
Figura 70 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	72

Figura 71 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	72
Figura 72 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	73
Figura 73 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	75
Figura 74 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	75
Figura 75 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	76
Figura 76 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	78
Figura 77 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	78
Figura 78 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	79
Figura 79 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	81
Figura 80 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	81
Figura 81 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	82
Figura 82 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	84
Figura 83 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	84
Figura 84 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	85
Figura 85 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	87
Figura 86 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	87
Figura 87 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	88
Figura 88 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	90
Figura 89 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	90

Figura 90 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	91
Figura 91 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	94
Figura 92 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	94
Figura 93 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	95
Figura 94 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	97
Figura 95 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	97
Figura 96 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	98
Figura 97 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	100
Figura 98 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	100
Figura 99 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	101
Figura 100 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	103
Figura 101 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	103
Figura 102 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	104
Figura 103 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	106
Figura 104 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	106
Figura 105 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	107
Figura 106 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	109
Figura 107 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	109
Figura 108 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	110

Figura 109 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	112
Figura 110 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	112
Figura 111 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	113
Figura 112 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	115
Figura 113 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	115
Figura 114 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	116
Figura 115 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	118
Figura 116 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	118
Figura 117 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	119
Figura 118 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	121
Figura 119 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	121
Figura 120 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	122
Figura 121 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	124
Figura 122 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	124
Figura 123 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	125
Figura 124 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	127
Figura 125 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	127
Figura 126 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	128
Figura 127 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	130

Figura 128 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	130
Figura 129 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	131
Figura 130 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	133
Figura 131 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	133
Figura 132 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	134
Figura 133 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	136
Figura 134 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	136
Figura 135 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	137
Figura 136 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	139
Figura 137 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	139
Figura 138 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	140
Figura 139 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	143
Figura 140 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	143
Figura 141 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	144
Figura 142 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	146
Figura 143 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	146
Figura 144 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados	147
Figura 145 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	149
Figura 146 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	149

Figura 147 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	150
Figura 148 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	152
Figura 149 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	152
Figura 150 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	153
Figura 151 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	155
Figura 152 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	155
Figura 153 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	156
Figura 154 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	158
Figura 155 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos.....	158
Figura 156 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	159
Figura 157 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	161
Figura 158 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	161
Figura 159 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	162
Figura 160 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes	164
Figura 161 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes	164
Figura 162 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados.....	165

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Acções a considerar Para o Modelo do Cimbra	40
Tabela 2 - Factores de Combinação de Acções ψ	41
Tabela 3 - Combinações das Acções Para os Vários Casos de Carga em E.L.U.	42
Tabela 4 - Combinações das Acções Para os Vários Casos de Carga E.L.S.....	42
Tabela 5 – Valor das Cargas Utilizadas Neste Estudo	43
Tabela 6 - Valores da Acção do Vento	44
Tabela 7 - Combinações de Acções Para os Vários Casos Carga da Modelação em Estado de Limite Ultimo	45
Tabela 8 - Carga Máxima Admissível Por Prumo Interno.....	48
Tabela 9 - Carga Máxima Admissível Por Prumo Externo.....	49
Tabela 10 - Valores de Factores de Carga Critica.....	70
Tabela 11 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	71
Tabela 12 - Valores de Factores de Carga Critica.....	73
Tabela 13 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	74
Tabela 14 - Valores de Factores de Carga Critica.....	76
Tabela 15 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	77
Tabela 16 - Valores de Factores de Carga Critica.....	79
Tabela 17 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	80
Tabela 18 - Valores de Factores de Carga Critica.....	82
Tabela 19 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	83
Tabela 20 - Valores de Factores de Carga Critica.....	85
Tabela 21 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	86
Tabela 22 - Valores de Factores de Carga Critica.....	88
Tabela 23 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	89
Tabela 24 - Valores de Factores de Carga Critica.....	91
Tabela 25 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	92
Tabela 26 - Valores de Factores de Carga Critica.....	95
Tabela 27 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	96
Tabela 28 - Valores de Factores de Carga Critica.....	98
Tabela 29 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	99
Tabela 30 - Valores de Factores de Carga Critica.....	101
Tabela 31 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	102

Tabela 32 - Valores de Factores de Carga Critica	104
Tabela 33 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	105
Tabela 34 - Valores de Factores de Carga Critica	107
Tabela 35 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	108
Tabela 36 - Valores de Factores de Carga Critica	110
Tabela 37 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	111
Tabela 38 - Valores de Factores de Carga Critica	113
Tabela 39 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	114
Tabela 40 - Valores de Factores de Carga Critica	116
Tabela 41 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	117
Tabela 42 - Valores de Factores de Carga Critica	119
Tabela 43 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	120
Tabela 44 - Valores de Factores de Carga Critica	122
Tabela 45 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	123
Tabela 46 - Valores de Factores de Carga Critica	125
Tabela 47 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	126
Tabela 48 - Valores de Factores de Carga Critica	128
Tabela 49 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	129
Tabela 50 - Valores de Factores de Carga Critica	131
Tabela 51 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	132
Tabela 52 - Valores de Factores de Carga Critica	134
Tabela 53 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	135
Tabela 54 - Valores de Factores de Carga Critica	137
Tabela 55 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	138
Tabela 56 - Valores de Factores de Carga Critica	140
Tabela 57 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	141
Tabela 58 - Valores de Factores de Carga Critica	144
Tabela 59 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	145
Tabela 60 - Valores de Factores de Carga Critica	147
Tabela 61 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	148
Tabela 62 - Valores de Factores de Carga Critica	150
Tabela 63 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm).....	151
Tabela 64 - Valores de Factores de Carga Critica	153

Tabela 65 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	154
Tabela 66 - Valores de Factores de Carga Critica.....	156
Tabela 67 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	157
Tabela 68 - Valores de Factores de Carga Critica.....	159
Tabela 69 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	160
Tabela 70 - Valores de Factores de Carga Critica.....	162
Tabela 71 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	163
Tabela 72 - Valores de Factores de Carga Critica.....	165
Tabela 73 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)	166

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA EM ANÁLISE

Na Engenharia Civil as estruturas construídas podem ter o carácter permanente ou temporário. As estruturas temporárias são normalmente usadas para auxiliar a construção das estruturas permanentes. Esse auxílio pode verificar-se na execução de trabalhos em estruturas já existentes, por exemplo no caso dos andaimes, ou então resistindo ao peso próprio e restantes carregamentos a que uma estrutura permanente está sujeita durante a sua construção enquanto não possui a resistência suficiente para tal, tal como acontece no caso dos cimbres e cofragens durante a construção de um viaduto. Nos tipos das estruturas anteriormente referidas, os carregamentos podem ser estáticos, como no caso do peso próprio, ou dinâmicos, a quando da acção do vento ou da acção sísmica por exemplo. As acções dinâmicas, ao contrário das acções estáticas, caracterizam-se por não serem constantes ao longo do tempo induzindo nas estruturas esforços e deslocamentos que dependem da lei de variação temporal que caracteriza as mesmas. Qualquer que seja o tipo de estrutura, permanente ou temporária, ela deve ter a capacidade de resistir às acções actuantes, assegurando a sua estabilidade estrutural e evitando qualquer dano ou até mesmo o colapso da estrutura.

No caso das estruturas temporárias, estas são dimensionadas para que a sua função, resistir às acções aplicadas, seja cumprida da forma mais económica possível. Essa economia diz respeito à quantidade de material e de trabalho despendido na execução das mesmas sendo ao mesmo tempo fundamental assegurar a estabilidade e segurança da estrutura. Em certos casos é necessário elaborar cuidadosos estudos económicos pois as estruturas temporárias podem atingir custos elevados. Por exemplo nos Estados Unidos o preço de estruturas temporárias, como as cofragens, pode atingir os 60% dos custos totais da estrutura de betão, ou até mais, tal como se pode ler no *ACI 347-04* [1]. Para assegurar essa economia, os elementos constituintes de estruturas temporárias devem ser dimensionados para serem utilizados várias vezes e de forma a que a sua montagem e desmontagem seja feita rápida e facilmente. Por vezes, a busca permanente dessa economia, aliada à necessidade de cumprir prazos apertados, faz com que surjam casos em que a integridade do material ou até mesmo a segurança da estrutura sejam descuidados. Muitos desses casos surgem quando o responsável pelo dimensionamento e construção dos cimbres, frequentemente o empreiteiro, se vê a braços com a construção de vários viadutos em simultâneo, tentando cumprir os prazos e rentabilizando ao máximo o equipamento que possui de forma a evitar a aquisição de mais material. Isto leva a que, muitas vezes, estruturas temporárias, como por exemplo os cimbres, sejam construídos estando o material próximo, ou até para lá, do limite das suas capacidades resistentes. Podem também existir outros casos em que, dado o carácter temporário da estrutura, se tenha a tendência a atribuir menor importância à análise e estudo da mesma.

Nos últimos anos têm existido alguns casos em que estruturas temporárias, nomeadamente cimbres de viadutos, têm colapsado, como no caso do viaduto de acesso ao túnel de Dos Valires em Andorra ou então no caso da queda de um viaduto em construção no âmbito das obras de alargamento do IP4 na zona de Amarante. Os acidentes neste tipo de estruturas podem ocorrer por diferentes razões, tal como a alteração das condições climatéricas de forma inesperada, o que pode conduzir a um carregamento imprevisto, inadequado dimensionamento das fundações, carregamento accidental, erro na construção da estrutura temporária, erro no dimensionamento do contraventamento ou da cofragem, entre outros.

Assim, conclui-se que é de elevada importância que todos os intervenientes para a instabilização da estrutura temporária e todos os carregamentos que podem ser exercidos na mesma, devem ser cuidadosamente estudados e analisados, devendo-se, posteriormente, elaborar um projecto sobre qual o tipo de estrutura temporária a utilizar para responder às necessidades da obra da forma mais eficaz e económica, sem nunca descorar a segurança e estabilidade da mesma.

1.2. OBJECTIVOS DESTE ESTUDO

Como referido no ponto anterior, uma das causas das falhas das estruturas temporárias, nomeadamente dos cimbres ao solo em viadutos, é o inadequado dimensionamento do contraventamento das mesmas. O contraventamento é também responsável por conduzir as cargas aplicadas no cimbra para o solo ou para uma estrutura capaz de absorver essas cargas com eficácia e segurança, pelo que o inadequado contraventamento de um cimbra ao solo pode originar elevados problemas nomeadamente o colapso deste. Tal facto pode colocar a execução da estrutura em risco, e, mais grave que isso, pode mesmo levar à perda de vidas, situação que deve ser evitada a todo o custo.

Muitos dos problemas no contraventamento de um cimbra ao solo podem ser originados pela tentativa do empreiteiro responsável pelo dimensionamento e execução do mesmo, procurar com o material que possui, por vezes insuficiente, montar um cimbra que permita a construção do viaduto, ou então, pelo facto de muitas vezes os cimbres serem construídos tendo por base a experiência noutros anteriormente executados, sem que seja feita uma análise cuidada de cada caso que permita avaliar a segurança e estabilidade da estrutura.

Com este trabalho pretende-se analisar várias soluções possíveis de contraventamentos em cimbres ao solo contínuos utilizados na construção de viadutos. Esta análise será feita através do estudo da influência dos contraventamentos nos factores de carga crítica dos cimbres. Uma vez que a informação relativa ao dimensionamento de cimbres ao solo não é fácil de encontrar e este tema geralmente não é abordado durante o curso de Engenharia Civil pretende-se que esta tese sirva de apoio a responsáveis de dimensionamento de cimbra ao solo, principalmente quando o fazem ao serviço de empreiteiros. Desta forma pretende-se que, com este estudo, os responsáveis pelo dimensionamento de um cimbra ao solo para um viaduto possam conhecer a influência de diferentes opções de contraventamento na estabilidade da estrutura.

1.3. BREVE DESCRIÇÃO DA ORGANIZAÇÃO DA TESE

Após um primeiro capítulo de introdução é realizada uma breve apresentação sobre vários tipos de cimbres, bem como a regulamentação utilizada para a elaboração desta tese.

No terceiro capítulo é analisado o comportamento de cimbres ao solo quando sujeitos às cargas referidas, determinadas de acordo com a norma *EN-12812* [2]. Esta avaliação é feita para diferentes contraventamentos de cimbres ao solo, recorrendo-se a análises de Buckling para determinar os

valores dos factores de carga crítica que permitem aferir a influência dos contraventamentos no dimensionamento de um cimbra.

Por fim, no quarto e último capítulo são expostas as conclusões deste estudo e apresentadas propostas de trabalhos interessantes a realizar no domínio desta matéria.

2

UTILIZAÇÃO DE CIMBRES AO SOLO NA CONSTRUÇÃO DE VIADUTOS

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados sistemas de cimbres ao solo que provisoriamente permitem suportar estruturas definitivas enquanto estas não possuem a resistência suficiente de suportar as cargas a que estão sujeitas. Com este capítulo pretende-se não só dar a conhecer o funcionamento desses sistemas mas expor também algumas recomendações importantes para um correcto dimensionamento dos mesmos. Serão também abordadas alguns processos que permitem uma montagem e desmontagem dos cimbres minimizando danos na estrutura definitiva assim como qual a documentação que foi tida em conta na execução deste estudo.

É também de referir que a informação presente neste capítulo se baseia principalmente na informação contida no livro *Diseño y Utilización de Cimbras* [3] e no *Code of Practice for Temporary Works Procedures and the Permissible Stress Design of Falsework* [4].

2.2. SISTEMAS DE CIMBRE AO SOLO

2.2.1. CIMBRES AO SOLO CONTÍNUOS

2.2.1.1. Apresentação do sistema de funcionamento

Os cimbres ao solo contínuos têm como principal função conduzir as cargas aplicadas na estrutura que estão a suportar directamente para o solo. Este tipo de cimbres é utilizado na construção de viadutos que no máximo têm uma altura ao solo de 12 a 20 metros. Este sistema de cibre não pode ser instalado em áreas que seja necessário assegurar uma zona de passagem através do mesmo ou em terrenos com fortes inclinações onde seja necessário proceder a escavações ou aterros para construção do viaduto.



Figura 1 - Cibre ao Solo Contínuo [5]

Para que este tipo de cimbre transmita as cargas ao solo de forma correcta e eficaz são necessários os seguintes elementos estruturais presentes na Figura 2 e descritos seguidamente.

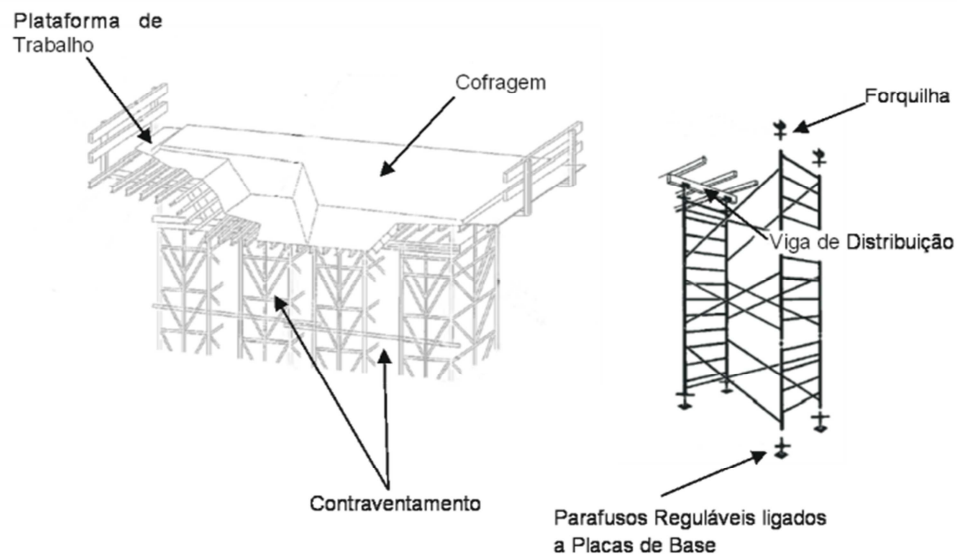


Figura 2 – Elementos Constituintes de Um Cimbre, adaptado de [3]

Na parte superior do cimbre encontra-se instalada a cofragem. A cofragem é a estrutura responsável por dar a forma pretendida ao betão. Os elementos horizontais da cofragem devem estar preparados para resistir fundamentalmente à acção do peso próprio do betão, enquanto os elementos verticais devem ser dimensionados para resistir à pressão lateral do betão. Os elementos verticais de uma cofragem estão sujeitos ao impulso horizontal do betão. O valor desse impulso horizontal está directamente ligado com a fluidez do betão começando a ser mais reduzido com o início da presa do mesmo. Depois do princípio da presa, o betão começa a endurecer diminuindo também a pressão horizontal deste nos elementos verticais da cofragem. A correcta e rigorosa determinação da pressão lateral do betão na cofragem tem vindo a tornar-se cada vez mais importante devido ao aparecimento de eficazes fluidificantes e retardadores de presa para betão no mercado. Com o aparecimento destes produtos torna-se agora necessário maior atenção e rigor na determinação da pressão lateral do betão do que a dispensada há alguns anos atrás no dimensionamento da cofragem. O método para a quantificação da pressão lateral que o betão exerce e a quantificação das acções na cofragem encontram-se devidamente apresentados por *Correia, Joana em Regras para o Dimensionamento de Cofragem para Estruturas de Betão Armado* [6].



Figura 3 – Cofragem de Um Tabuleiro [7]

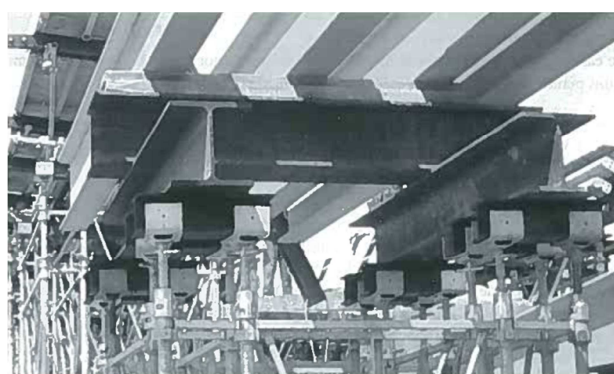


Figura 4 - Viga de Distribuição [3]

Sob a cofragem existem as vigas de distribuição, tal como apresentado na Figura 4. As vigas de distribuição têm como principal função transmitir as cargas de forma equilibrada e centrada ao cimbra. Desta forma procura-se evitar eventuais excentricidades induzidas na introdução da carga ao cimbra.

As vigas de distribuição, sobre as quais está a cofragem, são suportadas por um sistema de cimbra. No caso de um cimbra ao solo contínuo o sistema normalmente é constituído por tubos de andaime. Estes podem estar ligados entre si de forma contínua ou então podem estar organizados em colunas ou torres ligadas entre si tal como se pode ver nas próximas figuras. Os tubos usados na construção do cimbra devem respeitar a espessura mínima e folga máxima permitida na Norma EN 12812 [2].



Figura 5 - Sistema de Cimbra ao Solo Constituído Por Colunas de Tubos de Andaime [8] [9]



Figura 6 - Sistema de Cimbra Constituído Por Tubos de Andaime Ligados Entre Si de Forma Contínua [10]



Figura 7 - Sistema de Cimbra ao Solo Contínuo Constituído por Torres em Tubo de Andaime [11] [12]

Na parte superior do cimbra existem forquilhas ligadas a parafusos reguláveis. As forquilhas têm como função acomodar correctamente as vigas que transmitem a carga para o cimbra. Já na parte

inferior da torre existem também parafusos reguláveis ligados a placas de base com o objectivo primordial de assegurar a verticalidade da torre. A possibilidade de se poder regular os parafusos, quer na parte superior quer na parte inferior, permite que sejam por vezes efectuados ajustes na altura do cembre. Estes ajustes são muito importantes para, por exemplo, para se assegurar a contra flecha pretendida ou a inclinação necessária na cofragem. Estes dispositivos são apresentados na Figura 2

Para que este tipo de cembre possa transmitir ao solo todas as cargas que lhe são aplicadas é necessário assegurar um eficaz e correcto contraventamento. Neste tipo de sistema o contraventamento terá como principal função assegurar a transmissão das cargas horizontais ao solo e diminuir o comprimento de encurvadura nos elementos verticais constituintes do cembre. Para que tal seja possível pode identificar-se três tipos de contraventamento:

- Contraventamento vertical da própria torre ou coluna;
- Contraventamento dos planos verticais entre torres ou colunas diferentes;
- Contraventamento dos planos horizontais entre torres ou colunas diferentes.

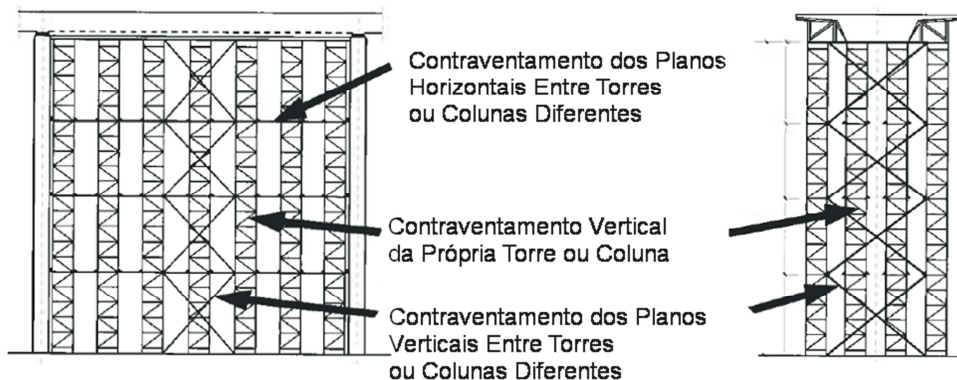


Figura 8 - Tipos de Contraventamentos de Um Sistema de Cembre ao Solo, adaptado de [3]

No caso de o cembre contínuo ser constituído por torres ou colunas de tubo de andaime o contraventamento vertical das mesmas pretende criar uma estrutura triangulada que assegure um adequado comprimento de encurvadura dos elementos comprimidos constituintes da mesma, quando esta fica sujeita aos esforços verticais. Já o contraventamento dos planos verticais entre torres ou colunas diferentes tem como principal objectivo assegurar a transferência das cargas horizontais desde a parte superior da torre até à fundação ou a um outro ponto fixo capaz de absorver essas cargas. Por fim, o contraventamento dos planos horizontais entre torres ou colunas diferentes permite diminuir o comprimento de encurvadura global das torres.

Para que as cargas aplicadas sobre o cembre sejam absorvidas pelo solo de forma eficaz é necessário conhecer a capacidade resistente do solo e assegurar que as fundações do cembre sejam dimensionadas de forma adequada, tendo em conta os esforços transmitidos pelo cembre e a referida capacidade resistente do solo. As fundações podem apresentar diferentes configurações em função da capacidade resistente do solo e da carga transmitida às mesmas. Em solos mais resistentes e em cimbres

carregados com cargas menores é possível que as bases dos cimbres estejam apoiadas em tabuas de madeira assentes sobre o solo, tal como se pode ver na Figura 9

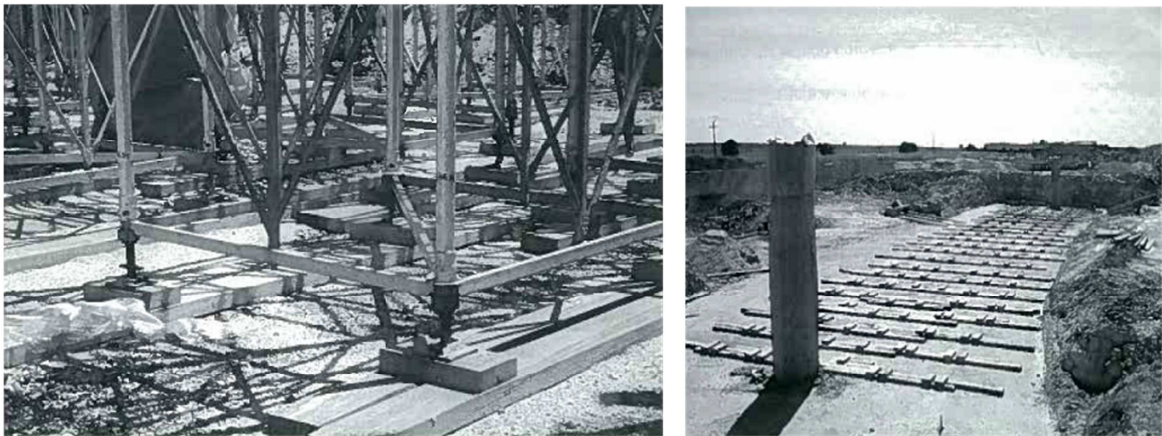


Figura 9 - Cimbra Apoiado em Tábuas de Madeira [3].

Noutros casos, em que as cargas descarregadas pelo cimbra no solo sejam elevadas, em que a capacidade resistente do solo seja reduzida ou até na conjugação dos dois pode ser necessário instalar micro estacas no solo ou então construir sapatas de betão armado de forma a que as cargas transmitidas ao solo sejam correcta e eficazmente resistidas. Um factor que geralmente pode ser determinante no tipo de fundação a adoptar está relacionado com as condições meteorológicas que se se verificam a quando da construção do cimbra. Este factor é importante pois no caso da ocorrência de precipitações elevadas isso poderá conduzir a um rápido decréscimo da capacidade resistente do solo o que por sua vez poderá provocar assentamentos acentuados, capazes de poder originar um eventual colapso de todo o sistema de cimbra ao solo.



Figura 10 - Cimbra Instalado Sobre Uma Fundação [3]

2.2.1.2. Principais Causas de Possíveis Problemas

Neste ponto serão abordados alguns problemas que frequentemente ocorrem na construção e execução deste tipo de sistemas de cimbres.

No dimensionamento de um cembre ao solo contínuo deve assegurar-se que as cargas são repartidas pelos prumos de acordo com o dimensionamento e aplicadas na estrutura sem introduzir excentricidades adicionais. Alguns problemas existem quando a vigas que se apoiam nas forquilha, no topo dos cimbres, não estão correctamente centradas, introduzindo momentos flectores nos parafusos dessas forquilha. Esses momentos flectores, por sua vez, podem resultar numa deformação excessiva do parafuso da forquilha onde a viga está apoiada ou até num aumento do esforço nos elementos diagonais da torre ou coluna diminuindo assim a capacidade de contraventamento desta. Um caso frequente deste problema encontra-se nos apoios de vigas que recebem as cargas da cofragem em áreas onde é necessário assegurar uma zona de passagem de veículos, tal como se pode ver na Figura 11.

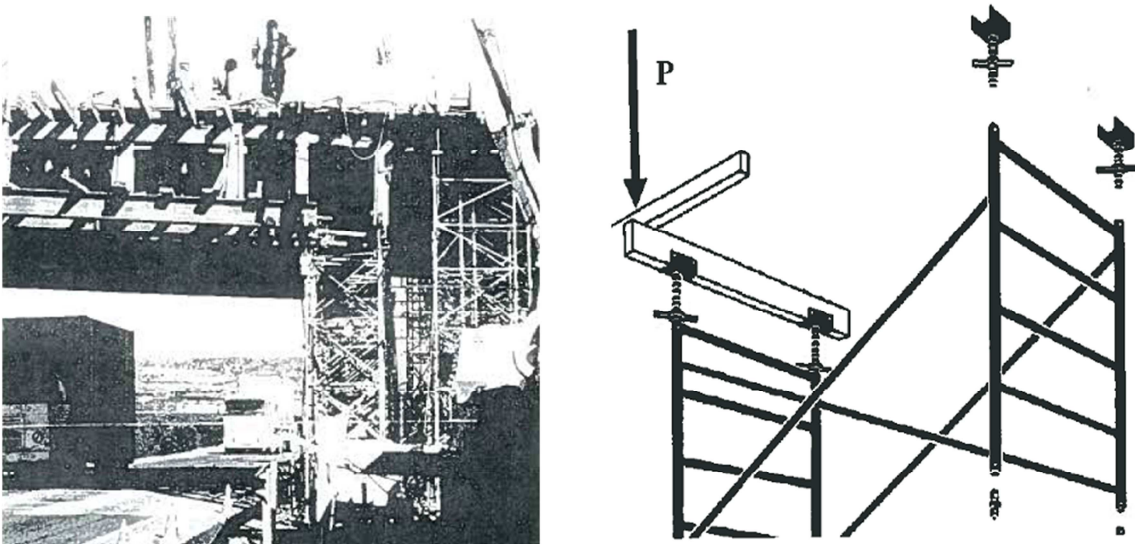


Figura 11 - Exemplo Incorrecto de Transmissão de Cargas ao Cembre, adaptado de [3]

A figura evidencia a falta de uma viga de distribuição para que as cargas introduzidas no cembre sejam repartidas correctamente e sem introduzir excentricidade nas forquilha do cembre. Para que as vigas de distribuição se mantenham centradas durante o funcionamento do cembre deve utilizar-se elementos, como calços, que permitam garantir que as vigas apoiadas nas forquilha não provocam excentricidades e que não sofrem rotação capaz de provocar o derrube das mesmas na forquilha, tal como apresentado na Figura 13. Muitas vezes esses calços são materializados por cunhas de madeira, o que não é de todo aconselhável, pois com as vibrações provocadas pelos trabalhos que estão a decorrer na obra as cunhas podem começar a desencaixar-se da posição pretendida. Para evitar que eventuais excentricidades introduzidas nas vigas que estão a transmitir a carga para o cembre possam

provocar uma rotação capaz de as derrubar, tal como referido anteriormente, é aconselhável utilizar perfis HEB em vez de perfis IPE.

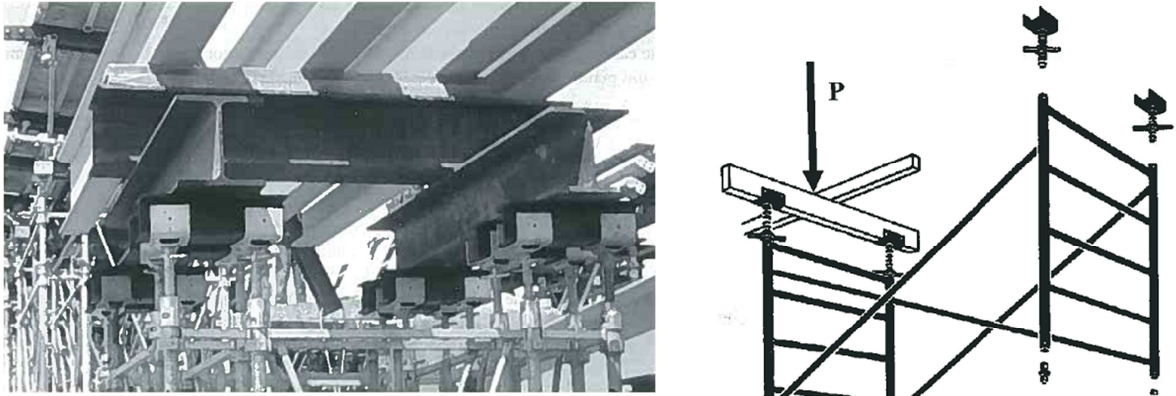


Figura 12 - Forma Correcta de Centrar Uma Viga Numa Forquilha, adaptado de [3]

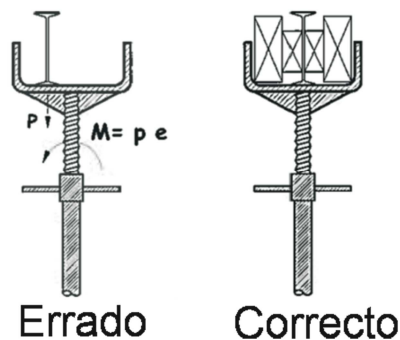


Figura 13 – Forma Correcta de Centrar as Vigas de Distribuição nas Forquilhas, adaptado de [3]

Outro ponto em que podem existir problemas é no contraventamento de um sistema de cimbres. Como referido anteriormente, o contraventamento tem como principal objectivo conduzir as cargas horizontais e as forças que provocam encurvadura dos elementos a estruturas capazes de as absorver, como é o caso do solo, ou elementos com rigidez suficiente tais como fundações ou pilares. Em alguns casos os contraventamentos verticais ou horizontais apenas são feitos entre torres não estando ligados a estruturas rígidas o que não impede, de forma alguma, que os elementos constituintes do cembre sofram encurvadura.

Ainda ligado ao contraventamento de um cembre, surge por vezes um problema que está ligado à execução do cembre em obra. Esse problema está relacionado com o facto de muitas vezes as diagonais de contraventamento do cembre estarem afastadas dos nós da estrutura do cembre para lá do permitido pela Norma EN 12812 [2], tal como se pode observar na Figura 14. As diagonais devem ser ligadas o mais próximo possível dos nós, de preferência e sempre que seja possível nos próprios nós, para que se possam evitar excentricidades que não tenham sido consideradas no dimensionamento do cembre

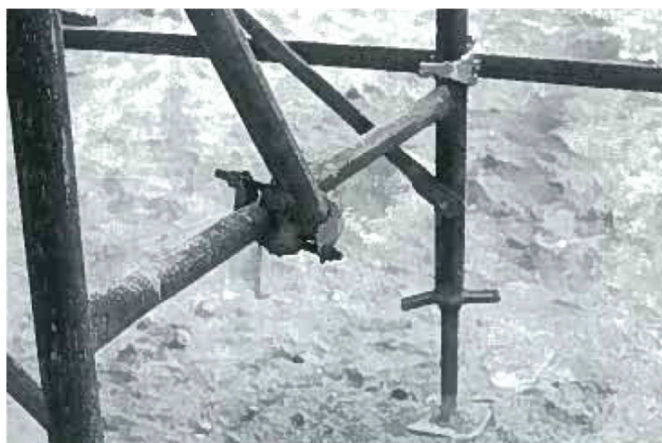


Figura 14 - Diagonal de Contraventamento de Um Cimbra Ligada de Forma Incorrecta [3]

É também de ter em atenção o facto de, por vezes, em terrenos inclinados existir a necessidade de dar aberturas excessivas aos parafusos localizados na parte inferior do cimbra para proceder aos ajustes necessários na altura do cimbra. Esta situação pode levar à necessidade de dotar esta parte inferior do cimbra de contraventamento para que estes parafusos não sofram qualquer instabilização potenciadora de eventuais problemas. No entanto a abertura dos parafusos deve sempre respeitar os limites definidos pelo fabricante.

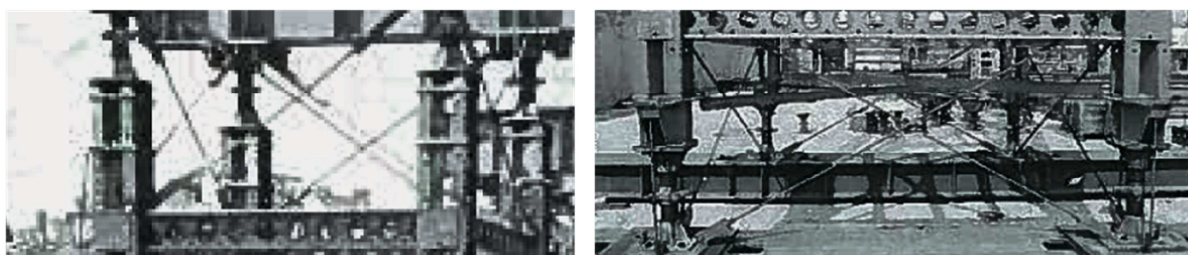


Figura 15 - Exemplo de Contraventamento nos Parafusos Superiores e Inferiores de Um Cimbra [3]

As condições em que o cimbra está apoiado podem, também ser causadoras de problemas. A forma inapropriada de como a base do cimbra está assente no solo pode dar a origem a assentamentos capazes de introduzir esforços inesperados na estrutura ou até mesmo alterar o posicionamento da cofragem. Tais problemas são apresentados na Figura 16 e Figura 17.

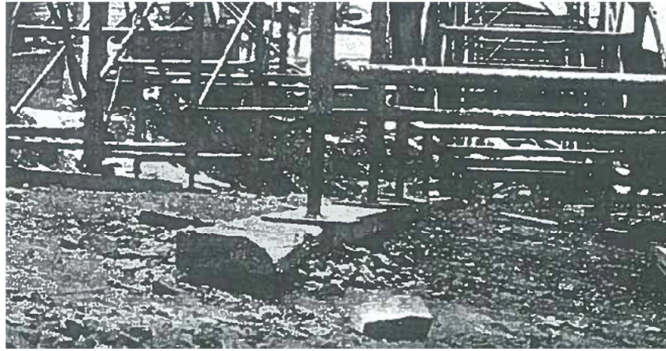


Figura 16 - Exemplo de Um Cembre Apoiado de Forma Errada [3]

Na Figura 16 mostra-se uma situação que não deve acontecer em obra. Caso o cembre esteja assente em tábuas essas devem estar sempre correctamente apoiado no solo. Se isso não se verificar podem existir problemas de apoio do cembre podendo mesmo dar-se o colapso da estrutura. Na Figura 17 são apresentadas diferentes condições de apoios de um cembre. No caso de um cembre ser apoiado num talude este deve possuir a largura necessária para que o solo resista às cargas que nele estão a ser descarregadas. É também igualmente importante assegurar que as fundações, no caso desta figura as tabuas de madeira, assegurem a horizontalidade e a uniforme transmissão da carga ao solo. Por fim, a abertura dos parafusos inferiores, indicada na Figura 17 como *a* deve ser sempre inferior ao valor máximo admitido pelo fabricante.

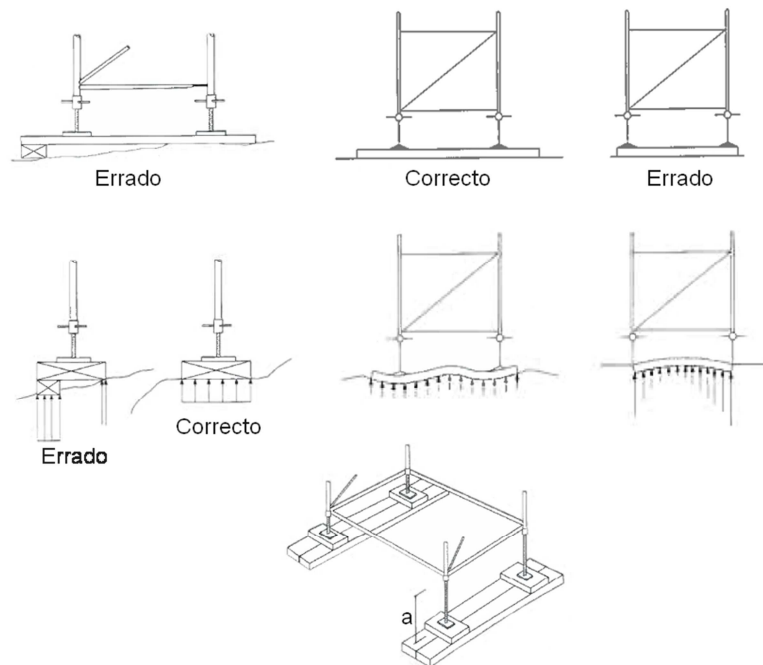


Figura 17 – Exemplos de Possíveis Causas de Um Mau Apoio da Fundação, adaptado de [3]

Importa, também, fazer referência aos cimbres contínuos com nós semi-rígidos. Este tipo de cimbres contínuos é utilizado quando sujeitos a cargas pouco elevadas e têm como principal característica o

facto de os prumos estarem unidos aos adjacentes através de elementos horizontais tal como está apresentado na Figura 18. Quando se utiliza este sistema para cargas mais elevadas é de grande importância estudar o contraventamento mais eficaz para permitir que o cimbra resista às cargas a que está sujeito sem que exista instabilização dos prumos devido à encurvadura.



Figura 18 - Sistema de Cimbra Com Nós Semi-Rígidos [3]

2.2.2. CIMBRES AO SOLO MODULARES

2.2.2.1. Apresentação do sistema de funcionamento

Os sistemas de cimbra ao solo modulares, Figura 19, caracterizam-se por apresentarem torres de grande altura e vigas capazes de vencer grandes vãos. Estes sistemas de cimbres modulares são utilizados na construção de viadutos que apresentam grandes vãos e em que a altura do tabuleiro ao solo é superior a 12 metros. Geralmente, quando se recorre a este tipo de sistemas, as características do solo não permitem um apoio contínuo sobre o terreno, obrigando a vãos significativos, que podem chegar a atingir os 36 metros. Existem vários factores que impossibilitam a realização do apoio do cimbra no solo de forma contínua. Esses factores podem ser, o facto de o solo ser brando, obrigando à necessidade de fundações complexas e de custos elevados, a necessidade de assegurar a passagem de trânsito sob o viaduto em construção, a existência de taludes, a existência de pressões relevantes provocadas pelo fluxo de água ou então questões ambientais que obrigam à necessidade de minimizar a ocupação do solo. Assim, as torres que suportam as vigas de vão estão sujeitas a cargas de valores elevados implicando a existência de importantes fundações sob essas mesmas torres.



Figura 19 - Cimbrao ao Solo Modular [13]

Quando a distância entre as torres está entre os 12 e os 36 metros, as vigas de vão utilizadas devem ser vigas metálicas construídas em treliça. Para vãos inferiores são utilizadas geralmente vigas de alma cheia.



Figura 20 - Viga de Vão Metálica Construída em Treliça [3]



Figura 21 - Viga de Vão de Alma Cheia [14]

Neste de tipo cembre ao solo, devido aos vãos e alturas consideráveis, geralmente o dimensionamento e montagem dos cimbres está a cargo de empresas especializadas contratadas para o efeito.

2.2.2.2. Recomendações no Dimensionamento

No dimensionamento de um cembre ao solo modulares deve existir particular atenção na forma como se garante que a carga está centrada, bem como a sua correcta distribuição e verticalidade. O incumprimento destas garantias pode levar à existência de problemas de funcionamento do cembre. Esses problemas e as formas mais correctas de os resolver encontram-se apresentados no ponto 2.3 deste trabalho. Estes problemas devem ser conhecidos e acautelados para que a estrutura do cembre resista de forma segura às cargas aplicadas.

Dado que estes sistemas de cembre estão sujeitos a cargas de valores elevados é importante, no dimensionamento, ter em conta os factores que podem provocar deformações. A inexistência de um controlo rigoroso das deformações, a geometria final da estrutura, temporária ou definitiva, pode ser posta em causa. A resolução destes problemas pode passar por reformular a cofragem e o cembre para que se obtenham as contra flechas adequadas. Daqui podem resultar atrasos e um aumento das despesas da obra, o que não é conveniente. Esse tipo de problemas pode ocorrer em cimbres em que existam ligações aparafusadas. Nas ligações aparafusadas as folgas podem produzir deformações da mesma ordem da deformação elástica da estrutura. Este problema agrava-se no caso de as ligações aparafusadas não serem executadas com parafusos de alta resistência. Como tal, no dimensionamento este problema deve ser devidamente estudado e acautelado para que as deformações não coloquem em causa a correcta geometria da estrutura. As deformações devem ser avaliadas e determinadas com rigor pois para se realizar a descofragem do tabuleiro pode ser necessário ter em conta essas mesmas deformações. Ainda relativamente à descofragem e à desmontagem do cembre é necessário avaliar possíveis riscos de instabilidade da estrutura aquando desta operação bem como a forma mais correcta e eficaz de libertar as fixações ou bloqueios da mesma.

No caso do dimensionamento das torres dos cimbres modulares importa referir que é importante existir um balanço entre o limite de elasticidade e o peso do aço. O peso do material constituinte das torres deve ser o mais reduzido possível para facilitar a sua construção, mas é igualmente importante que a elasticidade do aço seja tal que não conduza a deformações excessivas das torres. Uma grande elasticidade das torres e dos lintéis pode levar a que, durante a aplicação do pré-esforço no tabuleiro de um viaduto, as fissurações sejam agravadas pelo facto do cembre se comportar como uma mola.

Neste tipo de cimbres é também importante estudar e conhecer o efeito da aplicação do pré-esforço na estrutura temporária. Quando se procede à betonagem do tabuleiro do viaduto, a cofragem baixa sendo o cembre responsável por absorver este acréscimo carga, uma vez que sobre ele está todo o peso do betão. Posteriormente, quando o pré-esforço é aplicado, o tabuleiro sobe de acordo com as características mecânicas da sua secção. Se o cembre for muito flexível, a cofragem sobe junto com o tabuleiro, uma vez que o cembre se comporta como uma mola, o que pode levar a que seja aplicado um

excesso de pré-esforço agravando assim a fissuração do betão. No dimensionamento do cimbra é necessária particular atenção nas zonas onde se realizam as operações do pré-esforço. Devem existir condições que permitam a correcta instalação dos materiais imprescindíveis à aplicação do pré-esforço, como os macacos hidráulicos ou outros meios auxiliares, bem como também deve ser acautelado em segurança o acesso dos trabalhadores ao local.

No dimensionamento do cimbra não deve ser esquecida a instalação de elementos que permitam a regulação de cotas capazes de corrigir a geometria da estrutura, caso tal seja necessário, como macacos hidráulicos ou outro tipo de dispositivos.

2.2.3. CIMBRES AO SOLO COM RECURSO A TORRES

2.2.3.1. Sistema de funcionamento

Este tipo de sistema de cimbra é utilizado para suportar cargas elevadas para alturas ao solo até 20 metros ou superiores. Por vezes as torres que se utilizam neste tipo de cimbra são também usadas quando são necessários apoios provisórios para estruturas sujeitas a cargas e altura ao solo elevadas. De todos os tipos de torres abordados neste capítulo as torres utilizadas por este sistema são as que devem ter maior capacidade de resistir a cargas mais elevadas. As situações em que geralmente se revela necessário utilizar este tipo de cimbra ao solo ocorrem quando se pretende efectuar a montagem de elementos pré-fabricados em betão para a construção de viadutos, as torres servem de apoios provisórios das peças, em situações onde se pretende efectuar reabilitações ou modificações estruturais em viadutos, em situações onde possa existir num viaduto uma sobrecarga provisória, como por exemplo no caso da instalação de uma grua num tabuleiro de forma provisória ou então como apoio auxiliar em algumas fases de construção de viadutos com recurso a cimbres auto-lançáveis. Geralmente recorre-se a este tipo de sistema de cimbra quando os sistemas referidos nos pontos anteriores não têm capacidade de garantir de forma segura e eficaz a resistência às cargas a que estão sujeitos. Em situações destas não é recomendável o recurso a um maior número de torres com menor capacidade de resistência, uma vez que isso daria origem a problemas de redistribuição de cargas. Quando existe uma carga elevada distribuída por muitos elementos com uma resistência mais reduzida é difícil de determinar e assegurar uma correcta repartição das cargas. Nos casos em que uma carga elevada é suportada por muitas torres com uma resistência reduzida a determinação incorrecta da distribuição das cargas pode provocar uma sobrecarga numa torre e consequentemente conduzir ao seu colapso. Esse colapso dará origem à redistribuição da carga suportada pela torre que colapsou pelas restantes torres, podendo eventualmente dar-se o colapso de toda a estrutura. Como estas torres são usadas quando o cimbra está submetido a cargas elevadas o dimensionamento deve permitir uma ligeira margem de manobra para absorverem eventuais sobrecargas sem que se possa dar uma falha em cadeia do sistema de cimbra.



Figura 22 - Cimbra Com Recurso a Torres [15]



Figura 23 - Recurso a Uma Torre Para Auxiliar a Construção de Um Cimbra Auto-Lançável [3]

2.2.3.2. Recomendações no Dimensionamento

Neste tipo de sistemas de cimbra é recomendável que caso se utilize ligações aparafusadas, estas sejam pré-esforçadas. Caso contrário as deformações podem ser superiores às estimadas através do cálculo obtido com base nas propriedades mecânicas dos perfis utilizados. Esta diferença nos valores acontece devido à dificuldade em materializar no modelo as folgas que realmente existem nas ligações aparafusadas existentes na torre. No dimensionamento das torres deste sistema de cimbra é necessário estudar e analisar a evolução das cargas ao longo do processo construtivo. Uma vez que este sistema de cimbra é utilizado na construção de obras que envolvem cargas de magnitude elevada podem surgir diferentes casos de carga durante as várias fases de construção podendo ser introduzidas cargas com valores superiores ou com maior excentricidade que na fase final. Tais situações podem originar deformações excessivas e inesperadas no cimbra e até mesmo no solo sobe as fundações.

Este tipo de cimbres deve estar provido de sistemas que permitam a regulação da altura ao solo dos mesmos. Estes dispositivos são importantes para corrigirem eventuais problemas na montagem causados por assentamentos inesperados. Alguns desses dispositivos podem passar por soluções como por exemplo a instalação de macacos hidráulicos.

Neste tipo de sistema de cimbra, tal como nos anteriormente referidos, é necessário assegurar a centralização, verticalidade e correcta distribuição das cargas. Caso tal não se verifique pode conduzir a problemas graves dada a magnitude das cargas a que este tipo de cimbra está sujeito. Como tal, neste ponto serão feitas referências a algumas recomendações que devem ser tidas em conta no dimensionamento deste tipo de estruturas.

Relativamente à centralização da carga é essencial que esta seja aplicada no centro geométrico das torres das estruturas em questão. Para que tal seja possível pode ser dimensionada uma “pirâmide” metálica que permita que se obtenha o resultado pretendido tal como se pode ver na Figura 24.



Figura 24 - Pirâmide Metálica Que Permite a Introdução da Carga Numa Torre de Forma Centrada [3] [16]

Deve ter-se em atenção que para uma correcta transmissão da carga a “pirâmide” ou o sistema capaz de produzir resultado semelhante seja isostático.

No que diz respeito à correcta distribuição das cargas, deve ser garantido que a carga reparte-se de igual forma por todos os prumos da torre. No caso concreto de uma carga centrada numa torre constituída por quatro prumos que em planta formam um rectângulo, cada prumo constituinte da torre deve receber um quarto da carga total, tal como a Figura 25 apresenta. Para que tal distribuição das cargas aconteça é essencial que essa estrutura de distribuição das cargas não seja extremamente rígida. Caso o seja, qualquer pequena folga capaz de provocar um pequeno assentamento num dos prumos da torre fará com que esse prumo, e o diagonalmente oposto, não suportem nenhuma ou aproximadamente nenhuma carga ficando os outros dois prumos responsáveis por absorver toda a

carga, tal como apresentado na Figura 26. Caso a estrutura de distribuição das cargas apresente maior flexibilidade este efeito não será tão gravoso.

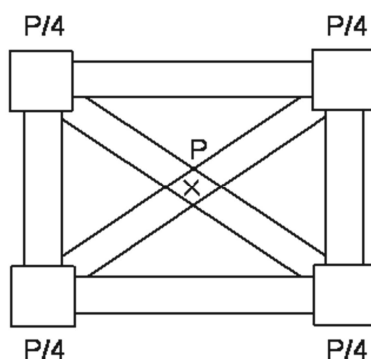


Figura 25 - Caso em Que a Carga Está Centrada Numa Torre e Distribuída Pelos Seus Quatro Prumos, adaptado de [3]

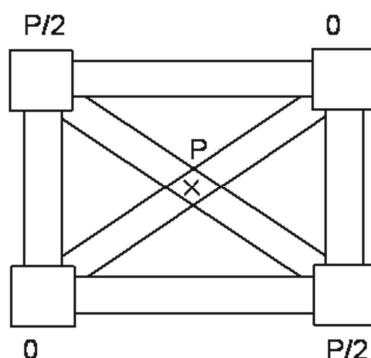


Figura 26 - Caso em Que a Carga Está Centrada Numa Torre e Distribuída Apenas Pelos Seus Dois Prumos, adaptado de [3]

Este efeito é complicado de ser estudado em detalhe uma vez que é necessário conhecer com rigor as folgas existentes na torre para determinar com precisão a rigidez dos materiais em análise, tornando difícil de representar e quantificar tal efeito através de modelos numéricos. Assim sendo deve-se recorrer a formas de centrar e distribuir as cargas que à partida se conheçam como eficazes. Uma das formas mais comuns é a utilização de vigas cruzadas, tal como se pode observar na Figura 27. É importante referir que devido à introdução de cargas concentradas de valores elevados deve ser acautelado no dimensionamento a eventual necessidade de reforços da alma nos pontos de aplicação dessas cargas.



Figura 27 - Vigas Cruzadas Utilizadas Para Centrar e Distribuir Correctamente as Cargas [3]

Sempre que existam vigas contínuas apoiadas entre torres deve existir o cuidado de analisar a distribuição das cargas entre as mesmas. Este caso merece especial atenção pois as folgas existentes nas ligações entre os elementos constituintes das torres afectam a rigidez das mesmas e consequentemente a deformada final da torre. Como referido anteriormente, não é possível caracterizar com exactidão a influência das folgas na rigidez da estrutura o que pode originar distribuições de carga para cada torre diferentes dos obtidos através do cálculo estrutural. Este problema pode originar deformações inesperadas quer ao nível das fundações quer ao nível da própria torre. Caso existam contraventamentos entre as torres esses devem estar incluídos no modelo de cálculo pois a sua ausência altera os resultados da modelação estrutural.

Ainda relativamente à distribuição das cargas existe uma situação que merece atenção, trata-se de quando existem contraventamentos de várias torres. Caso exista uma disposição de cargas como a da Figura 28, ou semelhante, se eventualmente deixar de existir a carga aplicada em B os suportes 4, 5 e 6, por equilíbrio global da estrutura, continuam a ter carga na sua fundação apesar da viga em B não ter aplicada sobre si carga alguma.

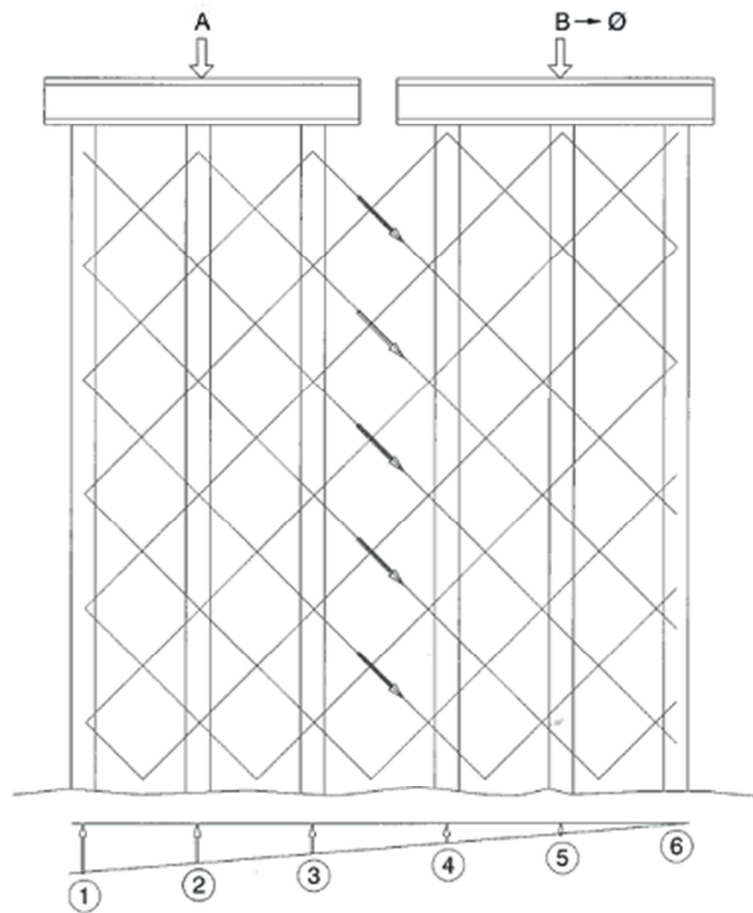


Figura 28 - Caso de Introdução de Cargas Num Contraventamento Provocado Por Uma Carga Descentrada [3]

Tal fenómeno acontece pois são as diagonais de contraventamento que continuam a conduzir através de si as cargas aplicadas em A para as fundações sob a viga B. Nesta situação, se este comportamento não for acautelado pode dar-se a rotura do contraventamento o que provoca a encurvadura dos apoios de 1 a 3.

Para este tipo de sistema de cimbra é importante no dimensionamento garantir que as cargas horizontais são absorvidas por pontos da estrutura especialmente dimensionados para essa função, assegurando assim a verticalidade das cargas aplicadas no cimbra. Essa verticalidade deve ser assegurada por exemplo através de cunhas metálicas. Este tema encontra-se devidamente tratado no ponto 2.3 deste trabalho onde tais soluções são apresentadas com maior detalhe.

As torres de um cimbra ao solo podem encontrar-se contraventadas a outras estruturas, como por exemplo os pilares de um viaduto, ficando estas responsáveis por absorver as forças horizontais. Para isso deve ser assegurado que estas possuam a resistência suficiente para tal. Na figura seguinte, Figura 29, está apresentado um caso em que uma torre está contraventada num muro. É possível observar na figura que os parafusos responsáveis pelo ajuste da altura ao solo das vigas de distribuição estão contraventados por tirantes. O contraventamento através de tirantes deste tipo pode não ser eficaz uma vez que a sua elasticidade pode ser superior á dos materiais constituintes da própria torre o que pode

levar à reduzida absorção de esforços horizontais e consequentemente a deformações excessivas. De qualquer forma o cálculo estrutural deve ser executado tendo em conta a flexibilidade de todos os elementos estruturais utilizados na construção do cimbra.

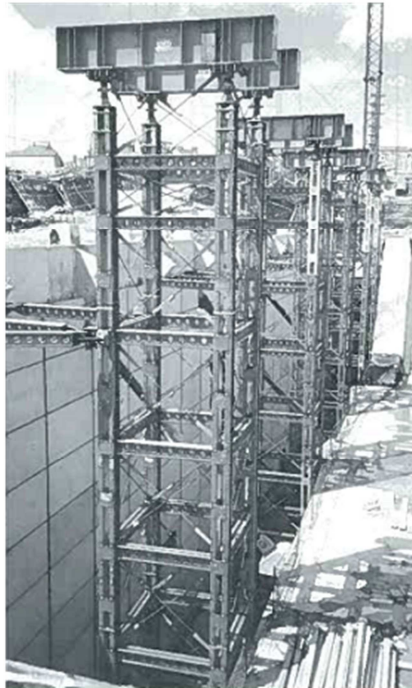


Figura 29 – Torre Contraventada Contra um Muro Com Dispositivos de Ajuste de Altura ao Solo Contraventados por Tirantes [3]

Por fim, sempre que as forças horizontais sejam capazes de criar problemas de derrube ou deslizamento nas fundações a ancoragem da base da torre à sua fundação é uma solução que pode resolver de forma eficaz esse problema e que portanto deve ser estudada e devidamente avaliada.

2.3. RECOMENDAÇÕES NO DIMENSIONAMENTO

Neste ponto do trabalho pretende-se elencar algumas questões que devem ser tidas em conta na idealização e dimensionamento de um cimbra ao solo contínuo. Serão desta forma abordados alguns problemas que poderão ter alguma relevância nos resultados. Muitos desses problemas estão ligados à ausência do projecto do próprio cimbra, à inexistência ou inadequabilidade do projecto das fundações, contraventamento inadequado, incorrecta distribuição das cargas no cimbra, falta de estudo de zonas particulares do cimbra, como zonas de elevada inclinação, ou então a existência de parafusos de ajuste da altura do cimbra demasiadamente abertos e sem estarem contraventados, quer no topo quer na base. Alguns destes problemas serão analisados ao longo deste ponto do trabalho.

Como referido anteriormente, as vigas de distribuição encontram-se apoiadas nas forquilhas que se localizam no topo do cimbra. Conforme o número de forquilhas em que as vigas de distribuição se apoiam, estas podem ser classificadas de contínuas ou discretas. As vigas de distribuição contínuas são

aquelas que estão apoiadas em mais do que duas forquilhas. As discretas definem-se como sendo aquelas que se apoiam apenas em duas forquilhas. O facto de as vigas de distribuição serem contínuas ou discretas afecta a forma como as cargas se distribuem, sendo por isso importante definir no dimensionamento qual o tipo de vigas de distribuição a utilizar. No caso das vigas de distribuição contínuas, aquelas que estão apoiadas em mais de duas forquilhas, torna-se difícil de conseguir definir com rigor as cargas descarregadas em cada forquilha e conseqüentemente em cada prumo. Esta dificuldade surge porque cada prumo, devido às folgas existentes nas ligações ao longo do seu comprimento, toma um valor de rigidez próprio e difícil de estimar com rigor. Tal facto faz com que não se consiga determinar com detalhe a carga absorvida por cada prumo. *O BS 5975:2008* [4] recomenda que nestes casos a estrutura seja calculada considerando-se as vigas como discretas, ou seja simplesmente apoiadas, mas adicionando-se 10% ao esforço suportado pelo cimbra. Já nas vigas de distribuição discretas, como se apoiam apenas em duas forquilhas, a incerteza sobre as cargas descarregadas em cada forquilha desaparece. Neste caso para se conhecer a correcta distribuição das cargas pelos prumos basta ter em conta a posição dos apoios da cofragem nestas vigas de distribuição. No dimensionamento quer das vigas de vão, vigas utilizadas quando é necessário assegurar uma passagem através do sistema de cimbra, quer em vigas de distribuição deve existir o cuidado de se dimensionar reforços de alma para se evitar que em zonas mais sobrecarregadas exista uma flexão do banzo ou encurvadura da alma do perfil. Por fim, sempre que a modelação das torres não é feita em conjunto com as vigas que transmitem a carga proveniente da cofragem, deve existir o cuidado de se conhecer a exacta localização destas para que o dimensionamento seja feito de acordo com a correcta distribuição das cargas, e, desta forma não existir qualquer possibilidade de incrementos de carga não considerados no dimensionamento.

No caso de cimbres contínuos em que se pretende utilizar torres ou colunas, construídas através de tubos de andaime, deve debruçar-se especial atenção no seu contraventamento. Como referido em 2.2.1.1, o contravento pode ser de três tipos, contraventamento vertical da própria torre ou coluna, contraventamento dos planos verticais entre torres ou colunas diferentes e contraventamento dos planos horizontais entre torres ou colunas diferentes. O contraventamento vertical da própria torre ou coluna tem como principal objectivo criar uma estrutura triangulada através de diagonais que estão ligadas aos nós das uniões dos tubos verticais e horizontais. Nesses sistemas de contraventamento por vezes surgem dúvidas quanto às folgas existentes nos nós e à forma de como as considerar no cálculo da estrutura, uma vez que essas folgas podem dar origem a deformações maiores que as do que as calculadas. Como o valor dessas folgas não pode ser determinado com rigor então no dimensionamento pode diminuir-se os módulos de elasticidade dos materiais. Nos contraventamentos dos planos verticais entre torres ou colunas, cuja função consiste em transmitir as cargas horizontais a que o cimbra está submetido para a fundação, deve assegurar-se que os mesmos são capazes de transmitir essas cargas horizontais para um ponto fixo capaz de as absorver. A fixação das diagonais deste contraventamento deve ser sempre dimensionada para estar o mais próxima possível dos nós da união dos elementos verticais. Relativamente aos contraventamentos dos planos horizontais entre torres ou colunas diferentes é importante ter em atenção que estes devem ser dimensionados para transmitir parte da carga vertical responsável pela encurvadura das torres ou colunas a um ponto com

rigidez suficiente para absorver essa mesma carga, a um contraventamento vertical ou então ao próprio terreno. Em relação ao dimensionamento dos contraventamentos, as normas recomendam que um contraventamento deve ser dimensionado para resistir a cargas compreendidas entre 1/40 e 1/100 da carga resistida pelo elemento que está a ser contraventado. Na figura seguinte são apresentadas algumas soluções que pretendem assegurar uma correcta transmissão dos esforços, desde o topo do cembre até ao solo, através do contraventamento.

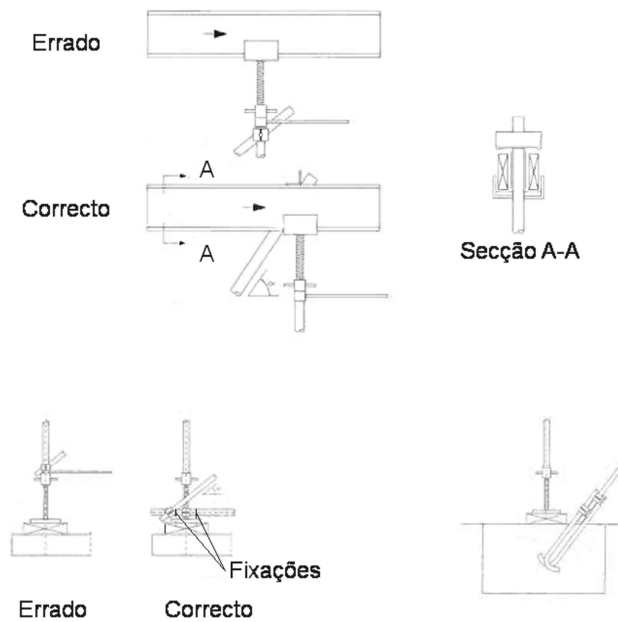


Figura 30 - Detalhes de Ligações de Contraventamentos na Parte Superior e Inferior do Cembre [3]

A Figura 30 apresenta casos em que os parafusos de ajuste da altura do cembre ao solo devem ser contraventados dado que estes não devem estar sujeitos a esforços que sejam verticais. Na mesma figura é também possível observar uma situação em que o contraventamento pode estar directamente ligado à fundação. Caso aconteça uma situação destas a sapata deve ser devidamente dimensionada para um sistema deste tipo.

No caso de existirem vigas inclinadas é necessário a existência de particular atenção na forma como as cargas são transmitidas para o cembre uma vez que agora passa a existir também uma componente horizontal do esforço. Uma solução que pode ser adoptada passa por se utilizar uma cunha soldada à viga superior, tal como está apresentado na Figura 31. No dimensionamento da cunha deve ser assegurado que a soldadura utilizada é suficiente para absorver a componente horizontal da carga inclinada. É importante ter também em atenção a eventual necessidade de colocar reforços de alma na viga sobre a qual está aplicada a cunha, uma vez que esta devido à componente horizontal da carga pode sofrer encurvadura, conforme apresentado na Figura 32.

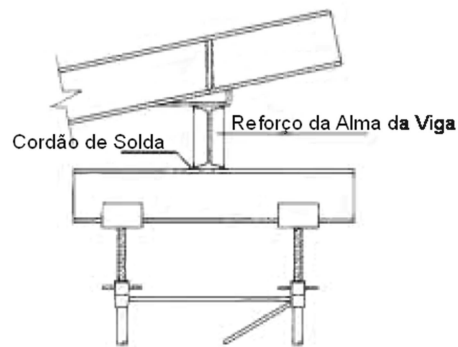


Figura 31 - Detalhe de Uma Solução no Caso de Existir Uma Viga Inclinada, adaptado de [3]

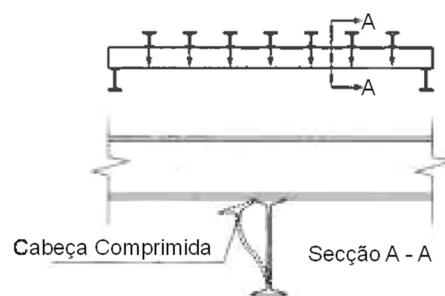


Figura 32 - Encurvadura Devido a Uma Carga Aplicada Numa Viga, adaptado de [3]

É importante referir também que o material constituinte dos elementos utilizados no cimbra deve ser o mesmo em toda a estrutura, ou aço ou alumínio. Se algum motivo tal não acontecer isso deve ser tido em conta no dimensionamento uma vez que os materiais apresentam características diferentes e consequentemente deformações diferentes para mesmos níveis de carga. Essas deformações devem ser correctamente avaliadas e estudadas para que se conheça o comportamento da estrutura quando sujeita ao carregamento. O *BS 5975:2008* [4] recomenda que a deformação do cimbra não deva ultrapassar 0,15% da altura do cimbra ou então uma deformação imposta pelo projectista da estrutura permanente, escolhendo-se a menor das duas. Caso exista a necessidade de uma análise mais rigorosa ao comportamento da estrutura deve ser feita uma análise P- Δ .

O *BS 5975:2008* [4] recomenda ainda que o cimbra dimensionado deve ser submetido a quatro verificações. A primeira consiste em analisar a resistência da estrutura quer das ligações quer dos elementos da estrutura sujeitos a esforços devido à transmissão das cargas. Com a segunda pretende-se analisar a estabilidade lateral da estrutura quer ao nível de cada elemento quer ao nível global. A terceira tem como objectivo realizar uma análise da estrutura ao derrube. Por fim, a quarta consiste em analisar a estrutura quanto ao deslizamento. Estas verificações obedecem a critérios diferentes conforme o tipo de estrutura em questão estando esses apresentados de forma clara e objectiva no referido regulamento.

2.4. CONSTRUÇÃO E DESMONTAGEM

Neste capítulo pretende-se apontar algumas recomendações que devem ser tidas em conta nos trabalhos de construção e desmontagem de um cembre ao solo. Como tal serão abordados alguns aspectos, aplicáveis a qualquer tipo de cembre ao solo, que caso não sejam acautelados podem comprometer o correcto funcionamento do mesmo.

Para se evitarem erros quer na construção de um cembre quer na sua fiscalização é importante que o projecto deste parta de um esquema claro de funcionamento. Este aspecto é essencial em cimbres com geometria complicada. Doutra forma poderão criar-se algumas dificuldades a quem está a coordenar a montagem do cembre o que pode por vezes levar a que por falta de tempo não seja prestada a devida atenção a elementos de maior importância que exijam maior atenção e responsabilidade para o correcto funcionamento do cembre.

Para assegurar que o cembre é construído correctamente é necessário que o projecto deste inclua uma planta geral devidamente cotada, alçados e desenhos dos pormenores relevantes. Nos alçados devem estar indicados os contraventamentos quer longitudinais quer transversais bem como as aberturas máximas de trabalho dos parafusos de ajuste da altura do cembre. Os desenhos dos pormenores devem ser apresentados no projecto sempre que se considerem necessários para uma correcta montagem do cembre. Devem estar também incluídas no projecto as plataformas de acesso e trabalho, dimensionadas de acordo com as normas de segurança e saúde no trabalho em vigor, sempre que estas sejam necessárias. Depois de concluído o projecto, é necessário que o terreno em que o cembre vai ser instalado tenha as condições necessárias para receber as cargas provenientes do cembre. Para tal, é importante que o levantamento das características resistentes do terreno seja orientado por um especialista geotécnico. As conclusões deste especialista podem por vezes ser obtidas através do auxílio de ensaios adequados.

Já em obra, os primeiros trabalhos que devem ser realizados com vista à implantação de um cembre consistem em retirar a camada vegetal da zona onde vai ser implantado o cembre de forma a nivelar e preparar o terreno de acordo com as indicações dadas pelos estudos geotécnicos e dotar o mesmo de inclinações e sistemas de drenagem adequados. Assim evita-se que eventuais caudais originados por precipitação se acumulem na zona da construção do cembre.

No caso de um cembre ser constituído por torres é importante assegurar-se que todos os pés de uma torre, e se possível de todas as torres, estão apoiados em terrenos da mesma natureza, do mesmo grau de compactação e resistência à compressão para que sejam evitados assentamentos diferenciais. Todos os pés de uma torre devem estar apoiados no mesmo plano, caso tal não seja possível é essencial que todos os apoios se realizem sobre terreno horizontal. Nos apoios em que exista a necessidade uma maior abertura dos parafusos esta não deve ultrapassar a recomendada pelo fabricante. Caso seja necessário, é possível construir os elementos do cembre em diferentes patamares de terreno. Para tal é necessário garantir que o terreno é horizontal e que é assegurada a distância suficiente desde o apoio até ao bordo da plataforma de terreno onde este está assente. Essa distância deve ser determinada pelo

especialista geotécnico para evitar que existam deslizamentos do terreno devido à carga transmitida pela torre.

Antes do início da construção do cembre deve confirmar-se que todo o material constituinte do mesmo se encontra em bom estado. Todos os elementos que não se encontrem em bom estado e contenham defeitos provocados quer por um elevado grau de corrosão quer por deformações originadas por mau uso ou por utilizações anteriores devem ser descartados uma vez que levantam dúvidas sobre o seu comportamento resistente. Elementos comprimidos que estejam dobrados ou com golpes e elementos constituídos por aços de elevada resistência que se apresentem picados devido à corrosão ou soldaduras efectuadas anteriormente são exemplos de danos capazes de dar origem a problemas que podem afectar o correcto funcionamento e segurança da estrutura. O *BS 5975:2008* [4] recomenda que caso se usem tubos de andaime na construção do cembre deve existir particular atenção no comprimento de 75mm de extensão contabilizado a partir das extremidades desses. Tal recomendação prende-se com o facto dessa zona do tubo apresentar normalmente maior grau de corrosão que o resto do tubo. Ainda neste documento é referido que caso a corrosão tenha afectado cerca de 10% da espessura nominal do tubo este deve ser considerado usado. Desta forma as cargas máximas recomendadas para este tubo, conforme a sua classificação e de acordo com o mesmo regulamento, estão apresentadas no anexo B do *BS 5975:2008* [4]. Neste anexo são também apresentadas as cargas que os acessórios utilizados na construção do cembre aguentam em segurança. Os valores apresentados neste anexo são obtidos de acordo com a norma *BS EN 74-1* e *BS EN 74-2*. O conteúdo deste anexo encontra-se nos anexos deste trabalho.

Por fim importa também referir que o *BS 5975:2008* [4] permite a remoção de eventuais secções danificadas, caso após esta operação o tubo apresente condições de voltar a ser utilizado. Estas secções danificadas podem ser removidas efectuando-se um corte no tubo devendo este ser executado perpendicularmente ao eixo do próprio tubo.

Após a construção do cembre deve ser feita uma verificação para garantir a imobilização de todos os elementos, como por exemplo no caso de serem utilizadas abraçadeiras, para garantir a correcta execução de todas as ligações e apoios. É também de grande importância que todas as soldaduras sejam devidamente controladas e avaliadas. Um defeito numa soldadura pode originar problemas graves, principalmente em elementos sujeitos à tracção ou cargas horizontais. Durante a betonagem do tabuleiro deve proceder-se de forma a não permitir acumulações pontuais de betão capazes de originar cargas excessivas, estas podem ser especialmente gravosas para a estrutura da cofragem. Pelo mesmo motivo deve também minimizar-se o impacto produzido pelo betão durante a betonagem. Este impacto é tanto menor quanto menor for a altura desde a saída do betão da mangueira de betonagem até à superfície para onde o betão é bombeado. Depois da estrutura ser posta em carga devem existir também verificações periódicas para averiguar possíveis mudanças das condições de sustentação e apoio devido a alterações meteorológicas que se possam verificar. Durante a betonagem deve ser feita uma correcta monitorização da evolução das cotas da altura do tabuleiro do viaduto para averiguar se

estas estão de acordo com as cotas de projecto. Caso contrário deve proceder-se aos devidos ajustes no cimbra para garantir que as cotas do projecto são asseguradas.

A retirada do cimbra acontece quando a estrutura adquire, com suficiente margem de segurança, resistência às tensões e deformações a que está submetida durante e depois deste procedimento. O critério para o cálculo do momento da retirada do cimbra é a capacidade de o betão armado constituinte do tabuleiro poder resistir ao peso próprio e às acções de descofragem sem que exista fissuração e deformação para além da recomendada pelas normas aplicáveis. Este processo deve ser estudado com antecedência para que aquando da execução do mesmo não surjam situações de carga imprevistas no dimensionamento capazes de colocar em risco a segurança da estrutura. As operações de descofragem e retirada do cimbra devem ocorrer sem produzir golpes, sacudidas ou choques na estrutura. Sempre que as estruturas tenham uma certa importância torna-se muitas vezes importante assegurar uma descida uniforme dos apoios do cimbra. Tal pode ser conseguido recorrendo-se à utilização de cunhas, caixas de areia, macacos hidráulicos ou outros dispositivos com função semelhante.

Existem duas formas diferentes de se retirar o cimbra de uma estrutura: a primeira, levantando suavemente a estrutura, a segunda, descendo de forma gradual e programada a cofragem assente nos dispositivos de ajuste do cimbra. No primeiro caso a estrutura é levantada quando existe aplicação de pré-esforço na estrutura. O pré-esforço provoca uma ligeira subida do tabuleiro em relação ao cimbra o que faz com que as cargas sejam transferidas uniformemente do cimbra para a estrutura. No caso das estruturas em arco, quando se opta por fazer a retirada do cimbra levantando suavemente a estrutura, é necessário provocar o aumento da temperatura da estrutura de betão armado. Esse aumento da temperatura provoca um alongamento do arco que faz com que este suba permitindo assim a retirada do cimbra e da cofragem. No segundo caso, o cimbra deve ser retirado obedecendo a uma sequência que permita à estrutura alcançar de forma progressiva a sua deformada originada pela acção do peso próprio. É necessário que os elementos constituintes do cimbra estejam preparados para resistir às alterações dos casos de carga a que a estrutura vai estar sujeita no decorrer desta acção. Um exemplo dos diferentes casos de carga a que a estrutura está sujeita durante esta operação encontra-se apresentado na Figura 33. Nela se ilustra que durante esta operação as cargas resistidas pelo cimbra podem ser totalmente diferentes das resistidas no final da betonagem do tabuleiro. Esta operação deve ser executada em tantos ciclos quantos os que forem necessários para assegurar que os esforços induzidos em cada etapa não ultrapassam a capacidade resistente da estrutura.

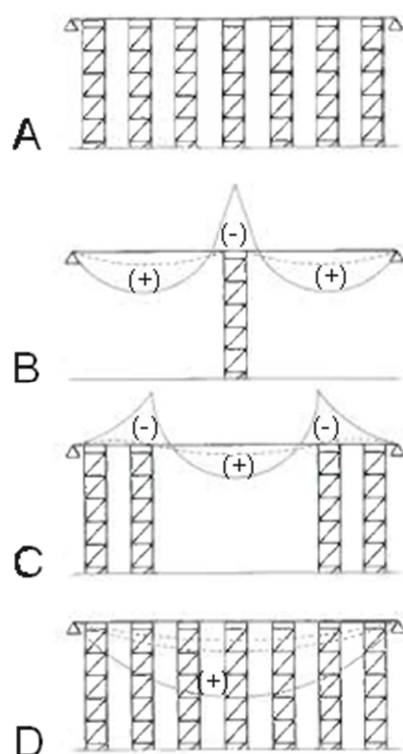


Figura 33 – Diagramas de Esforços de Possível Retirada do Cembre Recorrendo à Descida Programada dos Dispositivos de Ajuste, adaptado de [3]

2.5. DOCUMENTAÇÃO ANALISADA NESTE ESTUDO

Para este estudo foi estudada e analisada documentação Europeia, nomeadamente, a norma *EN 12812* [2] e a *BS 5975:2008* [4] e documentação não Europeia o *ACI 347-04* [1], *ACI 345R-91* [8] e o *ACI 347.2R-05* [9].

A norma *EN 12812* [2] apresenta de forma exhaustiva e clara todas as forças e combinações das mesmas a serem consideradas no dimensionamento de um cembre. Neste trabalho as acções sobre as estruturas estudadas serão calculadas de acordo com esta norma, pelo que as mesmas serão apresentadas mais adiante.

O *BS 5975:2008* [4] incorpora o regulamento britânico quanto às questões de dimensionamento de um cembre. Neste documento as acções são determinadas de acordo com a norma anteriormente referida, a norma *EN 12812* [2], para além disso são dadas indicações para que o dimensionamento do cembre seja feito de forma a nunca colocar a segurança da estrutura em causa. Algumas dessas indicações encontram-se devidamente referenciadas ao longo deste trabalho. Este documento recomenda que no dimensionamento sejam efectuadas quatro verificações. A primeira consiste em analisar o esforço a que as ligações e elementos da estrutura estão sujeitos. Na segunda analisa-se a estabilidade lateral da estrutura quer ao nível de cada elemento quer ao nível global. Na terceira faz-se uma análise da

estrutura ao derrube. Por fim a quarta analisa-se a estrutura quanto ao deslizamento. Todas estas verificações são feitas para verificar se as condições de segurança são asseguradas.

Em relação aos documentos do ACI estudados no âmbito deste trabalho pode referir-se que estes recomendam que a estabilidade e segurança do cimbra devem ser asseguradas no dimensionamento deste. Nestes documentos a forma de determinar as cargas a utilizar no dimensionamento da estrutura não se encontram apresentadas tão detalhadamente como nos documentos referidos anteriormente apenas sendo indicadas as cargas a considerar. O ACI divide as cargas verticais em peso próprio e cargas variáveis. No peso próprio deve ser considerado o peso da cofragem, o peso do reforço da cofragem e o peso do betão fresco. Já no caso das cargas variáveis deve ser considerado o peso dos trabalhadores, do equipamento e material utilizado, das passagens de trabalhadores e material e cargas causadas por possíveis impactos. Para cargas horizontais é indicado que devem ser tidas em conta cargas originadas pelo vento, pela ocorrência de um sismo, cargas inclinadas devido à inclinação da cofragem, devido ao impacto do betão durante a betonagem, cargas originadas pelo funcionamento de equipamentos e pelo tensionamento de cabos. É ainda definido que as cargas horizontais não devem ser inferiores ao maior dos dois seguintes valores, 1,5 kN/m ou 2% do valor total da carga do peso próprio. No ACI 347-04 [1] é fornecida uma tabela com factores de segurança que devem ser aplicados aos acessórios utilizados. Essa tabela será apresentada em anexo. Ainda neste documento, é apresentado como limite aceitável na maioria das obras realizadas o valor de $l/400$ para as deformações nos elementos de vão e recomenda-se que o efeito da aplicação do pré-esforço, caso este seja aplicado, seja devidamente estudado e analisado para correcta quantificação no dimensionamento da estrutura. Por fim, é recomendado que seja efectuada uma inspecção em que sejam realizados os ajustes necessários no cimbra e na cofragem quer antes bem como durante a betonagem.

3

ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE CONTRAVENTAMENTO DE CIMBRES AO SOLO CONTÍNUOS PARA DIFERENTES RELAÇÕES VÃO/ALTURA

3.1. INTRODUÇÃO

Os cimbres ao solo contínuos de viadutos são estruturas provisórias que têm como função suportar estruturas definitivas enquanto estas não possuem resistência suficiente para tal. Em obras de menor dimensão, o dimensionamento destas estruturas está, por vezes, a cargo do empreiteiro responsável pela execução da mesma. Tal situação leva a que a solução para o cimbra esteja dependente dos conhecimentos da equipa responsável pelo seu dimensionamento, da quantidade e do tipo de material que o empreiteiro é capaz de disponibilizar para a execução do mesmo.

Como o número de prumos utilizados na execução de um cimbra é condicionado pela capacidade de carga resistente indicada pelo fabricante do material, geralmente procura-se a maior economia possível na quantidade de material utilizado para efectivar o contraventamento dessa estrutura provisória. Por este motivo, este estudo pretende analisar diferentes soluções de contraventamento para diferentes relações vão/altura.

No mercado existem várias marcas disponíveis para fornecer material constituinte da estrutura de um cimbra. Neste trabalho, o estudo foi feito tendo por base as características do material do *Sistema Duralok*. Escolheu-se este sistema devido à forma rápida e fácil como este é montado, o que faz com que seja, frequentemente, a opção dos empreiteiros para a execução de cimbres ao solo na construção de viadutos.

3.2. DESCRIÇÃO DAS CARGAS APLICADAS

3.2.1. GENERALIDADES

No dimensionamento de um cimbra ao solo devem ser consideradas sobre este acções verticais e horizontais. Como acção vertical deve ser considerado o peso próprio do betão armado, o peso da cofragem, a componente vertical da acção do vento, as cargas provenientes da construção e do armazenamento de materiais indispensáveis na mesma, deslocamentos verticais provocados por eventuais assentamentos nos apoios e o peso da neve, caso se esteja perante um cenário em que as condições meteorológicas indiquem a presença da mesma. Por sua vez, as acções horizontais incluem a carga horizontal proveniente da acção do vento, da acção sísmica e de cargas existentes devido a deslocamentos horizontais provocados por variação da temperatura. Geralmente a acção horizontal mais significativa diz respeito à acção do vento sobre a estrutura.

Em muitos casos, sobretudo em obras de menor dimensão, como o cimbra é uma estrutura temporária e como geralmente é executado para viadutos com reduzidas alturas ao solo, as acções horizontais têm valores pouco elevados, o que leva a que, muitas vezes, essas acções não sejam sequer contabilizadas no dimensionamento destas estruturas. Este procedimento não é de todo o mais correcto uma vez que, apesar das cargas horizontais apresentarem geralmente valores pouco elevados, não deixam de ser importantes para o dimensionamento deste tipo de cimbres, principalmente no que ao contraventamento diz respeito, já que o contraventamento tem um papel crucial na capacidade do cimbra resistir a estas acções. Contudo, verifica-se a preponderância das cargas verticais.

A importância da consideração da acção horizontal do vento prende-se com o facto de este exercer sobre o cimbra e sobre a cofragem, localizada no topo deste, uma carga de valor relevante, que, caso seja desprezada no dimensionamento, pode provocar sérios danos na estrutura ou até mesmo levar ao seu colapso, se o cimbra não estiver preparado para resistir a esta acção. Não menos importante é a acção vertical induzida no cimbra por acção do vento, uma vez que o dimensionamento do número de prumos num cimbra ao solo depende das cargas verticais a que está sujeito.

As considerações deste estudo são baseadas na norma *EN 12812* [2]. Esta norma europeia estabelece que as estruturas provisórias podem ser divididas em três classes: A, B1 e B2.

As estruturas que pertencem à classe A devem cumprir com os seguintes requisitos:

- A área da secção transversal de uma laje não deve exceder os $0,3 \text{ m}^2/\text{m}$;
- A área da secção transversal de uma viga não deve exceder $0,5 \text{ m}^2$;
- Os vãos não devem exceder os 6 m ;
- A altura da estrutura não deve exceder os $3,5 \text{ m}$;

Nas estruturas pertencentes a esta classe a integridade estrutural deriva do conhecimento do comportamento e da resistência quer do material quer dos acessórios utilizados na execução das mesmas. A capacidade das estruturas pertencentes a esta classe resistirem às acções verticais e horizontais é determinada pela experiência de quem as dimensiona e por uma boa prática na sua

execução. Em suma, a esta classe pertencem estruturas de uma dimensão pequena e que geralmente se encontram ligadas à construção de edifícios, como por exemplo os escoramentos para vigas ou para lajes.

Para as estruturas da classe B1 são impostos requisitos mais rigorosos. A sua análise deve ser feita mediante uma modelação computacional onde seja simulado o comportamento da estrutura solicitada por cargas reais. Nesta classe de estruturas todas as acções, imperfeições e parâmetros necessários à verificação da integridade estrutural do cembre devem ser determinadas e analisadas com base no que está estipulado na regulamentação europeia, nomeadamente os eurocódigos.

Na classe de estruturas B2, a resistência dos elementos, a estabilidade da estrutura e as suas ligações deverão ser analisados tendo por base um cálculo elástico. Por sua vez, este cálculo elástico poderá também ser realizado com base na norma *EN 12812* [2].

Quer para a classe B1 quer para a classe B2 o dimensionamento das estruturas deve ser acompanhado de desenhos que apresentem todas as configurações da estrutura, detalhes importantes e o dimensionamento da mesma quer em alçado quer em corte.

A norma *EN 12812* [2] define que as acções aplicadas num cembre podem ser de dois tipos diferentes, acções directas ou acções indirectas. A diferença entre estes dois tipos de acções recai no facto de as acções directas dizerem respeito a forças aplicadas sobre o sistema do cembre enquanto que as acções indirectas dizem respeito a deslocamentos impostos ao sistema de cembre, como por exemplo assentamentos de apoio, variação de temperatura e o efeito da aplicação do pré-esforço.

A norma [2] define como sendo acções directas as seguintes:

- Acções permanentes;
- Acções variáveis impostas;
- Acções variáveis impostas de curta duração;
- Acção do vento;
- Efeitos sísmicos.

As acções permanentes, Q_1 , dizem respeito a todas as acções que actuam de forma ininterrupta e constante durante o funcionamento da estrutura temporária. Estas acções quantificam o peso próprio da estrutura da cofragem e do próprio cembre, eventuais lastros existentes na estrutura utilizados para conferirem estabilidade à mesma, e a pressão lateral do solo, caso esta exista.

As acções variáveis impostas, Q_2 e Q_3 , são sobrecargas aplicadas na estrutura do cembre durante a construção. A estas sobrecargas está associada uma componente horizontal e vertical.

As acções variáveis impostas verticais, Q_2 , quantificam a acção do peso próprio do betão armado, do peso de neve ou gelo, do peso das áreas de armazenamento e do peso da sobrecarga da área de trabalho. Para a definição da acção do peso próprio do betão armado deve-se considerar que a densidade do betão armado é de 25 KN/m^3 . No que diz respeito à sobrecarga, devido à carga

resultante das áreas de armazenamento, a norma [2] recomenda o valor de $1,5 \text{ KN/m}^2$ ou a pressão efectiva desse material, devendo considerar-se o maior dos dois. Já para a sobrecarga considerada nas zonas de trabalho, zonas de passagem e acessos, a norma [2] recomenda o valor mínimo de $0,75 \text{ KN/m}^2$.

As acções variáveis impostas horizontais persistentes, Q_3 , tem como objectivo quantificar forças menores que não são identificadas, como o caso de cargas provenientes da bombagem do betão durante a betonagem. A norma [2] indica que o valor destas acções deve ser de 1% do valor da soma das cargas verticais Q_1 e Q_2 .

As acções variáveis impostas de curta duração, Q_4 , são consideradas para contabilizar o facto do betão fresco não se espalhar de forma uniforme pela cofragem no momento da betonagem, tal como se pode ver na Figura 34. Para estas sobrecargas a norma [2] indica que deve ser considerado um valor igual a 10% do peso próprio do betão armado. Esse valor nunca deverá ser inferior a $0,75 \text{ KN/m}^2$ ou exceder $1,75 \text{ KN/m}^2$.



Figura 34 - Sobrecarga do Betão Fresco

Para a acção do vento, Q_5 , a norma [2] aponta dois valores. Um valor relativo ao vento máximo e um valor para o vento de trabalho. A determinação do valor da sobrecarga Q_5 deve ser obtida de acordo com o regulamento *ENV 1991-2-4* [24]. Nos casos em que o período de utilização dos cimbres seja inferior a 24 meses, segundo a norma [2], a pressão resultante da acção do vento pode ser reduzida por um factor nunca inferior a 0,7. Para a sobrecarga correspondente à acção do vento de trabalho a norma [2] indica que deve ser considerado o valor de $0,20 \text{ KN/m}^2$.

Nos casos em que existam correntes de água e de eventuais detritos acumulados junto dos elementos do cimbra a norma [2] define como deverá ser efetuado o cálculo para determinar os esforços originados por esses efeitos, Q_6 .

Para as sobrecargas provocadas pelos efeitos sísmicos a norma [2] indica que estes devem ser calculados de acordo com o regulamento *ENV 1998* [25] devendo ter-se em atenção também os regulamentos nacionais relativos à acção sísmica.

As acções indirectas, Q_7 , são definidas pela norma [2] como sendo as seguintes:

- Variação da temperatura;
- Assentamento dos apoios;
- Aplicação do pré-esforço.

Assim, estas acções dizem respeito a deslocamentos a que o sistema de cimbra está sujeito. A norma [2], para além de definir que estas acções sejam tidas em consideração, aponta ainda algumas recomendações no que concerne à variação de temperatura e aos assentamentos de apoio.

Quando a estrutura suportada pelo cimbra tiver um comprimento superior a 60 m os deslocamentos provocados pelo efeito da temperatura devem ser calculados admitindo os seguintes valores para a variação da temperatura:

- Estruturas suportadas de Aço: $\pm 20^{\circ}\text{C}$;
- Estruturas suportadas de betão: $\pm 10^{\circ}\text{C}$

Os efeitos dos assentamentos de apoio devem ser considerados para todos os casos sempre que as estruturas pertençam à classe B1. No caso das estruturas B2 deve ter-se em conta os efeitos dos assentamentos de apoio à excepção dos seguintes casos:

- Nos tubos e componentes ou na madeira da cofragem onde os assentamentos de apoio se prevêem inferiores a 10mm
- Em equipamento pré-fabricado onde a estrutura está de acordo com as exigências de flexibilidade das torres de suporte pré-fabricadas definidas na norma [2].

Relativamente à aplicação do pré-esforço do betão armado, enquanto a estrutura ainda é suportada por um sistema de cimbres, deve ter-se em atenção que as forças de compressão aplicadas podem dar origem a deslocamentos. Geralmente esses deslocamentos não são tidos em conta, uma vez que ligeiras deformações que possam ocorrer são absorvidas pela cofragem devido à sua capacidade de deformação. No entanto, em casos em que os efeitos do pré-esforço sejam relevantes estes devem ser considerados no estudo e dimensionamento de um cimbra.

Por fim, caso exista alguma carga que a norma [2] não contemple mas que esteja aplicada ao sistema de cimbra esta deve ser contemplada no seu dimensionamento.

A Tabela 1 apresenta uma síntese das acções que a norma [2] define.

Tabela 1 - Acções a considerar Para o Modelo do Cimbre

Acção	Designação	Quantificação
Q₁	Peso Próprio do Sistema de Cimbres	DEAD
	+	+
Q₂	Peso Próprio da Cofragem	1,0 KN/m ²
	+	+
	Peso Próprio do Betão Armado	25 KN/m ²
	+	+
Q₃	Áreas de Armazenamento	1,5 KN/m ²
	+	+
Q₄	Sobrecarga de Trabalho	0,75 KN/m ²
Q₃	1% De (Q ₁ +Q ₂)	
Q₄	10% Do Peso Próprio do Betão	
Q₅	Vento Máximo na Direcção X;Y;Z	De Acordo Com o Regulamento EN 1991
	Vento de Trabalho	0,2 KN/m ²
Q₆	Acção Provocada Pelo Efeito da Água	De Acordo Com a Norma EN 1282
	Efeitos Sísmicos na Direcção X;Y;Z	De Acordo Com o Regulamento ENV 1998
Q₇	Acções Indirectas	

A norma [2] indica que devem ser consideradas combinações de acções de acordo com quatro casos de carga. No primeiro caso de carga é simulada a situação em que a estrutura não está carregada e está sujeita ao vento máximo admissível. No segundo caso de carga é simulada a situação em que a estrutura está carregada e sujeita ao vento de trabalho. No terceiro caso de carga é simulada a estrutura carregada e sujeita ao vento máximo. Por fim no quarto caso de carga são simulados os efeitos sísmicos.

Para cada acção está associado um factor de combinação de acções, ψ , que representa a influência de determinada carga em cada combinação. Na Tabela 2 são apresentados os factores de combinação para cada carga.

Tabela 2 - Factores de Combinação de Acções ψ

Acção	Designação	Factores de Combinação ψ			
		Caso de Carga 1	Caso de carga 2	Caso de carga 3	Caso de carga 4
		Peso Próprio	Vento de trabalho	Vento Máximo	Sismo
		+			
		Vento Máximo			
Acções directas					
Q₁	Peso Próprio			1,0	
Q₂	Acções Variáveis Impostas Persistentes Verticais	0,0	1,0	1,0	0,7
Q₃	Acções Variáveis Impostas Persistentes Horizontais	0,0	1,0	0,0	0,0
Q₄	Acções Variáveis Impostas de Curta Duração	0,0	1,0	0,0	0,0
Q₅	Vento Máximo	0,7	0,0	1,0	0,0
	Vento de Trabalho	0,0	1,0	0,0	0,0
Q₆	Acção Provocada pelo Efeito da Água			0,7	
	Efeitos Sísmicos	0,0	0,0	0,0	0,7
Acções Indirectas					
Q₇	Outras Acções	0,0	0,7	0,7	0,0

A norma permite que estas combinações sejam alteradas ou até mesmo substituídas por outras sempre que se verifiquem diferentes condições no local de construção. Caso as condições existentes sejam as normais de construção, dever-se-ão utilizar as combinações de acções para estados limite últimos (E.L.U.) e estados limite de utilização (E.L.S.).

As tabelas seguintes apresentam as combinações de acções para os vários casos de carga, quer no estado limite último quer para estado limite de utilização.

Tabela 3 - Combinações das Acções Para os Vários Casos de Carga em E.L.U.

Designação	Combinação das Acções
Caso de Carga 1	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (0,7Q_5)$
Caso de Carga 2	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_3 + 1,0Q_4 + 1,0Q_6 + 0,7Q_8)$
Caso de Carga 3	$1,35 (1,0 Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_5 + 0,7Q_8)$
Caso de Carga 4	$1,0 (1,0Q_1) + 1,0 (0,7Q_2 + 0,7Q_7)$

Tabela 4 - Combinações das Acções Para os Vários Casos de Carga E.L.S.

Designação	Combinação das Acções
Caso de Carga 1	$1,0 (1,0Q_1) + 1,0 (0,7Q_5)$
Caso de Carga 2	$1,0 (1,0Q_1) + 1,0 (1,0Q_2 + 1,0Q_3 + 1,0Q_4 + 1,0Q_6 + 0,7Q_8)$
Caso de Carga 3	$1,0 (1,0 Q_1) + 1,0 (1,0Q_2 + 1,0Q_5 + 0,7Q_8)$
Caso de Carga 4	$1,0 (1,0Q_1) + 1,0 (0,7Q_2 + 0,7Q_7)$

3.2.2. CARGAS UTILIZADAS NA REALIZAÇÃO DESTE ESTUDO

As cargas utilizadas para a realização deste estudo foram determinadas tendo por base a norma *EN 12812 [2]*. Nas tabelas seguintes são apresentadas as acções que foram consideradas na realização deste estudo.

Tabela 5 – Valor das Cargas Utilizadas Neste Estudo

Acção	Designação	Quantificação
	Peso Próprio do sistema de cimbres	DEAD
Q₁	+	+
	Peso Próprio da Cofragem	1,0 KN/m ²
	Peso Próprio do Betão armado	25 KN/m ²
	+	+
Q₂	Áreas de Armazenamento	1,5 KN/m ²
	+	+
	Sobrecarga de Trabalho	0,75 KN/m ²
Q₃	1% de (Q ₁ +Q ₂)	
Q₄	10% do Peso Próprio do Betão	

Tabela 6 - Valores da Acção do Vento

Acção	Designação	Quantificação	
		Nos Tubos De Andaime	Na Cofragem do Tabuleiro
Cimbre Com 9m de Altura			
Q_{5x}	Vento Máximo na Direcção x	3,11 KN/m ²	2,18 KN/m ²
	Vento de trabalho na direcção x		0,20 KN/m ²
Q_{5y}	Vento Máximo na Direcção y	3,11 KN/m ²	-
	Vento de trabalho na direcção y		0,20 KN/m ²
Q_{5z}	Vento Máximo na Direcção z	-	1,51 KN/m ²
	Vento de trabalho na direcção z		0,20 KN/m ²
Cimbre Com 18m de Altura			
Q_{5x}	Vento Máximo na Direcção x	3,51 KN/m ²	2,47 KN/m ²
	Vento de trabalho na direcção x		0,20 KN/m ²
Q_{5y}	Vento Máximo na Direcção y	3,51 KN/m ²	-
	Vento de trabalho na direcção y		0,20 KN/m ²
Q_{5z}	Vento Máximo na Direcção z	-	1,71 KN/m ²
	Vento de trabalho na direcção z		0,20 KN/m ²

Os valores da acção do vento foram determinados de acordo com o que está definido em *EN 1991-1-4* [20].

Neste estudo não foram consideradas as acções de correntes de água e de eventuais detritos acumulados junto dos elementos do cimbre nem as acções indirectas, uma vez que essas acções estão directamente relacionadas com as características do local onde vai ser instalado o cimbre. Uma vez que este é um estudo genérico e não está ligado a um determinado cimbre em que é conhecido o respectivo local de instalação, não é possível quantificar o valor desta acção.

No estudo efectuado neste trabalho optou-se também por não ter em conta as cargas sísmicas. Tomou-se esta decisão porque, quando se faz um dimensionamento para uma estrutura resistir aos efeitos de um sismo pretende-se que esta, quando sujeita a essa acção, não colapse, mas dificilmente se consegue evitar a existência de danos estruturais. No caso de existir um sismo durante a construção de um viaduto, enquanto o cimbre está a ser utilizado, mesmo que no seu dimensionamento tenham sido consideradas as acções sísmicas, quer o cimbre quer a estrutura por ele suportada irão sofrer sérios danos, e mesmo que o cimbre não colapse, muito provavelmente será necessária a reconstrução das referidas estruturas. A consideração das cargas relativas aos efeitos sísmicos no dimensionamento do cimbre conduzirá a uma estrutura mais dispendiosa uma vez que esta será mais reforçada e, tal como referido anteriormente, não evitará os danos estruturais e a necessária reconstrução das estruturas.

Na tabela seguinte são apresentadas as combinações de acções que foram utilizadas para a realização deste estudo. As análises deste estudo foram feitas para o estado limite último uma vez que se pretendia avaliar a estabilidade da estrutura de acordo com a sua capacidade resistente.

Tabela 7 - Combinações de Acções Para os Vários Casos Carga da Modelação em Estado de Limite Ultimo

Designação	Combinação das Acções
Caso de Carga 1 ($W_{máx, x}$)	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (0,7 Q_{5x})$
Caso de Carga 1 ($W_{máx, y}$)	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (0,7 Q_{5y})$
Caso de Carga 2 ($W_{trab, x}$)	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_3 + 1,0Q_4 + 1,0Q_{6x})$
Caso de Carga 2 ($W_{trab, y}$)	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_3 + 1,0Q_4 + 1,0Q_{6y})$
Caso de Carga 2 ($W_{trab, z}$)	$1,35 (1,0Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_3 + 1,0Q_4 + 1,0Q_{6z})$
Caso de Carga 3 ($W_{máx, x}$)	$1,35 (1,0 Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_{5x})$
Caso de Carga 3 ($W_{máx, y}$)	$1,35 (1,0 Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_{5y})$
Caso de Carga 3 ($W_{máx, z}$)	$1,35 (1,0 Q_1) + 1,5 (1,0Q_2 + 1,0Q_{5z})$

3.3. DETERMINAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DOS SISTEMAS DE CIMBRES A ESTUDAR

Neste estudo pretende-se analisar a influência dos contraventamentos na capacidade de um cembre resistir às acções que lhe são aplicadas. Para tal foi necessário adoptar um tipo específico de sistemas de cimbres. Os cimbres estudados têm por base as características do material do *Sistema Duralok*. Optou-se pela escolha deste tipo de sistema depois de consultar vários técnicos e entidades ligadas à construção de cimbres que o referiram como sendo muito utilizado na construção do tipo de estruturas em questão.

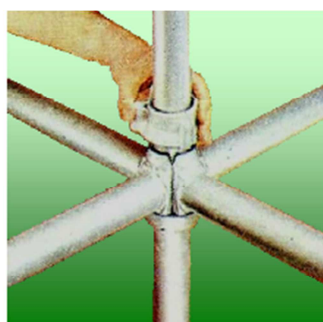
O *Sistema Duralok* apresenta-se como tendo uma grande capacidade de carga e como estando vocacionado para aplicações em escoramentos com cargas importantes. Os prumos e travessas são fabricados a partir de tubo de aço Fe510 com 48,3 mm de diâmetro e 3,25 mm de espessura sendo o sistema certificado segundo a norma ISSO 9002. Os contraventamentos são também fabricados em tubo de aço Fe510 com 48,3 mm de diâmetro mas apresentam uma espessura de 2,9 mm. O

comprimento máximo dos elementos de contraventamento é de 6 m. Este valor é assim definido devido às limitações que advêm do transporte dos mesmos. Na montagem dos elementos do contraventamento deve-se ter em atenção que o ângulo dos mesmos não seja inferior a 30° nem superior a 60° , valores estes que foram respeitados no estudo efectuado.

O *Sistema Duralok* apresenta como principal vantagem a forma como é feita a ligação entre os elementos verticais e horizontais graças à concepção do *Nó Duralok*. A ligação entre os prumos e as travessas é descrita como tendo a capacidade de permitir um excelente encastramento que se reflecte na concepção de uma estrutura com grande rigidez. Na Figura 35 é apresentado um esquema representativo da montagem e execução do *Sistema Duralok*.



1 – Coloque as travessas no lugar.



2 – Puxe o copo móvel e rode.



3 – Fixe o copo móvel com a ajuda de um martelo.



4 – A ligação de 4 travessas é obtida de uma só vez.

Figura 35 - Esquema de execução e Montagem do *Sistema Duralok* [21]

Os cimbres ao solo contínuos utilizados para a construção de viadutos desenvolvem-se segundo três direcções. A direcção do desenvolvimento longitudinal do tabuleiro do viaduto, que se designou como sendo a direcção y . A direcção do desenvolvimento transversal do tabuleiro do viaduto, que se designou como sendo a direcção x e a direcção do desenvolvimento em altura entre o tabuleiro do viaduto e o solo que se designou de direcção z .

Uma vez que este estudo pretende analisar a estabilidade de cimbres ao solo contínuos construídos com dimensões o mais próximo possível daquelas que são as executadas em obra, decidiu-se que o

afastamento entre planos de contraventamento na direcção y , a direcção do desenvolvimento longitudinal do tabuleiro do viaduto, fosse de 1,3 m. Este afastamento está de acordo com o afastamento que normalmente estes tipos de estruturas têm em obras que já foram executadas. Este afastamento determina assim que o desenvolvimento da área de influência longitudinal do tabuleiro, que vai ter de ser suportada por cada plano de prumos contidos no plano da direcção x , será de 1,3 m.

Depois de definido o afastamento entre os planos transversais do cembre, optou por analisar um módulo do cembre com cinco planos transversais.

O recurso ao cembre ao solo contínuo faz-se para vãos que no máximo tenham um desenvolvimento de 40 m, uma vez que para viadutos com vãos superiores existem outros tipos de cembre com soluções mais económicas. Como as cargas verticais a que o cembre está sujeito estão directamente ligadas ao tipo de secção escolhida para a construção do viaduto foram adoptadas duas secções tipo de viadutos. Uma secção normalmente muito utilizada para construir viadutos com vãos até 20 m e uma outra secção, também muito utilizada na construção de viadutos com vãos entre os 20 m e os 40 m. As soluções adoptadas encontram-se representadas nas duas figuras seguintes.

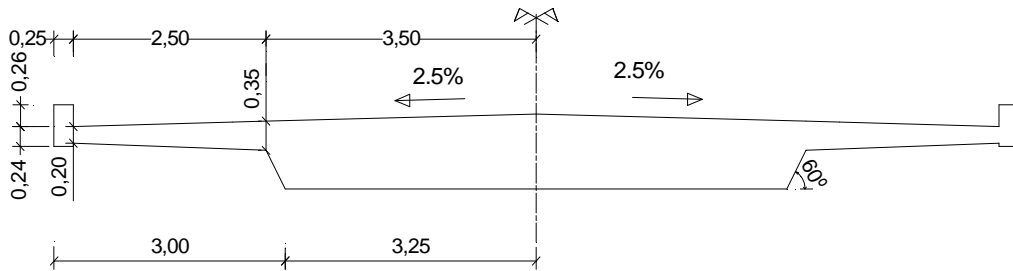


Figura 36 - Secção Tipo Para Viadutos Com Vãos Até 20 m

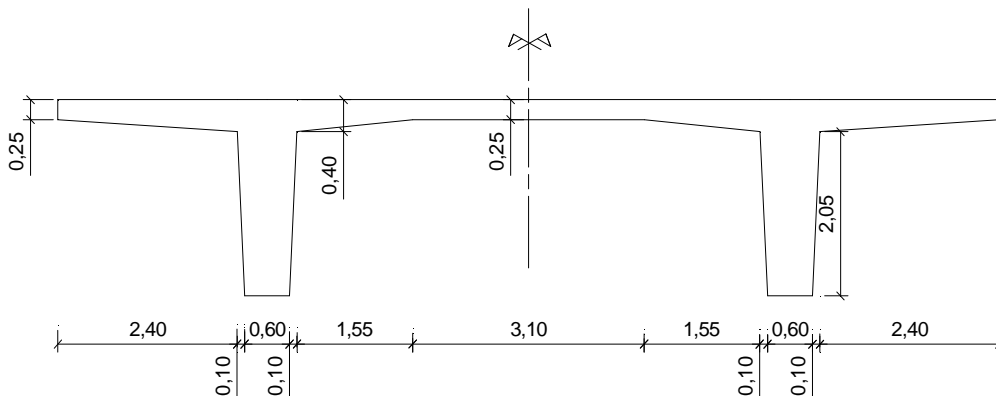


Figura 37 - Secção Tipo Para Vãos Entre os 20 m e os 40 m

Decidido o afastamento de 1,3 m entre os planos transversais constituintes do cembre, a altura de 1,5 m para cada elemento de prumo e as secções adoptadas para os tabuleiros, foi necessário determinar a disposição dos prumos nesses planos transversais. A disposição destes prumos é conseguida através de várias tentativas até que o espaçamento entre eles seja tal que as cargas verticais actuantes na área de influência de cada prumo sejam inferiores às cargas máximas admissíveis que se encontram tabeladas para o material deste sistema.

As cargas máximas admissíveis por cada prumo têm em conta a altura de cada prumo e afastamento máximo entre os prumos. Os valores máximos admissíveis para a cargas de compressão que cada prumo é capaz de resistir são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela 8 - Carga Máxima Admissível Por Prumo Interno

Afastamento das travessas [m]	Carga Vertical [KN]	
	Travessas de 1,80 m	Travessas de 2,50 m e 2,70 m
1,00	57,00	57,00
1,50	55,00	54,00
2,00	40,00	36,00
2,50	26,00	25,00

Tabela 9 - Carga Máxima Admissível Por Prumo Externo

Afastamento das travessas [m]	Carga Vertical [KN]				
	Comprimento das travessas [mm]				
	600	900	1300	1800	2500
1,00	57,00	57,00	57,00	57,00	57,00
1,50	55,50	54,50	53,50	52,00	51,00
2,00	38,00	36,00	34,50	34,00	32,00

É importante referir que os valores apresentados para as cargas máximas admissíveis devem ser comparadas com acções não majoradas, uma vez que, segundo o que é apresentado no catálogo do material do *Sistema Duralok*, a carga admissível, já contempla em si o coeficiente de minoração de pelo menos 1,50 relativamente à carga elástica. Desta forma as acções utilizadas para determinar a configuração do modelo do cembre não foram majoradas.

Posto isto, para cada secção tipo de viaduto, dimensionou-se um cembre com 9 m de altura e outro com 18 m. Neste ponto do trabalho os cimbres de 9 m e 18 m que dizem respeito a cada secção tipo apenas diferem entre si na altura, apresentando os mesmos afastamentos dos prumos, uma vez que as cargas verticais a que estes estão sujeitos são as mesmas. As diferentes alturas do cembre serão importantes para se efectuar o estudo de diferentes soluções de contraventamento realizado mais à frente neste trabalho. Nas figuras seguintes são apresentadas as configurações do cembre dimensionado para a secção tipo de um viaduto com um vão de 20m.

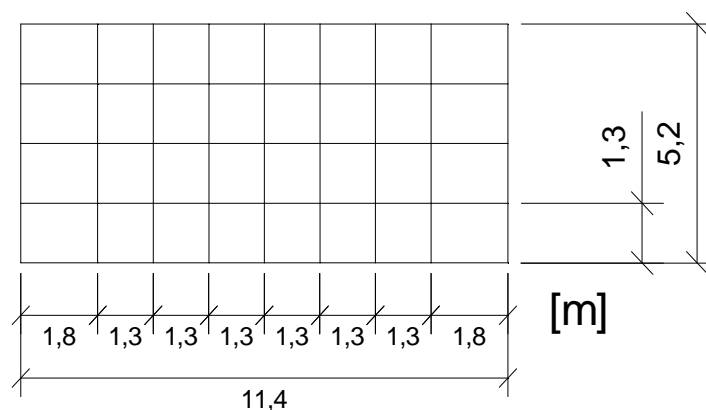


Figura 38 - Vista Em Planta da Configuração do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão

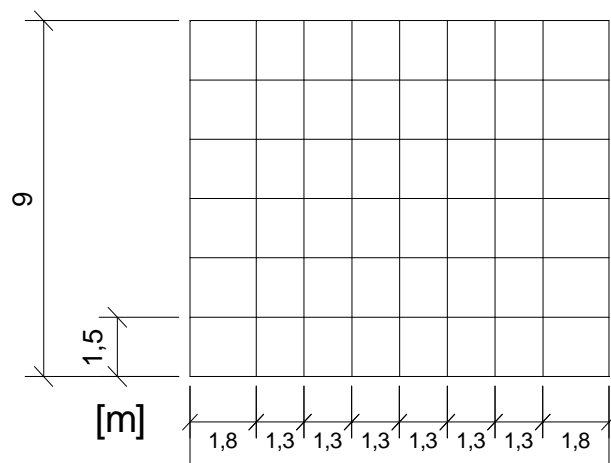


Figura 39 – Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

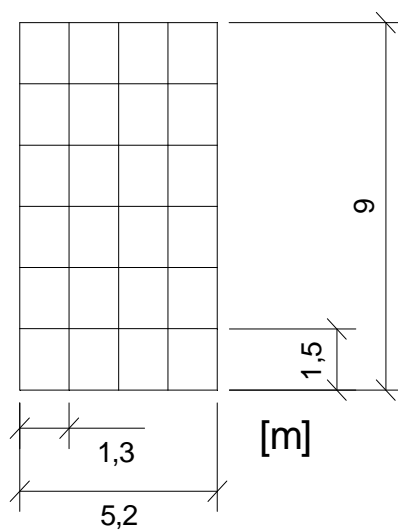


Figura 40 - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

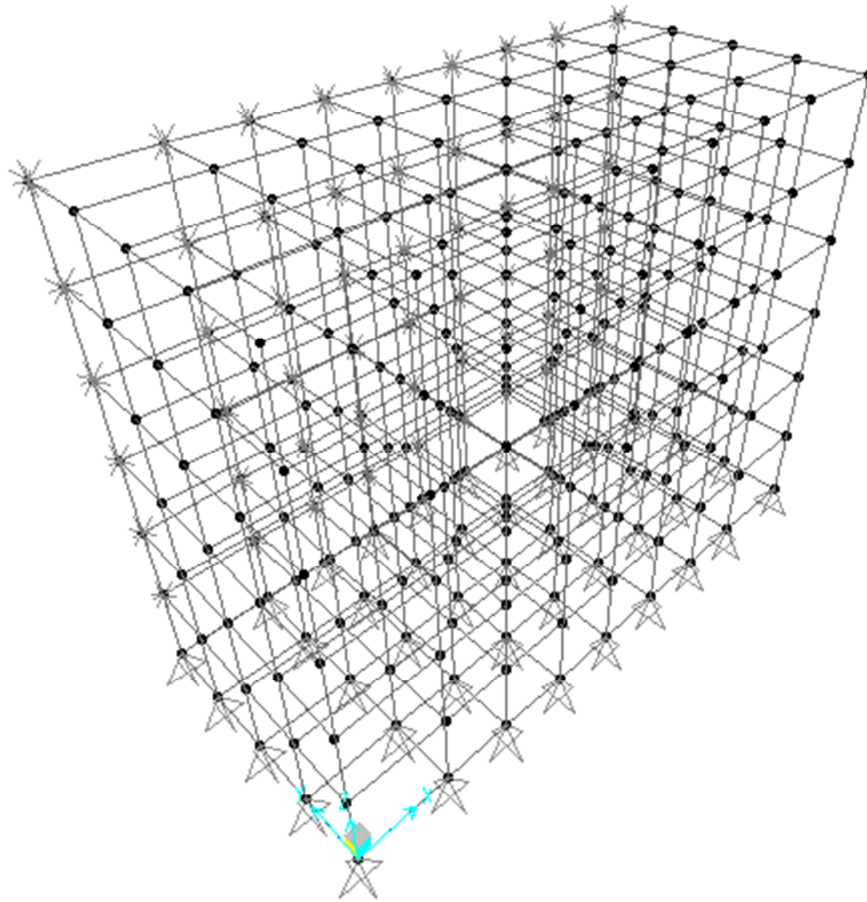


Figura 41 - Vista 3D da Configuração do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

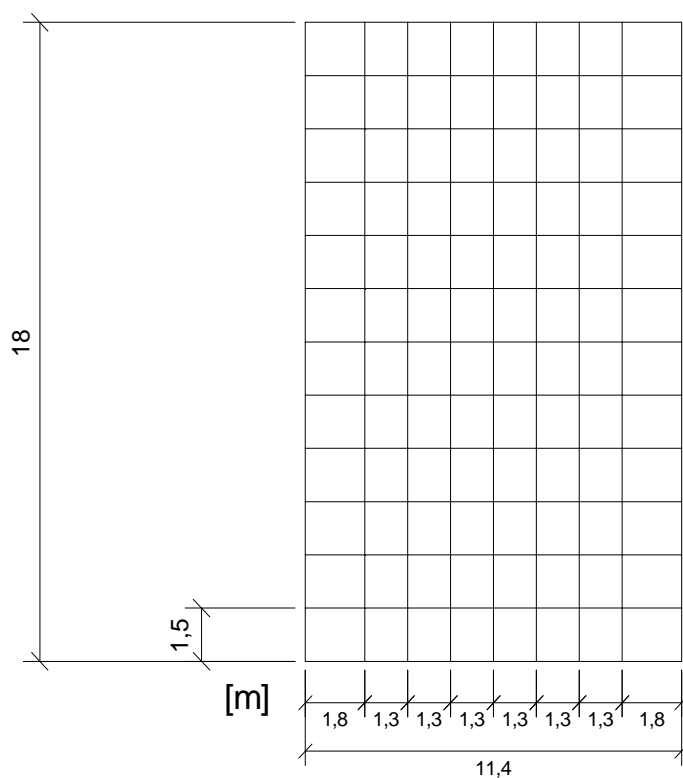


Figura 42 - Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cimbre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

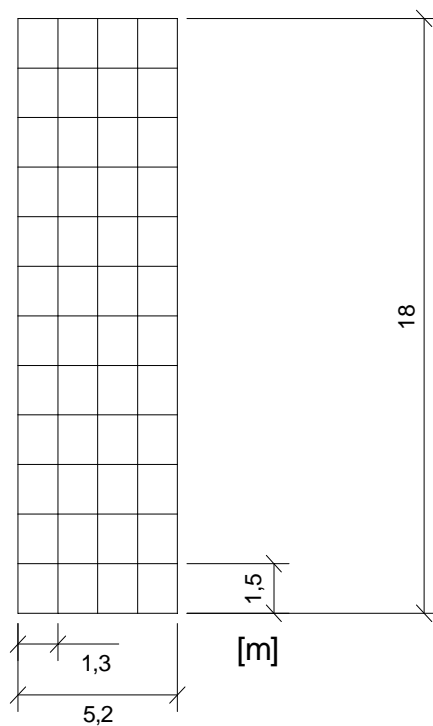


Figura 43 - - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

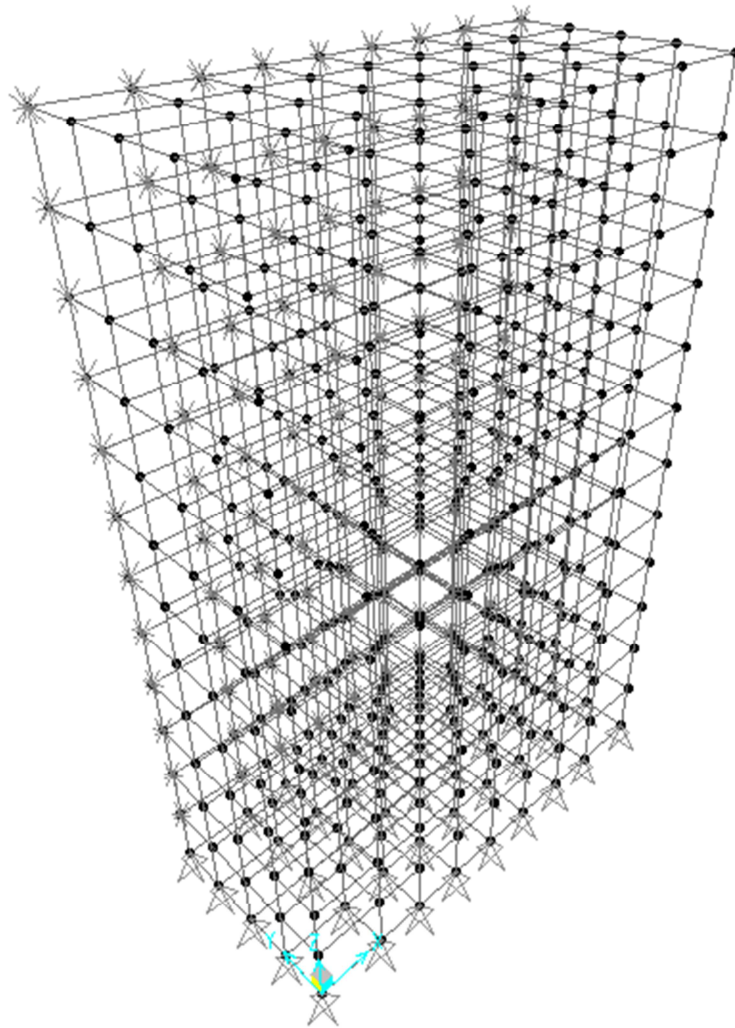


Figura 44 - Vista 3D da Configuração do Cimbra ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

Estas configurações foram adoptadas depois de um processo iterativo até se conseguir obter nos prumos cargas de compressão com valores que respeitassem as cargas máximas admissíveis descritas na Tabela 8 e na Tabela 9.

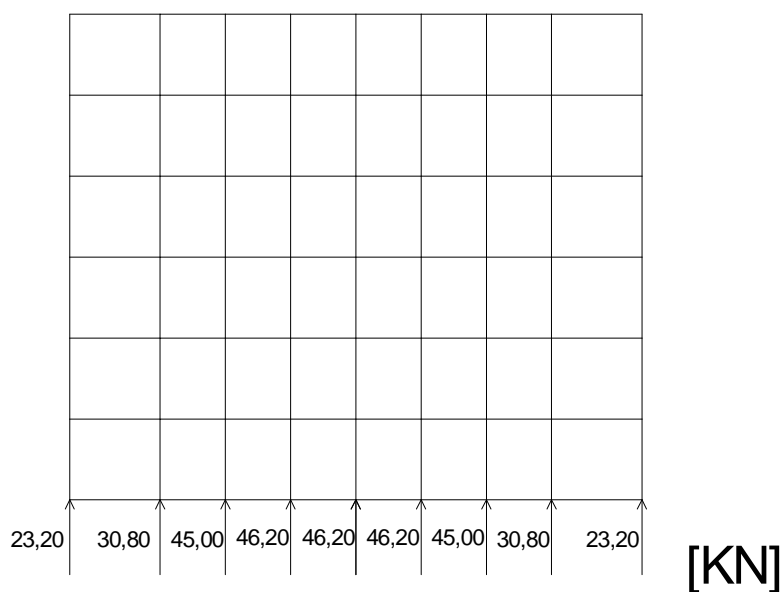


Figura 45 – Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbre ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

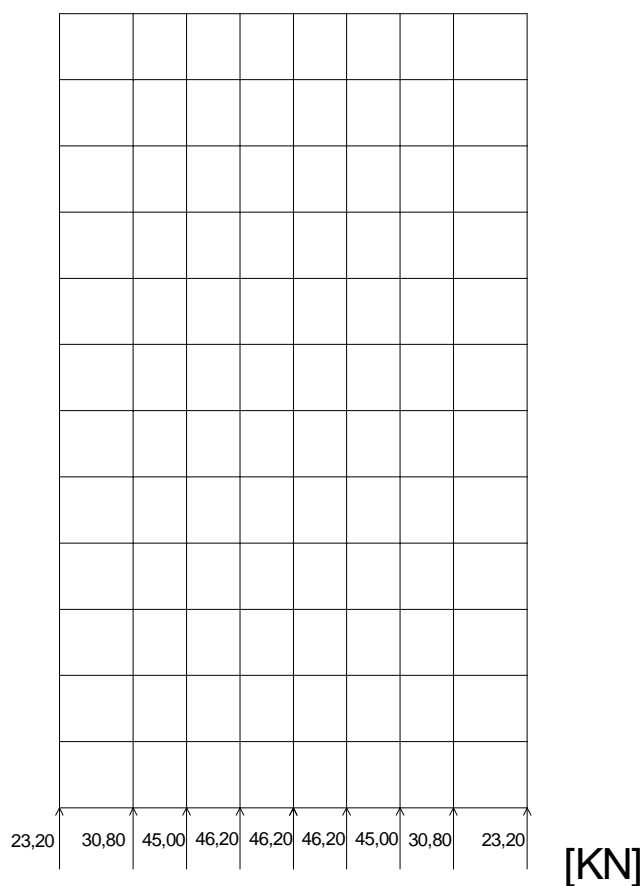


Figura 46 - Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbre ao Solo Com 18m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

Como se pode ver nas Figura 45 e Figura 46 a carga vertical máxima de compressão a que os prumos desta configuração está sujeita é de 46,20 KN, um valor inferior à capacidade máxima admissível de 53.50 KN, que é apresentada na Tabela 8 e na Tabela 9.

Nas figuras seguintes são apresentadas as configurações do cembre dimensionado para a secção tipo de um viaduto com um vão de 40 m.

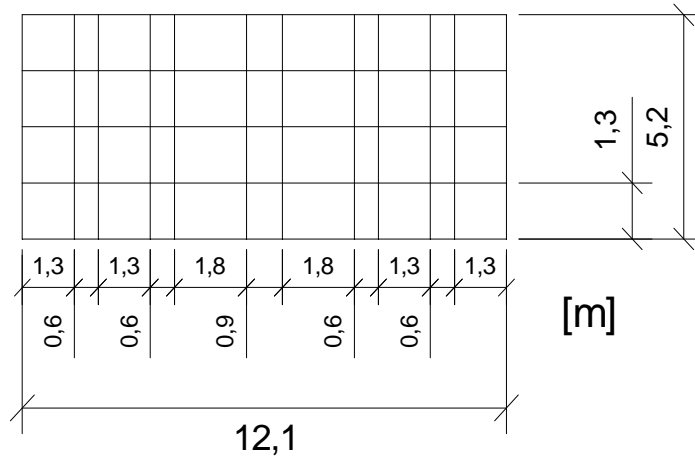


Figura 47 - Vista Em Planta da Configuração do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão

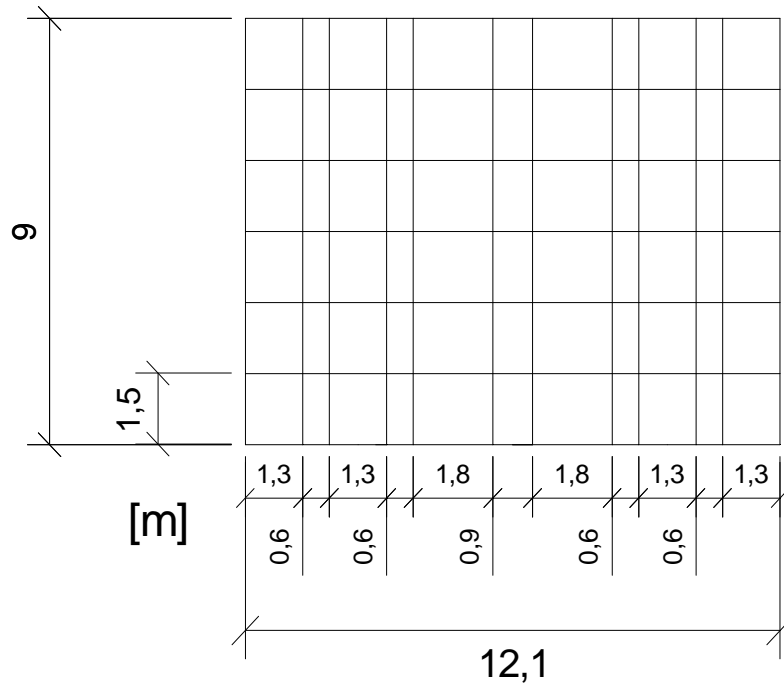


Figura 48 – Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

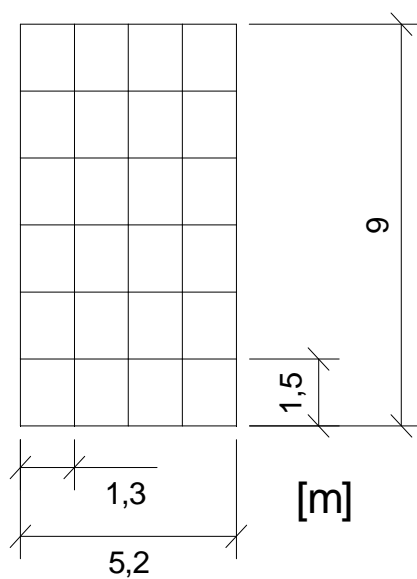


Figura 49 - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cimbre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

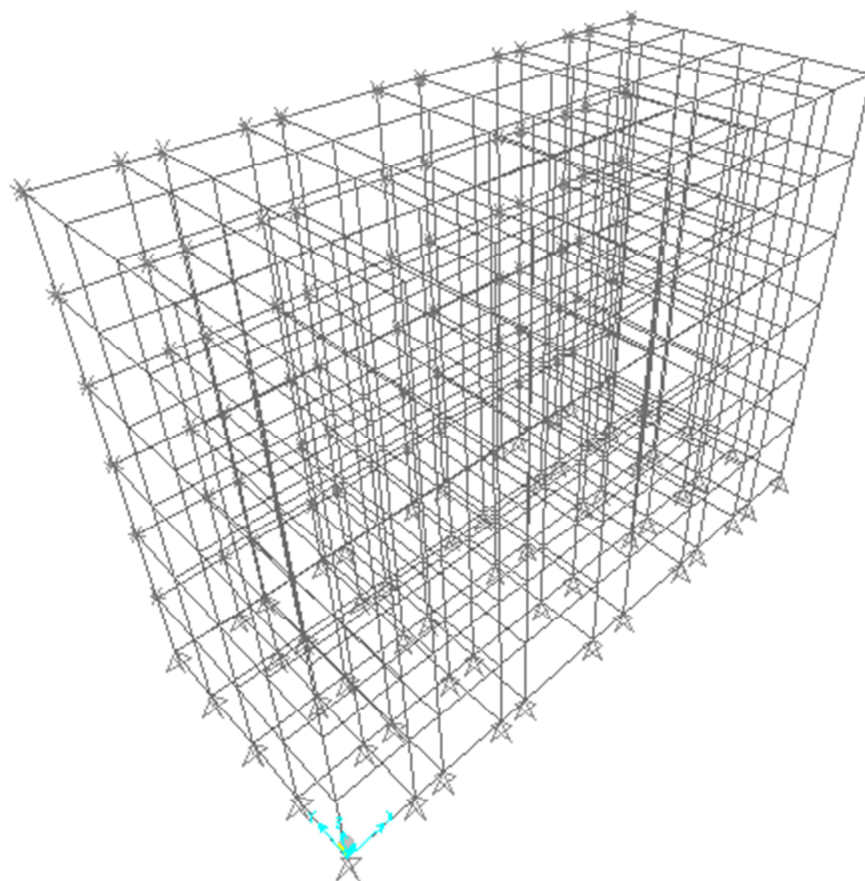


Figura 50 - Vista 3D da Configuração do Cimbre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 9 m

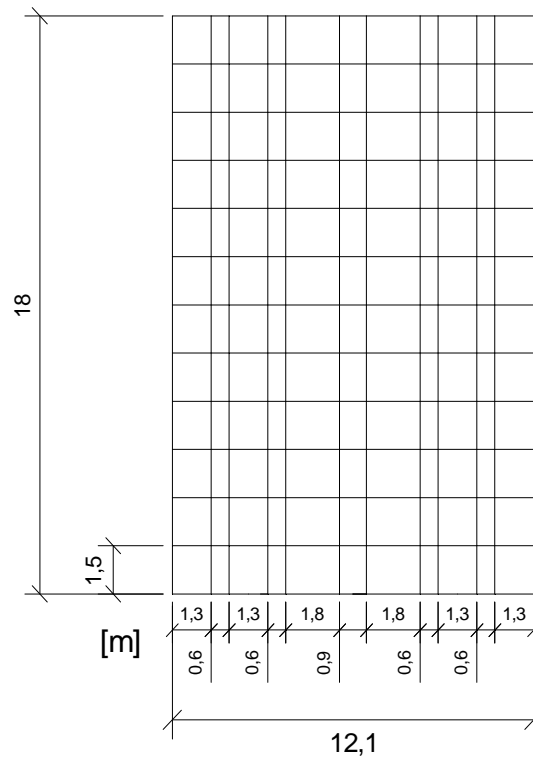


Figura 51 - Vista da Configuração Do Plano Transversal do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

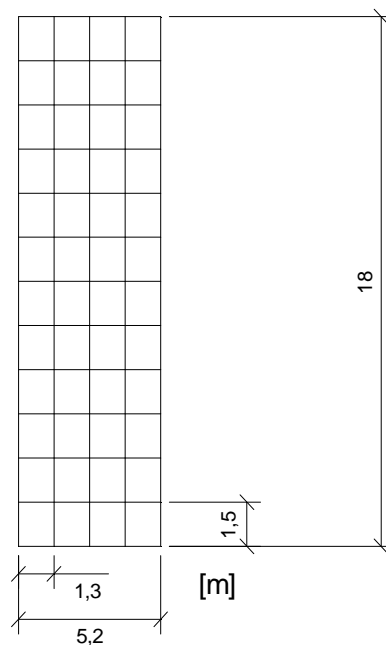


Figura 52 - - Vista da Configuração Do Plano Longitudinal do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

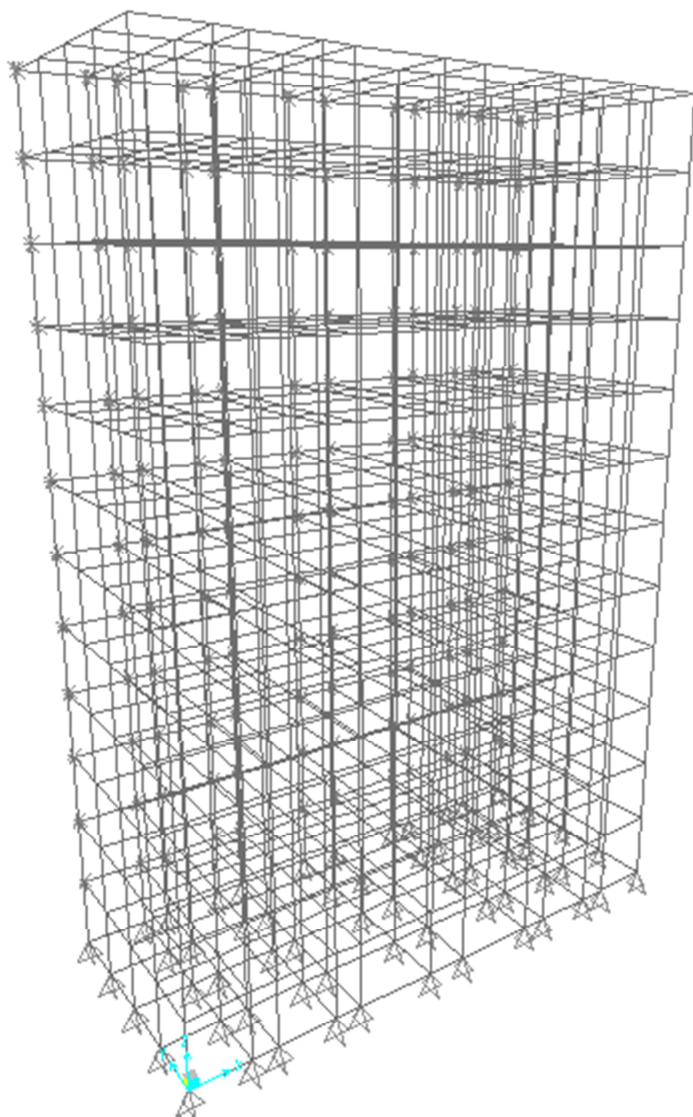


Figura 53 - Vista 3D da Configuração do Cembre ao Solo Contínuo Adoptada Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de Vão e Com Uma Altura ao Solo de 18 m

Estas configurações também foram adoptadas depois de um processo iterativo até se conseguir obter nos prumos cargas de compressão com valores que respeitassem as cargas máximas admissíveis descritas na Tabela 8 e na Tabela 9.

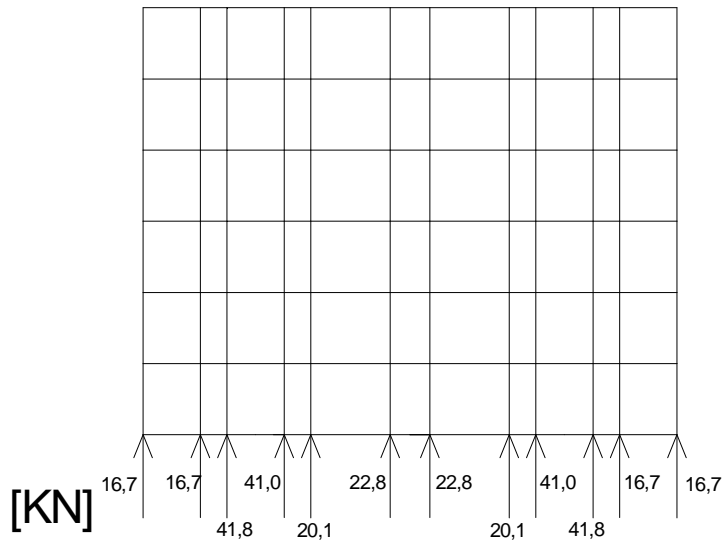


Figura 54 – Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbra ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão

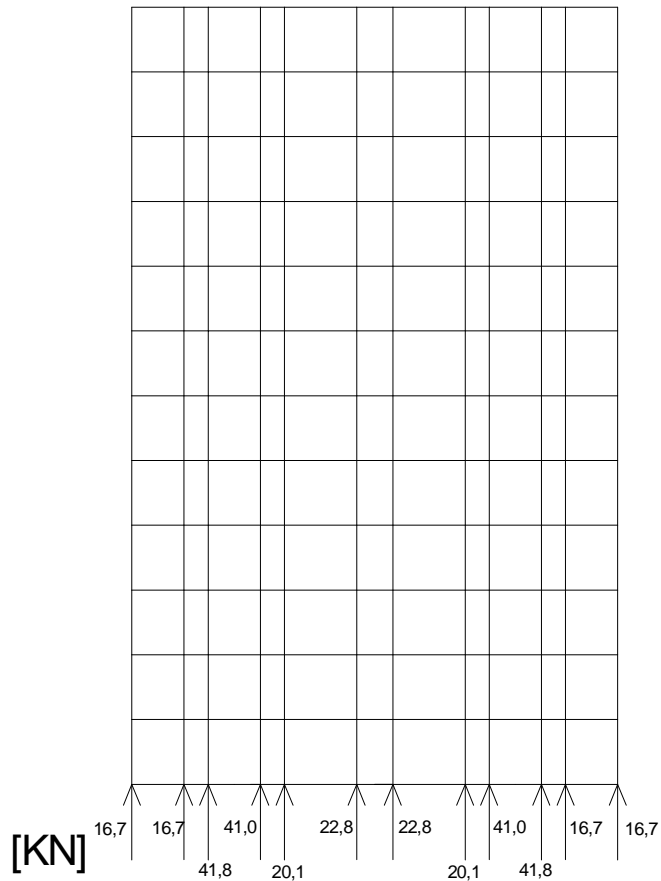


Figura 55 - Reacções Verticais Devido às Acções Verticais Para Determinar a Configuração do Cimbra ao Solo Com 9m de Altura Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão

Como se pode ver nas Figura 54 e Figura 55, a carga vertical máxima de compressão a que os prumos desta configuração está sujeita é de 41,8 KN um valor inferior à capacidade máxima admissível de 53.50 KN que é apresentada na Tabela 8 e na Tabela 9.

Desta fora determinou-se quais as configurações dos módulos de cimbres ao solo contínuos que vão ser analisados mais à frente neste trabalho.

3.4. ESTUDO DE DIFERENTES SOLUÇÕES DE CONTRAVENTAMENTO

3.4.1. GENERALIDADES

O contraventamento de um cembre é fundamental para assegurar a sua estabilidade e para que este responda às acções como um corpo rígido. Apesar disso não existe nenhuma norma ou regulamento que defina qual o sistema de contraventamento adequado para cada tipo de estrutura. Como tal, revela-se essencial que, para cada cembre, o seu contraventamento seja analisado e estudado conforme as estruturas dos cimbres e as exigências subjacentes à construção dos mesmos. Porém, nem sempre estes estudos são realizados de forma minuciosa e cuidada, sendo muitas vezes o contraventamento dimensionado em função da experiência na construção de outros cimbres, com base em factores económicos e até mesmo em função do material disponível.

Com este trabalho pretende-se estudar diferentes configurações de contraventamento em cimbres solicitados pelas acções definidas pela norma *EN 12812* [2]. Este estudo terá como base as estruturas definidas em 3.3. Esses cimbres foram dimensionados para permitirem a construção de viadutos com secções tipo dimensionadas para um vão de 20 m e de 40 m, considerando-se que o cembre poderá ter 9 ou 18m de altura de altura ao solo. Para cada configuração de cembre referida foram analisadas diferentes configurações de contraventamento.

No estudo que se realizou neste trabalho, através do software de cálculo estrutural, *SAP 2000 Advanced 12.0.0*, é calculando o factor de carga crítica do cembre nas configurações anteriormente referidas e analisada a influência do contraventamento no valor do mesmo. Decidiu-se que este estudo devia ter por base o factor de carga crítica, uma vez que este corresponde ao factor pelo qual as acções de cálculo deveriam ser multiplicadas para provocar a instabilidade elástica. Com este estudo pretende-se também avaliar se é possível definir um tipo de contraventamento que permita a não consideração, no dimensionamento de cimbres, dos efeitos de segunda ordem, uma vez que a regulamentação que diz respeito ao dimensionamento de estruturas metálicas, *EN 1993-1-1* [19], define que estruturas com um factor de carga critica superior a 10 são consideradas estruturas de nós fixos, podendo os efeitos de segunda ordem ser ignorados. Para estruturas em que o valor do factor de carga crítico seja inferior a 10 e superior a 3, estruturas de nós móveis, a regulamentação [19] determina que os efeitos de segunda ordem devem ser tidos em conta podendo-se de uma forma simplificada multiplicar as acções laterais (vento, imperfeições, etc.) por um coeficiente de majoração. No caso de estruturas em que o factor de carga critica seja inferior a 3 deve efectuar-se uma análise de segunda ordem mais rigorosa.

3.4.2. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS AO MODELO ADOPTADO

Na elaboração destes modelos optou-se por uma postura conservativa, nomeadamente no que às ligações entre elementos verticais e horizontais do cembre diz respeito. Apesar de no catálogo do *Sistema Duralok* ser referido que a ligação entre elementos horizontais e verticais através do *Nó Duralok* permite um excelente encastramento, definiu-se que neste modelo essas ligações seriam libertadas de qualquer resistência a momentos, ou seja, modelaram-se essas ligações como sendo rótulas. Tal como as ligações entre elementos horizontais e verticais, as ligações entre os elementos de contraventamento e os restantes elementos do cembre também se modularam como sendo rótulas. Relativamente aos prumos, definiu-se que apesar destes serem constituídos por elementos de 1,50 m, tal como referido em 3.3, os prumos seriam modelados como elementos contínuos, desde a base do cembre até ao seu topo, sendo rotulados nessas mesmas extremidades.

Nos modelos analisados foi criado também um diafragma no plano horizontal do topo do cembre para simular o efeito que a cofragem representa quando está ligada ao cembre. Com este diafragma pretende-se evitar que as acções horizontais causem deslocamento no cembre sem que este mobilize qualquer resistência, conseguindo-se assim que a estrutura se comporte como um corpo rígido. Este diafragma foi materializado usando-se barras rotuladas e com uma resistência muito elevada de forma a simular uma rigidez teoricamente infinita. As figuras seguintes apresentam a forma como se dispõem as barras constituintes do diafragma.

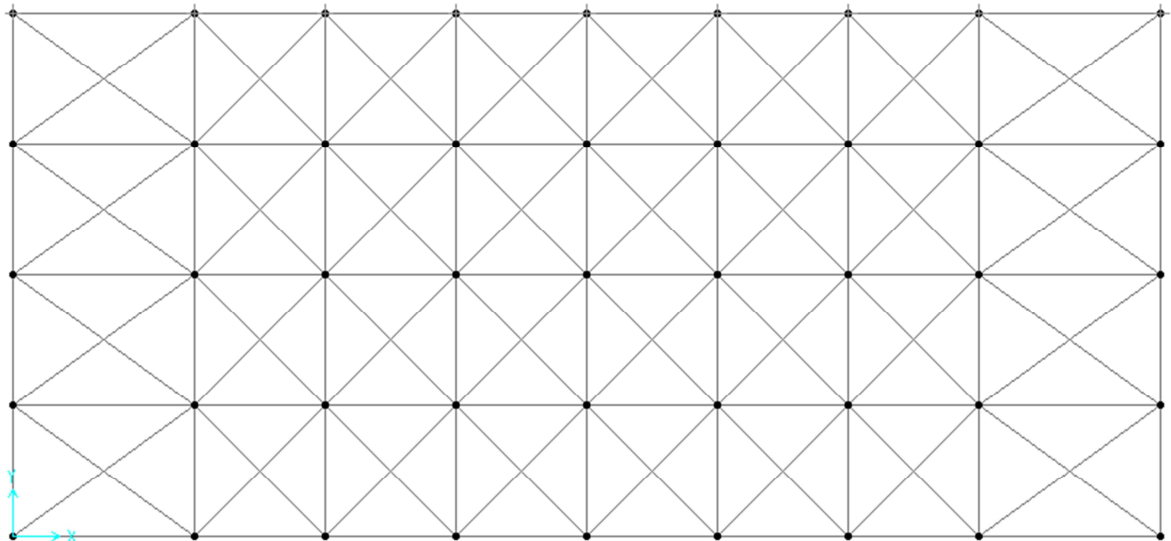


Figura 56 - Disposição do Diafragma no Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto com 20 m de vão

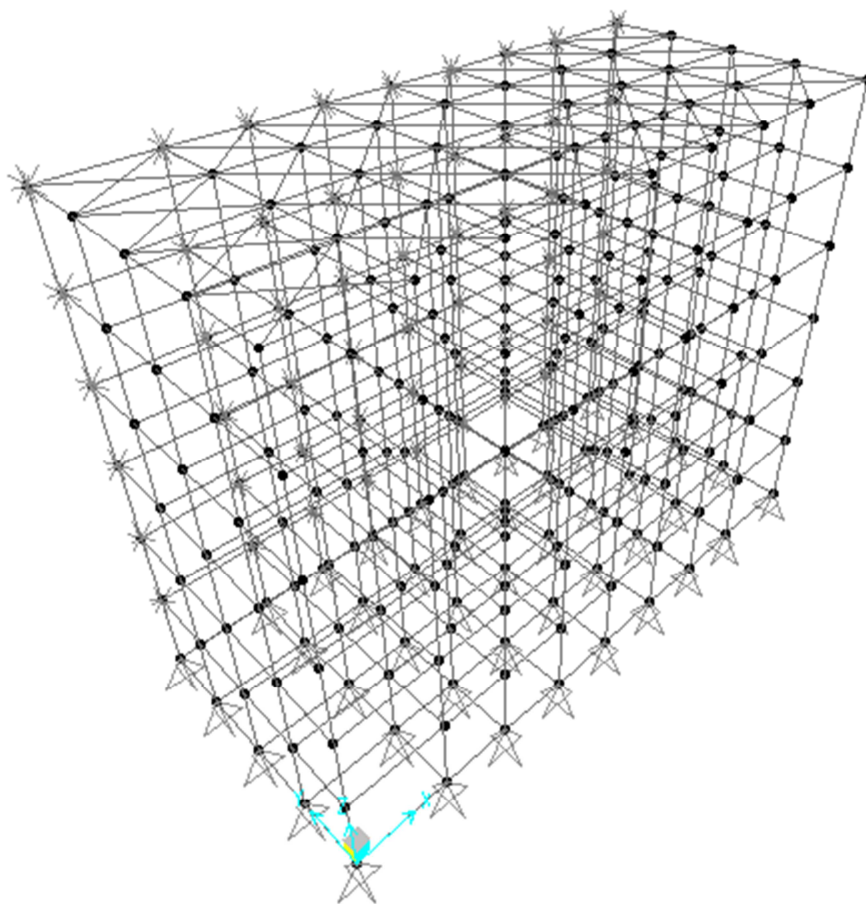


Figura 57 - Diafragma no Topo do Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão e 9m de Altura

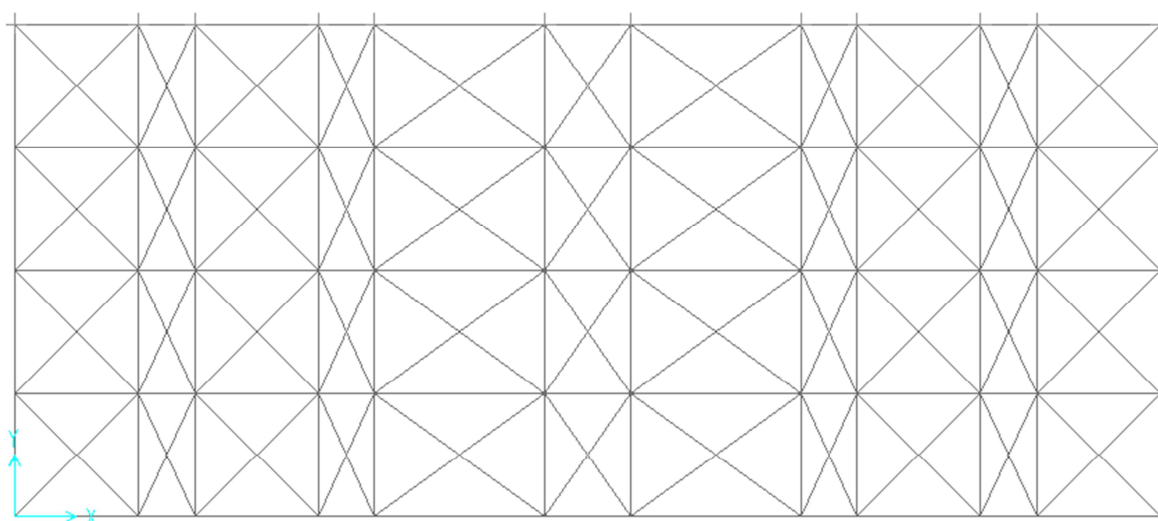


Figura 58 - Disposição do Diafragma no Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto com 40 m de vão

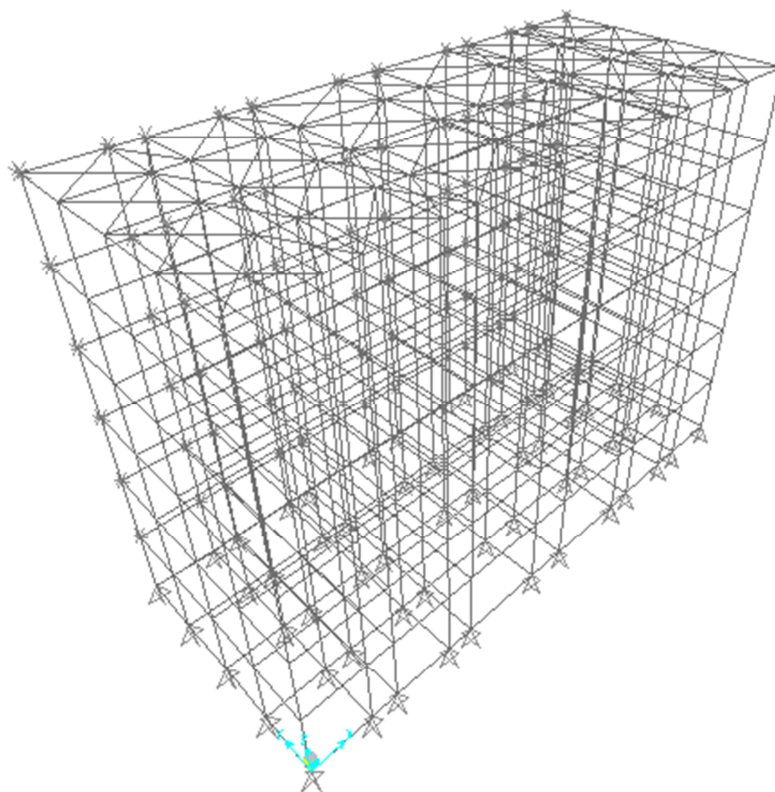


Figura 59 - Diafragma no Topo do Modelo Analisado em Cimbres ao Solo Para uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 40 m de Vão e 9m de Altura

Quanto aos apoios, na base foram modelados apoios que apenas resistem a acções verticais e horizontais não resistindo a momentos. Para determinar o valor do factor de carga crítica devido à actuação das cargas verticais e das cargas horizontais segundo a direcção x foram restringidos os deslocamentos segundo a direcção y no plano $y = 5,2 m$.

Neste estudo não se analisaram os efeitos dos contraventamentos no sentido do desenvolvimento longitudinal do tabuleiro dos viadutos, uma vez que os valores dos factores de carga crítica dependem das condições de apoio do cimbra no referido sentido. Nesse sentido, o deslocamento dos planos longitudinais pode ser travado de várias formas, como por exemplo, pelo encontro do viaduto ou pelos pilares, o que implica que o número de planos longitudinais travados esteja directamente relacionado com as condições decorrentes da instalação do cimbra. Todas essas particularidades condicionam o valor dos factores de carga crítica. Como este estudo pretende ser o mais genérico e abrangente possível e como todos os factores referidos estão ligados a pormenores muito concretos do local onde vai ser instalada a estrutura em causa, achou-se por bem não analisar o comportamento da estrutura na direcção do desenvolvimento longitudinal do tabuleiro do viaduto.

Por fim, as dimensões dos materiais e os materiais modelaram-se de acordo com o referido em 3.3, enquanto que as cargas aplicadas ao modelo estão de acordo com o que foi referido em 3.2.2.

A validação dos modelos utilizados para fazer este estudo foi feita aplicando como acções nos modelos apenas as cargas verticais e sem qualquer elemento de contraventamento. Uma vez que as cargas verticais eram aplicadas directamente no topo dos prumos, o valor das reacções nos apoios teria de ser igual ao somatório das cargas verticais aplicadas no cembre. Tal verificação foi efectuada para todos os modelos das diferentes configurações do cembre.

Os valores dos factores de carga crítica foram obtidos realizando análises de Buckling nos modelos de cimbres analisados no software de cálculo estrutural anteriormente referido. Para confirmar que se podia confiar nos valores obtidos pelo software comparou-se os resultados de uma estrutura simples com valores de factores de carga crítica conhecidos, com os do programa de cálculo e verificou-se que esses valores eram semelhantes.

3.4.3. RESULTADOS OBTIDOS

Neste ponto do trabalho serão apresentados os resultados obtidos para os valores dos factores de carga crítica do cembre ao solo contínuo, nas configurações apresentadas anteriormente, para diferentes opções de contraventamento. Convém referir que esses valores dizem respeito ao primeiro dos modos de encurvadura das estruturas analisadas. Modo esse a que corresponde o factor de carga mais baixo a provocar a instabilidade da estrutura.

Com base nos valores dos factores de carga crítica analisou-se a influência dos planos horizontais e verticais do contraventamento para diferentes opções de contraventamento dos mesmos.

Entende-se por planos verticais de contraventamento os planos que se desenvolvem segundo o eixo dos yy e por planos horizontais de contraventamento os planos que se desenvolvem segundo o eixo dos zz, tal como representado nas imagens seguintes. As figuras seguintes apenas apresentam os planos horizontais e verticais de um cembre ao solo para uma secção tipo de um viaduto com 20 m de vão; no entanto, a definição de planos horizontais e verticais mantêm-se para as outras configurações.

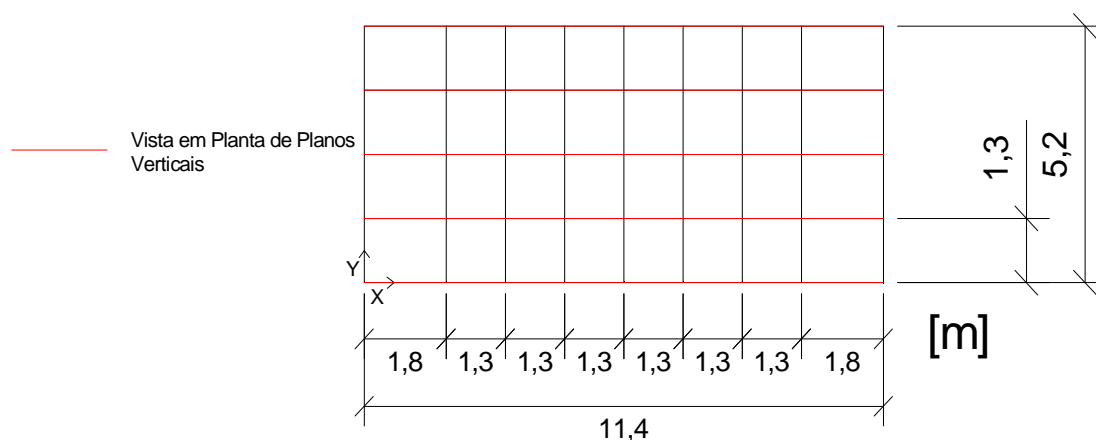


Figura 60 – Vista em Planta dos Planos Verticais no Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

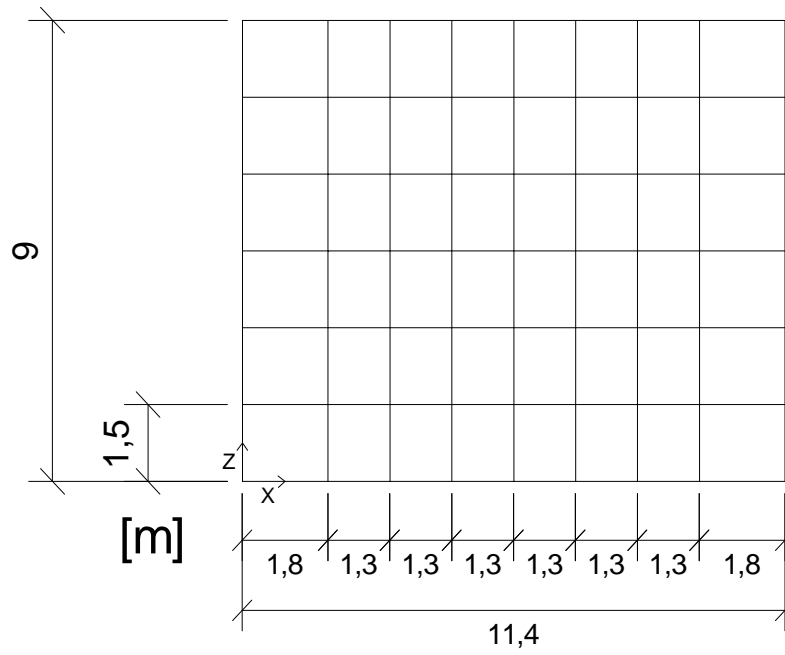


Figura 61 - Plano Vertical do Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

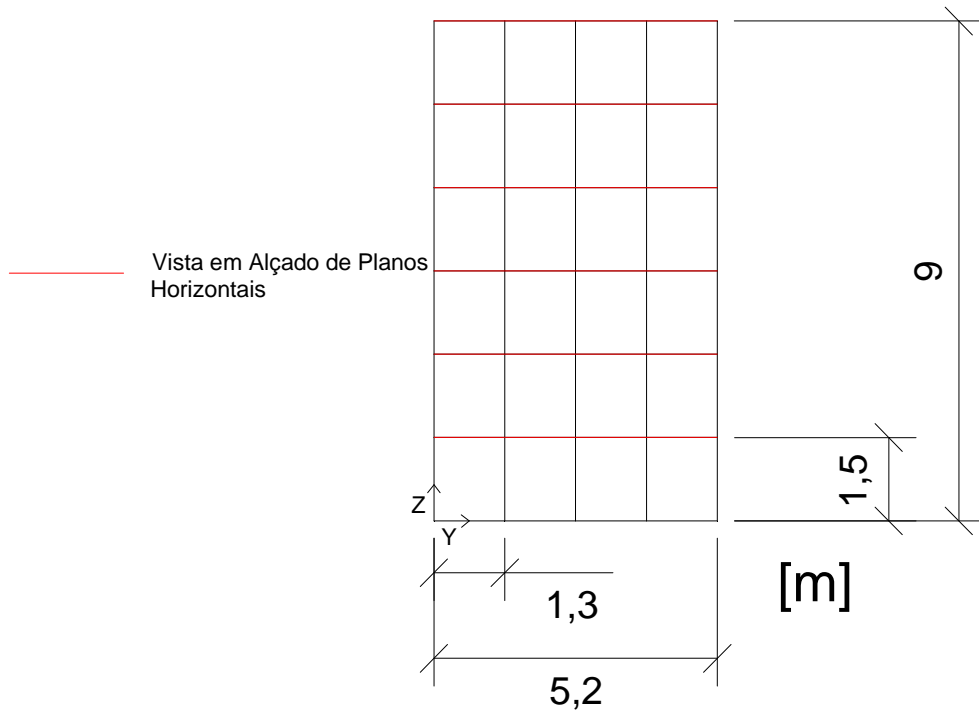


Figura 62 - Vista em Alçado dos Planos Horizontais no Cembre ao Solo Para Uma Secção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

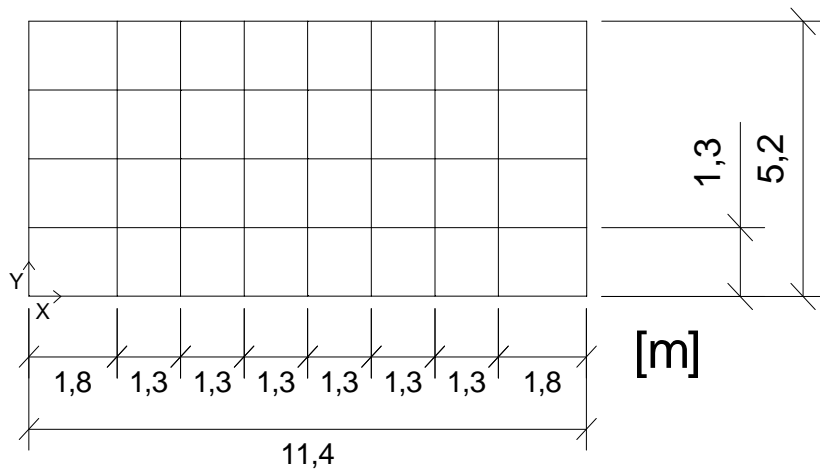


Figura 63 – Vista em Planta de Um Plano Horizontal no Cembre ao Solo Para Uma Seção Tipo de Um Viaduto Com 20 m de Vão

As opções de contraventamento que se decidiu analisar foram as seguintes:

- Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais pequenas;
- Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas;
- Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes;
- Contraventamento dos planos verticais e horizontais executados com diagonais grandes.

Para todas estas opções de contraventamento analisaram-se duas situações distintas. Analisou-se o caso de todos os planos horizontais serem contraventados e o caso em que os planos horizontais eram contraventados de forma alternada, ou seja de 3 m em 3 m.

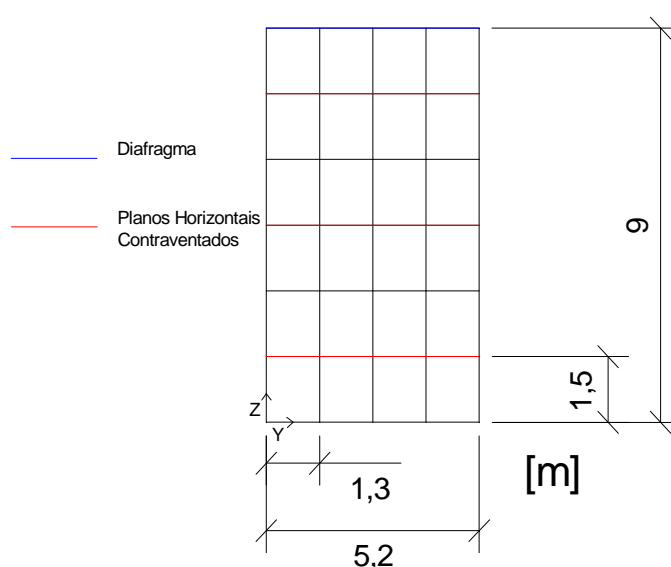


Figura 64 - Exemplo de Planos Horizontais Contraventados de Forma Alternada, 3 m em 3 m

Como referido anteriormente, neste estudo procurou-se sempre obter resultados conservativos. Por esse motivo, os factores de carga crítica que serão apresentados neste ponto correspondem a contraventamentos de planos verticais em que os elementos que os constituem funcionam apenas como tirantes, como apresentado no exemplo da Figura 65, uma vez que nos modelos em estudo as forças horizontais actuam sempre no mesmo sentido. No entanto, num cimbra construído para um caso real os contraventamentos verticais devem ser executados em cruz, como apresentado no exemplo da Figura 66, uma vez que as forças horizontais podem variar o sentido com que actuam. Contudo, apesar de não serem apresentados neste ponto do trabalho os resultados em que os planos verticais são contraventados com elementos em cruz os mesmos encontram-se disponíveis em anexo para uma eventual comparação dos resultados.

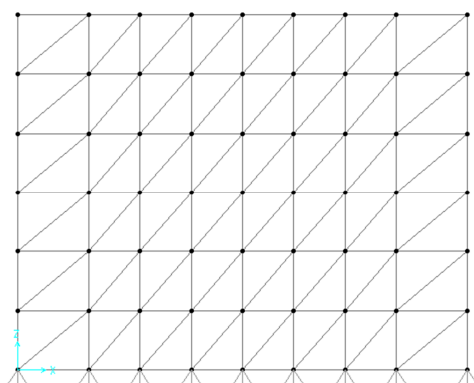


Figura 65 – Contraventamento de Plano Vertical em que os Elementos de Contraventamento Funcionam Apenas À Tração

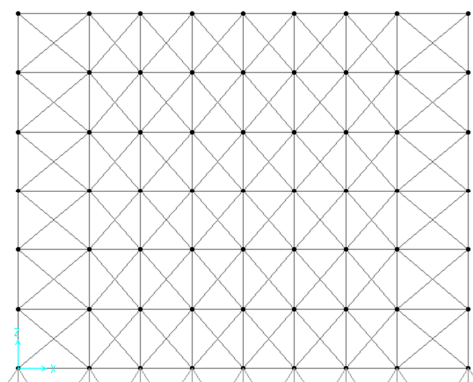


Figura 66 - Contraventamento de Plano Vertical em que os Elementos de Contraventamento Estão Dispostos em Cruz

3.4.3.1. Cimbra ao Solo Contínuo Com 9 m de Altura Para Um Vão de 20 m

Seguidamente apresentam-se os valores dos factores de carga crítica obtidos, utilizando o programa de cálculo estrutural referido, para as diferentes opções de contraventamento dos planos verticais e horizontais.

Nas tabelas seguintes entenda-se ctv como abreviatura de contraventamento.

- I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

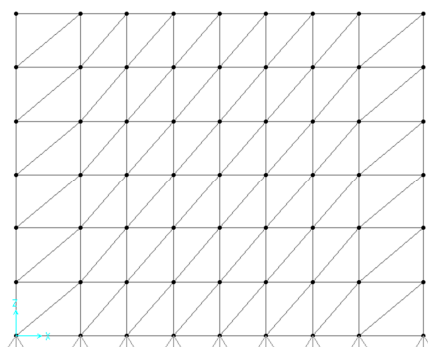


Figura 67 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

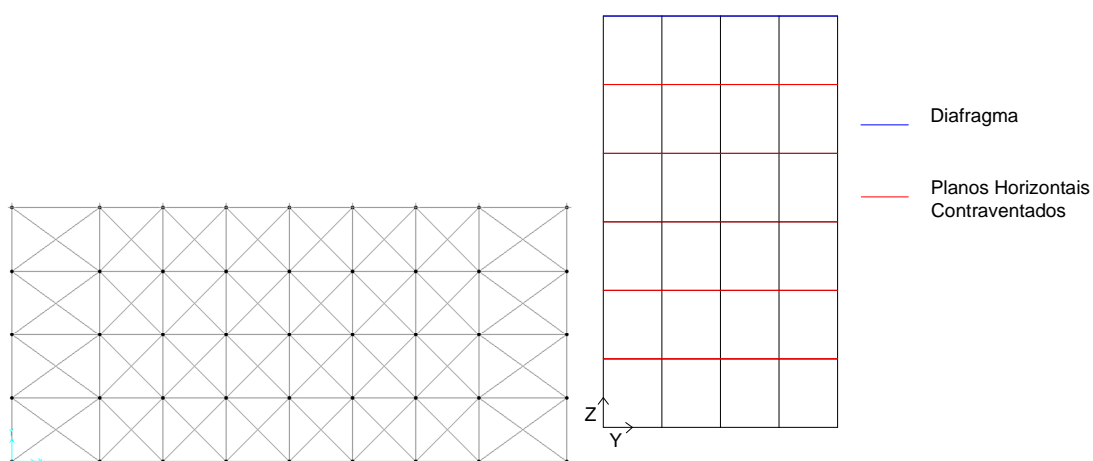


Figura 68 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 10 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	7,688	10,618	10,806	11,338	11,828
2x	1,334	1,361	1,378	1,395	1,408
2z	1,325	1,353	1,370	1,387	1,399
3x	1,394	1,420	1,437	1,451	1,438
3z	1,325	1,352	1,375	1,391	1,402

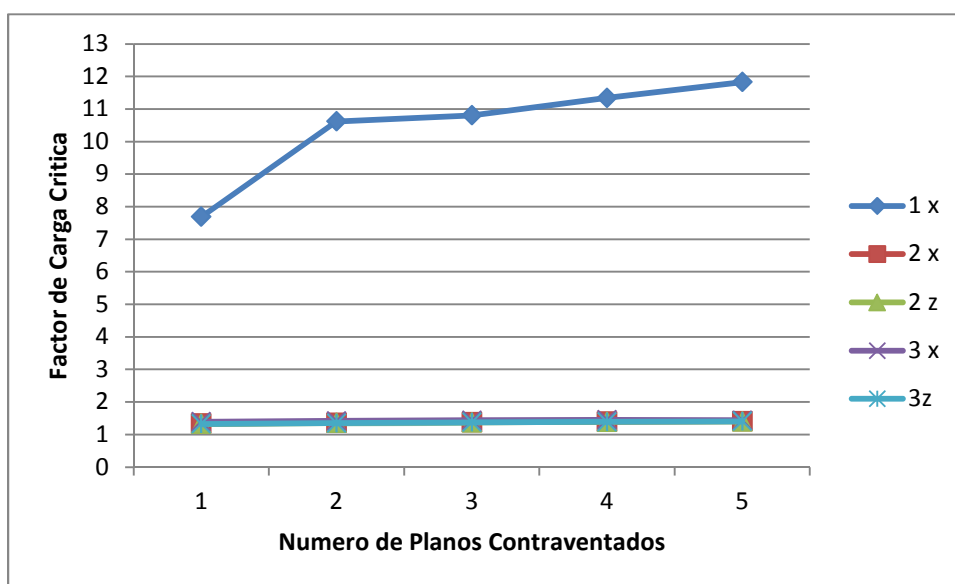


Figura 69 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 11 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,29	2,01	1,60	1,40	1,28
2x	10,11	9,17	8,68	8,59	8,58
2z	9,83	9,05	8,60	8,54	8,56
3x	12,11	10,06	9,21	8,94	8,83
3z	8,70	8,47	8,21	8,23	8,30

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

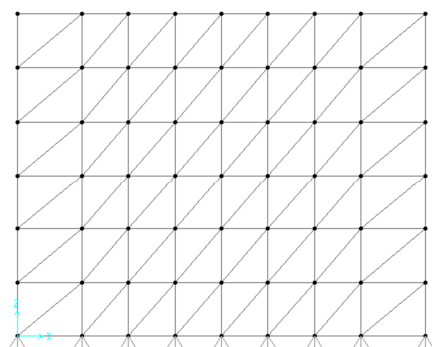


Figura 70 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

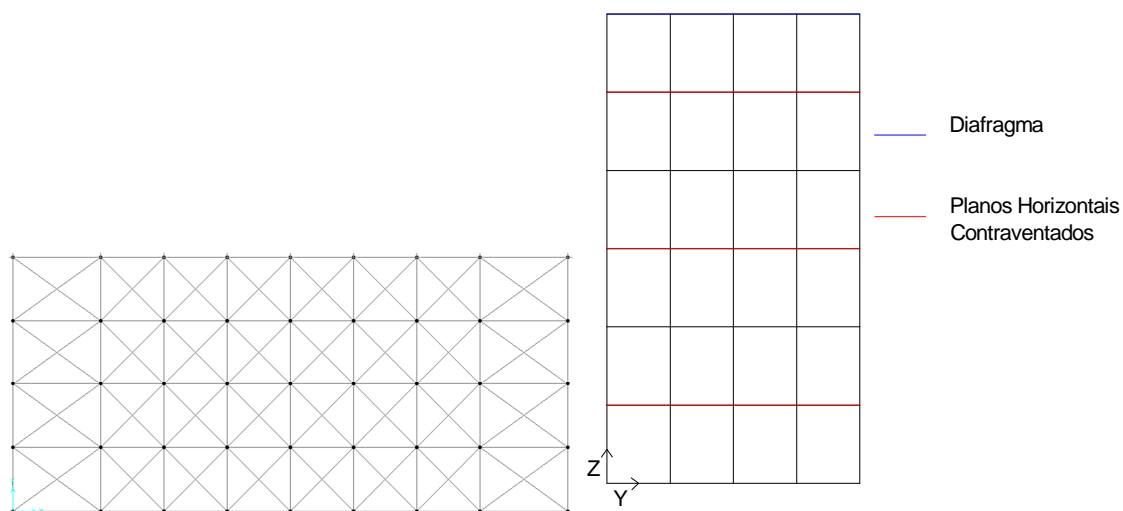


Figura 71 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 12 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	7,819	11,050	10,233	10,554	11,943
2x	0,599	0,629	0,749	0,779	1,331
2z	0,594	0,624	0,743	0,774	1,323
3x	0,628	0,660	0,782	0,814	1,387
3z	0,587	0,618	0,739	0,770	1,326

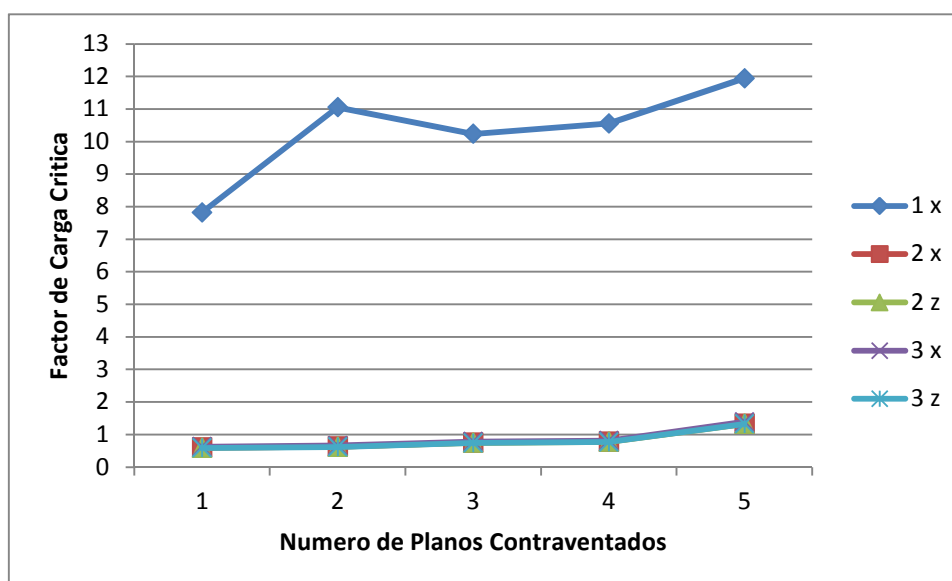


Figura 72 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 13 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,33	2,02	1,60	1,40	1,28
2x	10,10	9,15	8,65	8,57	8,57
2z	9,81	9,02	8,58	8,52	8,55
3x	12,14	10,06	9,20	8,94	8,83
3z	8,66	8,43	8,18	8,21	8,28

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais são executados com diagonais pequenas são bastante reduzidos. O valor mínimo mais elevado que se obtém quando todos os planos verticais estão contraventados é de 1,399, o que significa que a estrutura do cimbra resiste a um aumento das cargas na ordem dos 40%. No entanto verifica-se que para esta configuração de contraventamento, mesmo que só se tenha um plano vertical contraventado, obtém-se valores muito próximos do melhor resultado. Contudo, estes valores são muito reduzidos e, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á incluir os efeitos de segunda ordem na análise à estrutura realizando-se uma análise rigorosa a esses mesmos efeitos

Quando os contraventamentos horizontais são feitos alternadamente, de 3 m em 3 m, verifica-se que os valores dos factores de carga crítica reduzem substancialmente, não existindo praticamente nenhuma opção de contraventamento com um valor mínimo mais elevado superior a 1.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados.

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

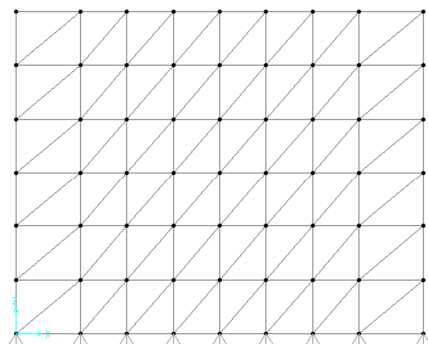


Figura 73 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

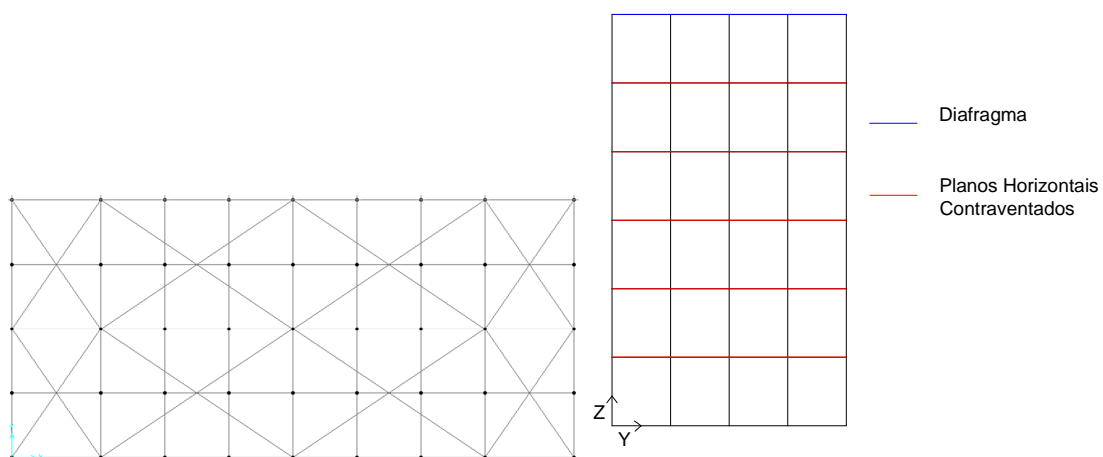


Figura 74 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 14 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	7,439	10,458	10,974	11,488	11,956
2x	1,151	1,177	1,200	1,211	1,223
2z	1,145	1,171	1,193	1,205	1,216
3x	1,196	1,224	1,250	1,262	1,272
3z	1,150	1,175	1,197	1,208	1,217

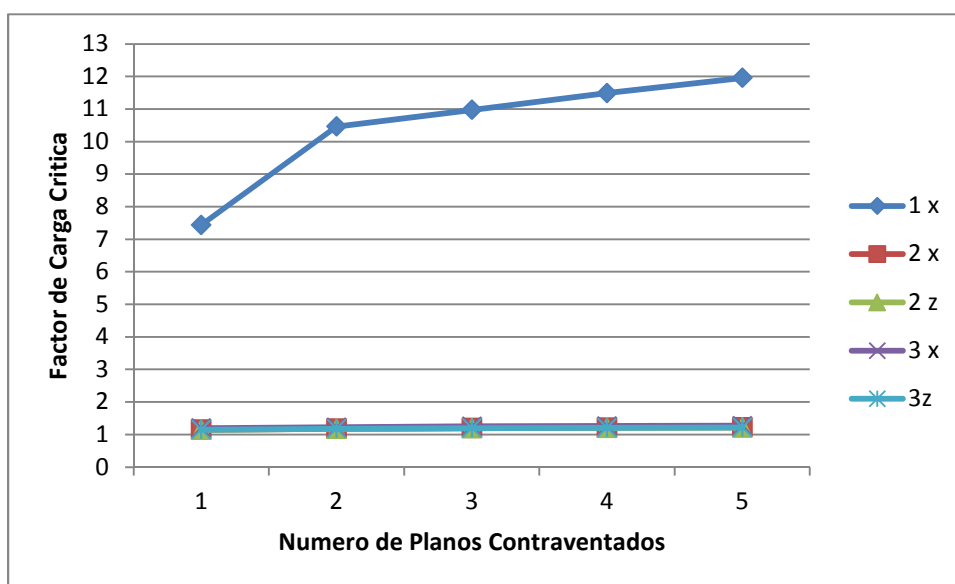


Figura 75 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 15 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,3	2,02	1,59	1,40	1,27
2x	10,12	9,17	8,97	8,58	8,59
2z	9,84	9,04	8,60	8,53	8,56
3x	12,15	10,08	9,22	8,95	8,84
3z	8,69	8,46	8,20	8,22	8,29

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

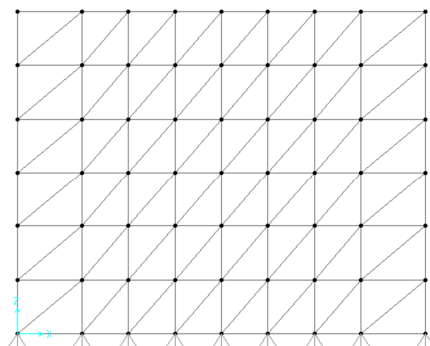


Figura 76 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

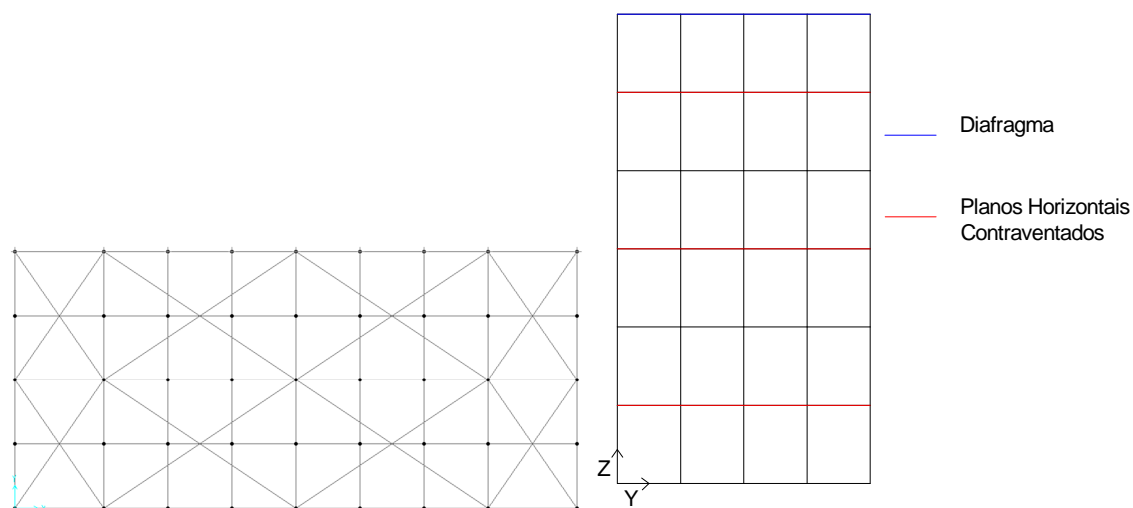


Figura 77 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 16 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	7,528	8,211	8,858	9,669	11,990
2x	0,525	0,579	0,637	0,699	1,209
2z	0,521	0,574	0,632	0,694	1,202
3x	0,550	0,607	0,665	0,730	1,260
3z	0,516	0,569	0,628	0,691	1,205

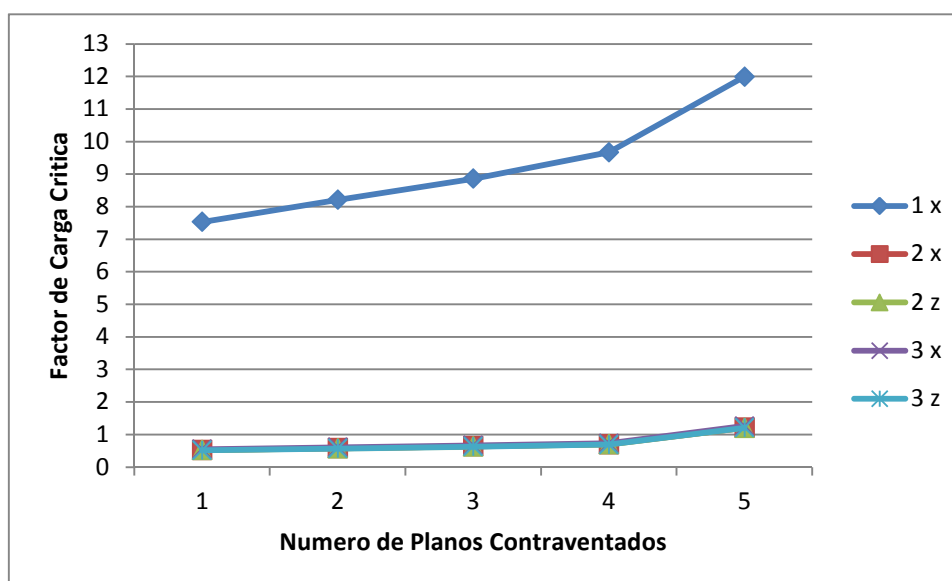


Figura 78 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 17 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,36	2,03	1,60	1,40	1,27
2x	10,11	9,14	8,64	8,57	8,57
2z	9,81	9,02	8,58	8,52	8,54
3x	12,17	10,08	9,20	8,94	8,83
3z	8,65	8,43	8,18	8,20	8,28

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais grandes e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais pequenas são bastante reduzidos. O valor mínimo mais elevado que se obtém quando todos os planos verticais estão contraventados é de 1,216, o que significa que a estrutura do cimbra resiste a um aumento das cargas na ordem dos 20%. No entanto verifica-se que para esta configuração de contraventamento, quando se têm 3 planos verticais contraventados obtém-se valores muito próximos do melhor resultado. Contudo, estes valores são muito reduzidos e, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á incluir os efeitos de segunda ordem na análise à estrutura realizando-se uma análise rigorosa a esses mesmos efeitos

Quando os contraventamentos horizontais são feitos alternadamente, de 3 m em 3 m, verifica-se que os valores dos factores de carga crítica reduzem substancialmente, conseguindo-se apenas para a opção de se contraventarem todos os planos verticais o valor mínimo mais elevado de aproximadamente 1.2.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados.

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

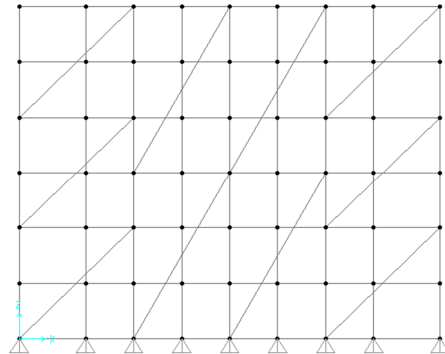


Figura 79 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

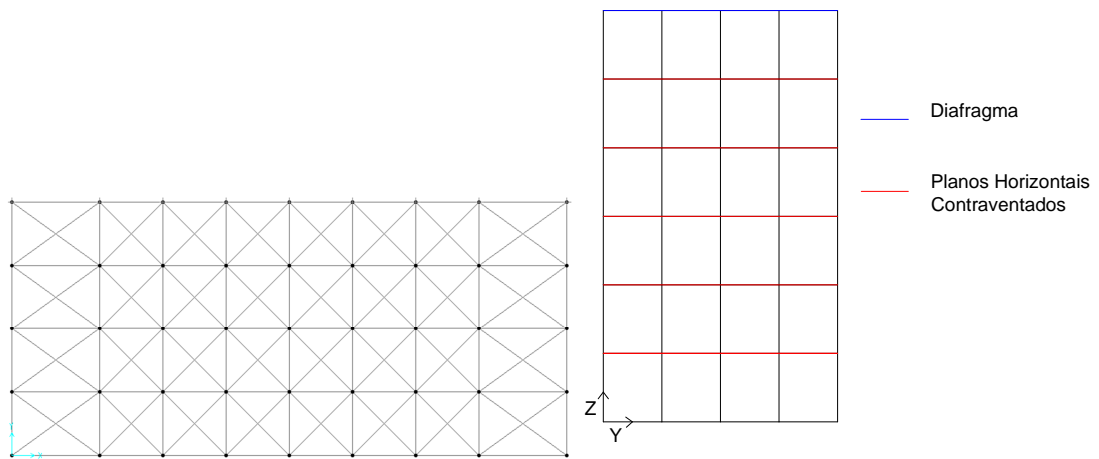


Figura 80 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 18 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	6,050	8,683	8,686	8,687	9,067
2x	0,628	0,691	0,774	0,774	0,811
2z	0,624	0,686	0,769	0,769	0,805
3x	0,652	0,718	0,804	0,804	0,841
3z	0,621	0,683	0,766	0,766	0,802

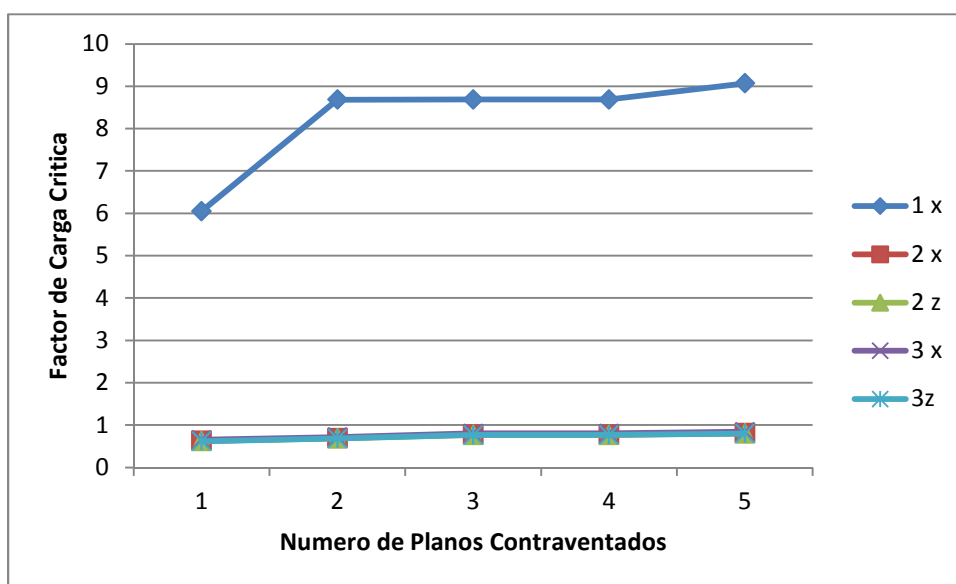


Figura 81 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 19 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,76	3,84	2,44	2,44	2,15
2x	13,79	11,97	10,99	10,98	10,93
2z	13,10	11,65	10,83	10,83	10,83
3x	18,65	14,28	12,06	12,06	11,75
3z	10,55	10,34	10,14	10,14	10,25

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

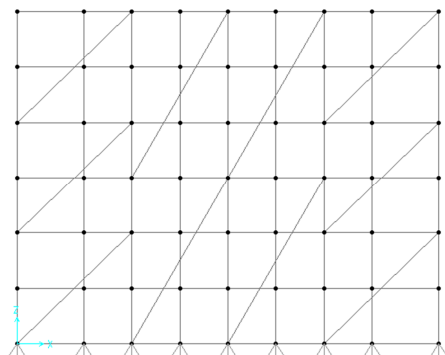


Figura 82 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

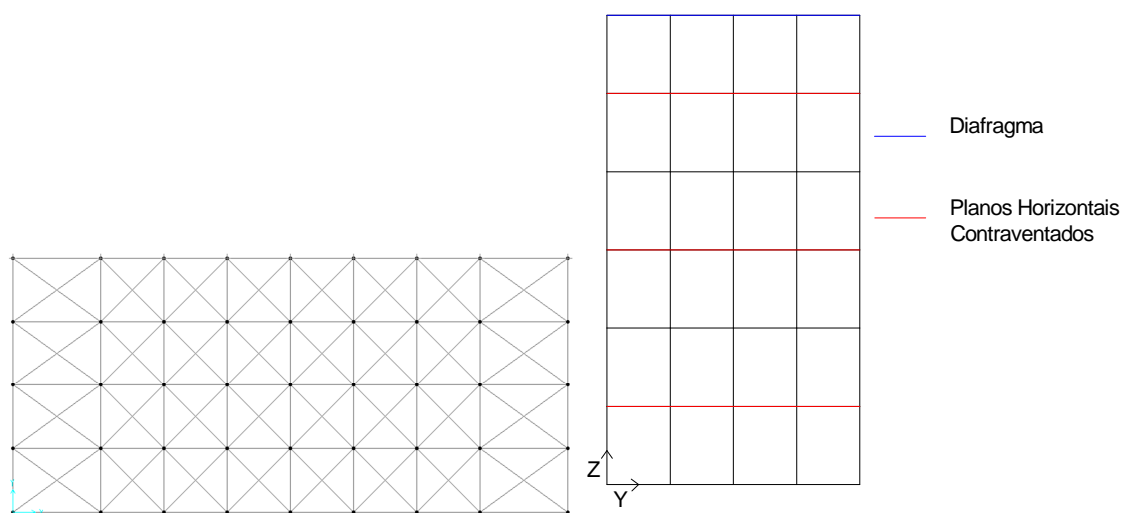


Figura 83 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 20 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	5,073	6,919	7,999	8,642	9,168
2x	0,403	0,559	0,677	0,738	0,786
2z	0,400	0,555	0,672	0,732	0,780
3x	0,420	0,583	0,704	0,766	0,816
3z	0,398	0,552	0,669	0,729	0,777

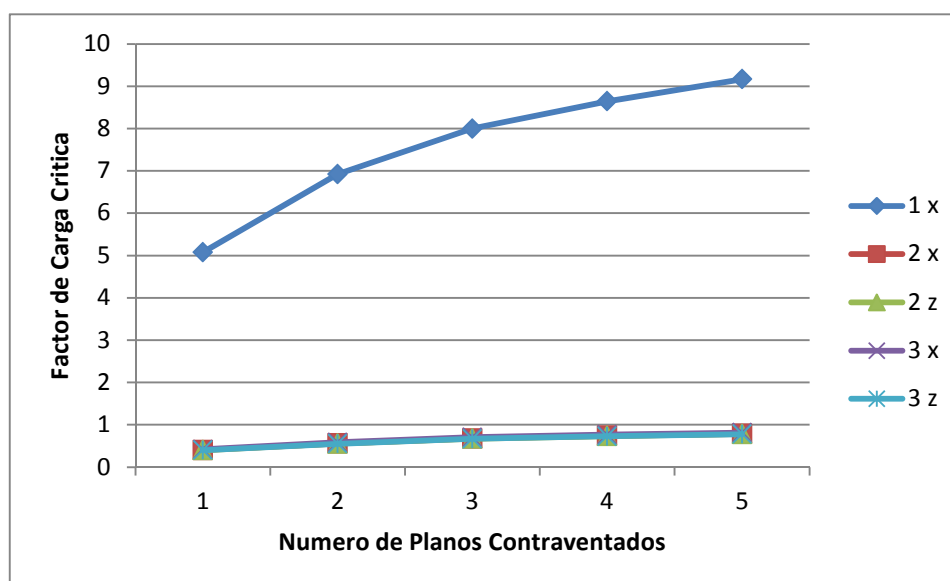


Figura 84 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 21 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,96	3,94	2,97	2,47	2,17
2x	13,98	12,08	11,24	11,03	10,98
2z	13,26	11,74	11,06	10,88	10,86
3x	19,02	14,48	12,79	12,14	11,82
3z	10,62	10,40	10,11	10,17	10,28

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais pequenas e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais grandes são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cimbra estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 13 mm.

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

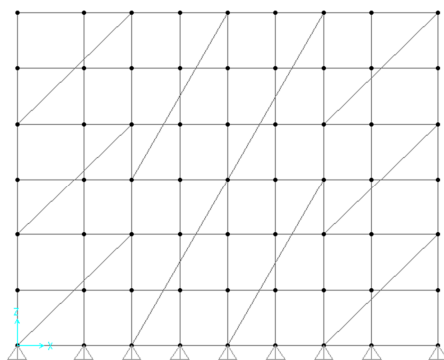


Figura 85 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

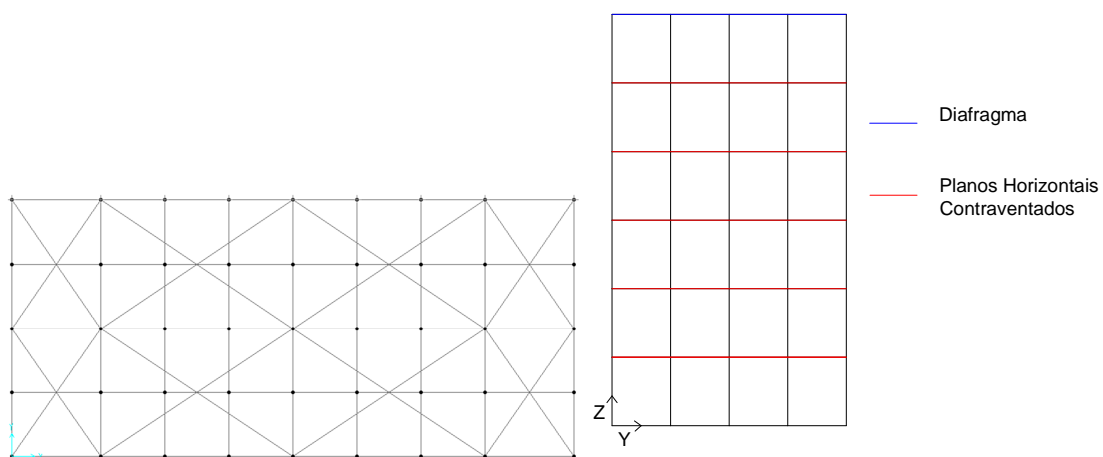


Figura 86 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 22 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	6,219	7,561	8,094	8,418	8,722
2x	0,585	0,640	0,683	0,714	0,741
2z	0,581	0,636	0,678	0,709	0,736
3x	0,607	0,666	0,710	0,742	0,770
3z	0,578	0,633	0,675	0,706	0,734

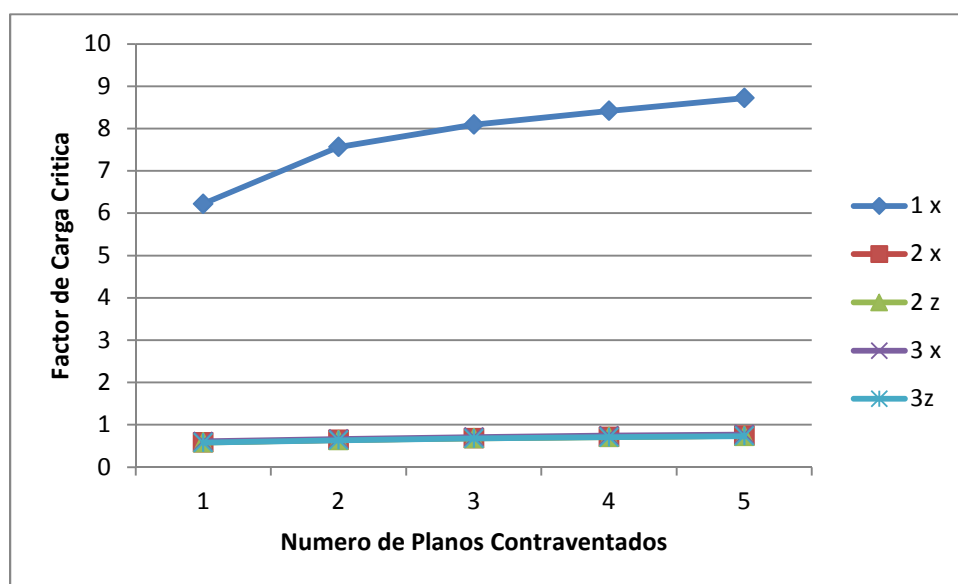


Figura 87 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 23 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,91	3,90	2,95	2,46	2,16
2x	13,97	12,04	11,23	11,02	10,96
2z	12,25	11,71	11,02	10,87	10,85
3x	18,97	14,41	12,77	12,12	10,80
3z	10,62	10,38	10,10	10,16	10,27

- VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

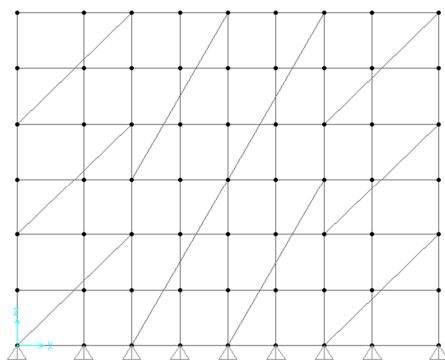


Figura 88 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

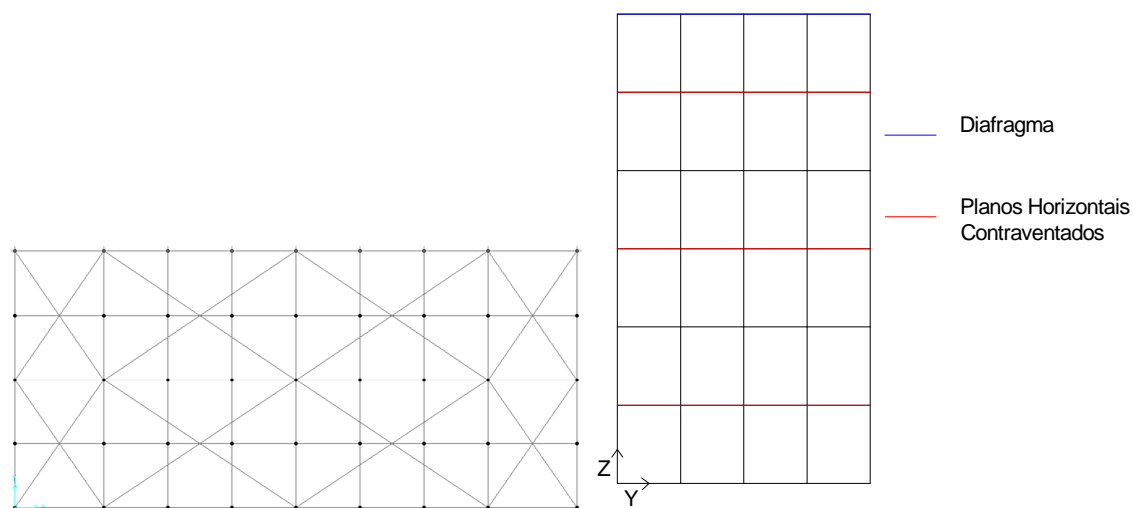


Figura 89 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 24 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	4,631	6,649	7,824	8,395	8,824
2x	0,334	0,518	0,616	0,686	0,736
2z	0,332	0,514	0,612	0,682	0,731
3x	0,369	0,540	0,642	0,714	0,765
3z	0,350	0,511	0,609	0,679	0,728

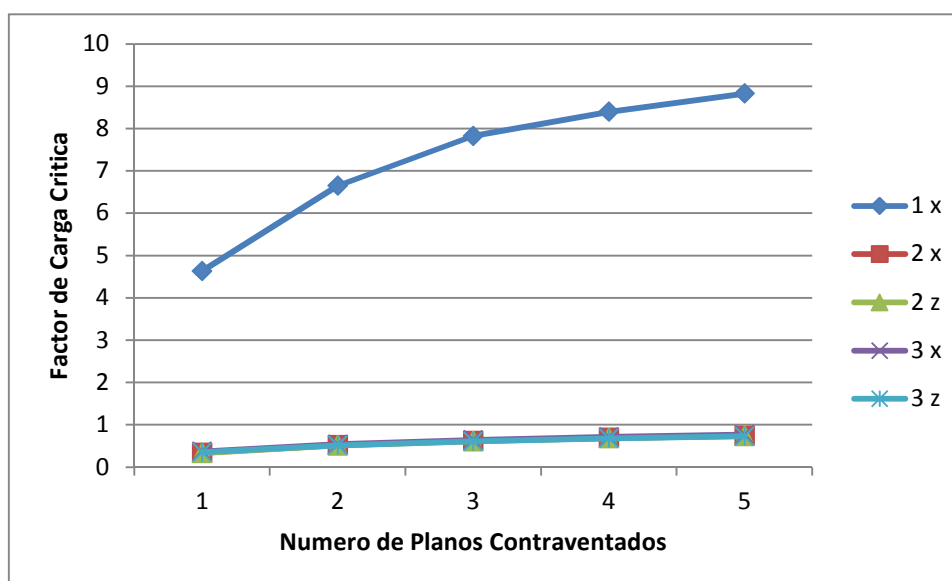


Figura 90 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 25 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	7,00	3,94	2,96	2,47	2,16
2x	14,00	12,09	11,24	11,03	10,97
2z	13,28	11,75	11,01	10,87	10,86
3x	19,09	14,50	12,80	12,14	11,81
3z	10,62	10,40	10,11	10,16	20,28

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais grandes são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cimbra estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

Quer no caso em que todos os planos horizontais estão contraventados quer no caso em que os planos de contraventamento são alternados, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 19 mm.

IX. Comentário aos resultados obtidos

Depois de todas as análises às diferentes configurações de contraventamentos de um cimbra ao solo contínuo com 9m de altura para um vão de 20 m pode dizer-se que a opção mais adequada seria a analisada no ponto III, relativo ao contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados, nomeadamente usando 3 planos verticais contraventados. De todas as soluções apresentadas anteriormente esta será a mais eficiente uma vez que o número de elementos utilizados no contraventamento é menor do que o necessário se forem utilizados 5 planos verticais contraventados e o factor de carga crítica, de aproximadamente 1,2, ainda que reduzido,

encontra-se próximo do melhor resultado obtido nas opções de contraventamento estudadas para um vão de 20 m e com 9 m de altura que é de aproximadamente 1,4.

De acordo com o que está definido no *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, numa possível utilização deste cimbra num caso real deve ser feita uma análise rigorosa em que sejam considerados os efeitos de segunda ordem.

É importante referir que existe uma redução significativa nos valores dos factores de carga crítica quando o contraventamento dos planos horizontais é feito de uma forma alternada. O motivo para tal redução deve-se ao facto do contraventamento horizontal ser fundamental para controlar o efeito de encurvadura nos prumos da estrutura do cimbra, revelando-se assim importante que todos os planos horizontais sejam contraventados.

Os valores dos factores de carga crítica apresentam-se sempre elevados para o caso de carga 1x. Isto acontece pois, como descrito em 3.2, os valores das acções verticais actuantes no cimbra, devido a este caso de carga são muito reduzidos.

Apesar de no caso do referido estudo o contraventamento vertical ter sido modelado para apenas responder a acções horizontais com um determinado sentido, na montagem do cimbra, numa situação real, o contraventamento deve ser disposto em cruz, para desta forma o cimbra poder resistir a acções horizontais nos dois sentidos. O contraventamento vertical neste estudo apenas se apresenta modelado desta forma para que os valores obtidos fossem mais conservativos. Contudo, em anexo encontram-se os valores para o factor de carga crítica obtido para as mesmas opções de contraventamento mas considerando no modelo que o contraventamento vertical é em cruz. Tal como se pode verificar nesses anexos, os valores para os factores de carga crítica são próximos dos apresentados neste ponto do estudo, não existindo nenhum valor mínimo mais elevado que seja superior a 2,079.

3.4.3.2. Cimbra ao Solo Contínuo Com 18 m de Altura Para Um Vão de 20 m

Seguidamente apresentam-se os valores dos factores de carga crítica obtidos, utilizando o programa de cálculo estrutural referido, para as diferentes opções de contraventamento dos planos verticais e horizontais.

Nas tabelas seguintes entenda-se ctv como abreviatura de contraventamento.

- I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

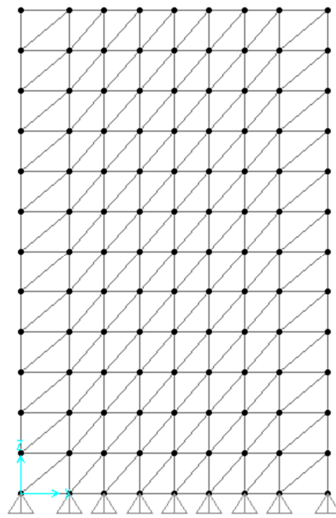


Figura 91 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

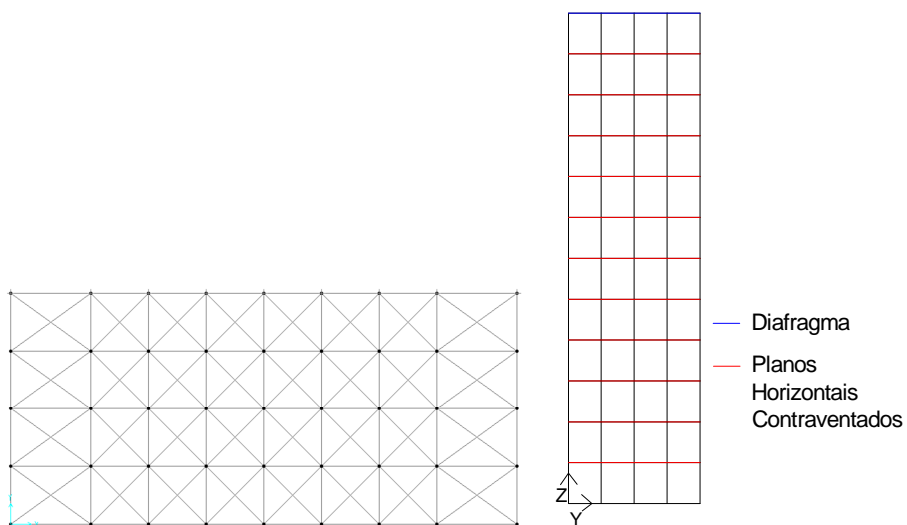


Figura 92 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 26 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,516	4,936	5,116	5,397	5,623
2x	0,662	0,678	0,662	0,676	0,674
2z	0,658	0,673	0,658	0,672	0,672
3x	0,695	0,706	0,692	0,689	0,687
3z	0,656	0,672	0,659	0,672	0,680

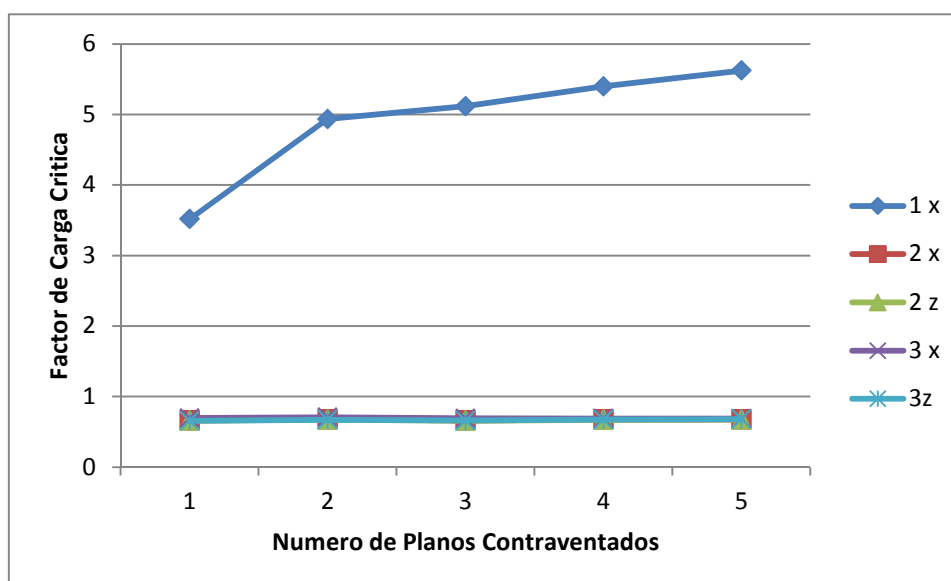


Figura 93 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 27 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	12,03	7,86	6,52	5,86	5,47
2x	40,01	36,45	34,74	34,48	34,53
2z	38,89	35,91	34,40	34,23	34,34
3x	45,53	38,94	36,29	35,52	35,26
3z	33,70	33,04	32,26	32,45	32,79

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

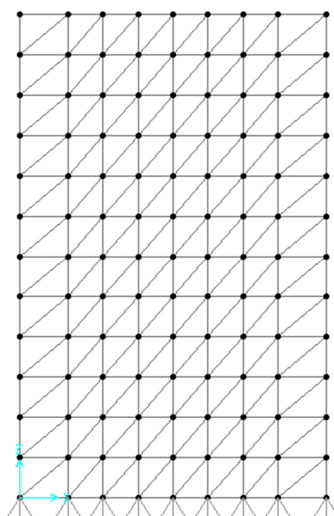


Figura 94 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

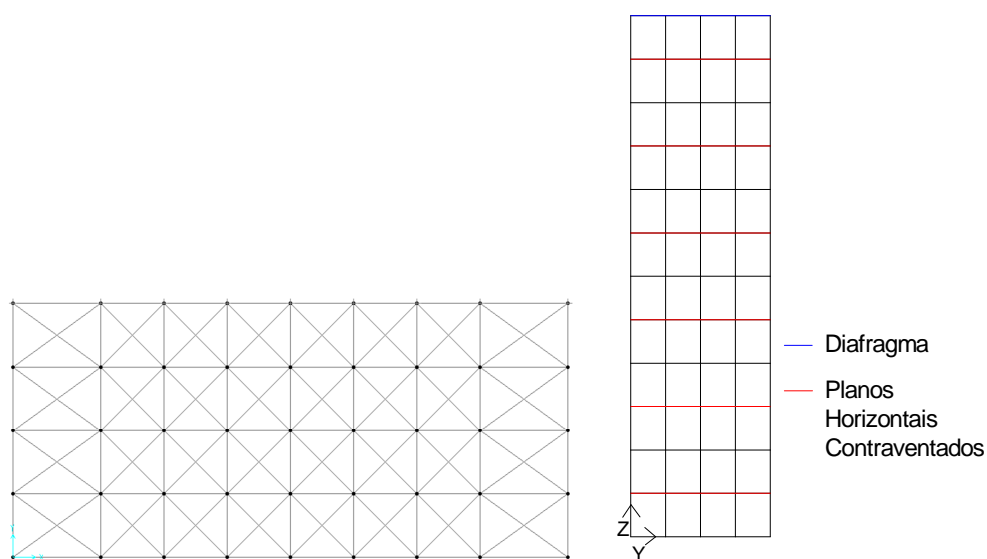


Figura 95 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 28 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	3,513	3,910	4,995	5,321	5,689
2x	0,241	0,256	0,339	0,374	0,653
2z	0,239	0,254	0,336	0,372	0,649
3x	0,254	0,269	0,356	0,393	0,679
3z	0,237	0,251	0,334	0,369	0,648

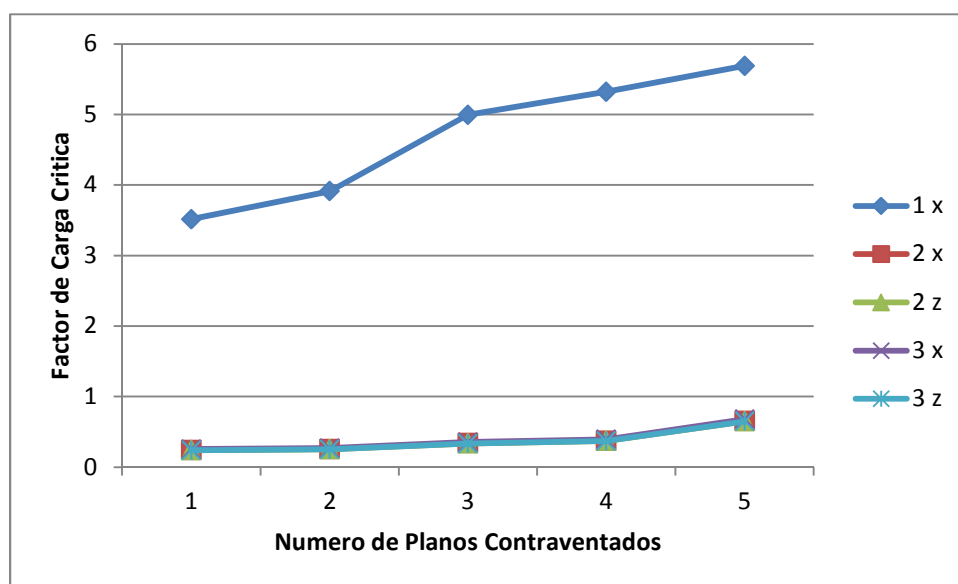


Figura 96 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 29 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	12,16	7,89	6,51	5,84	5,43
2x	39,96	36,35	34,64	34,39	34,46
2z	38,82	35,81	34,29	34,14	34,27
3x	45,63	38,92	36,23	35,47	35,20
3z	33,54	32,89	32,13	32,35	32,71

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais pequenas são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cimbra estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 45 mm.

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

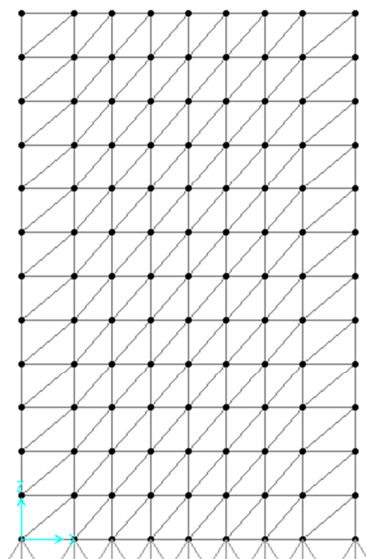


Figura 97 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

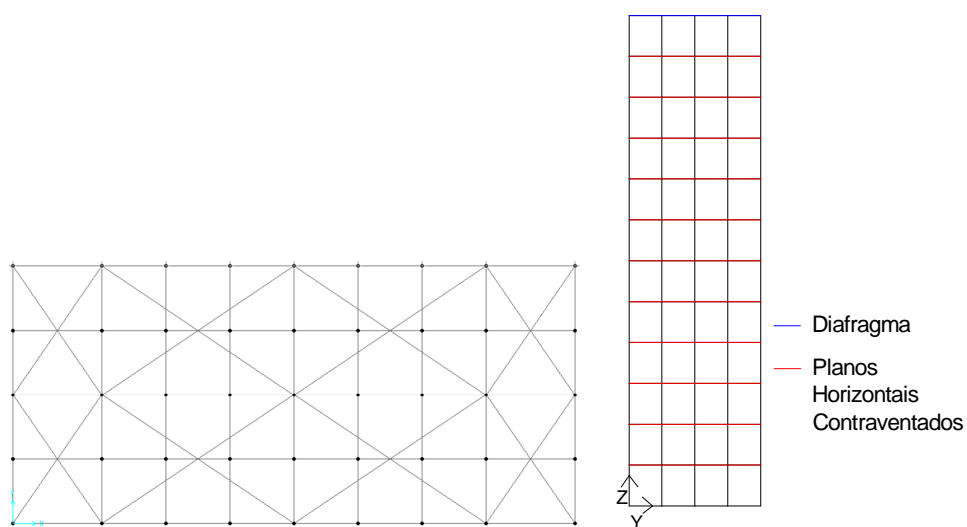


Figura 98 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 30 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	2,740	3,925	4,229	4,448	4,637
2x	0,430	0,438	0,437	0,442	0,446
2z	0,428	0,435	0,434	0,439	0,446
3x	0,450	0,459	0,459	0,464	0,468
3z	0,428	0,435	0,434	0,439	0,444

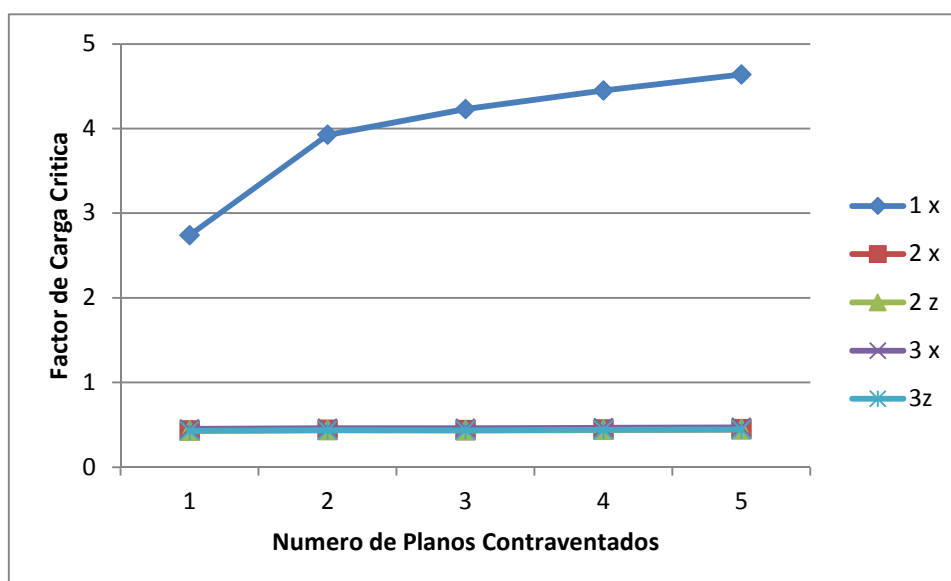


Figura 99 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 31 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	15,12	9,83	8,07	7,25	6,74
2x	51,2	46,54	44,22	43,92	44,06
2z	49,86	45,92	43,83	43,63	43,85
3x	58,35	49,81	46,24	45,30	45,02
3z	43,34	42,29	41,15	41,40	41,90

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

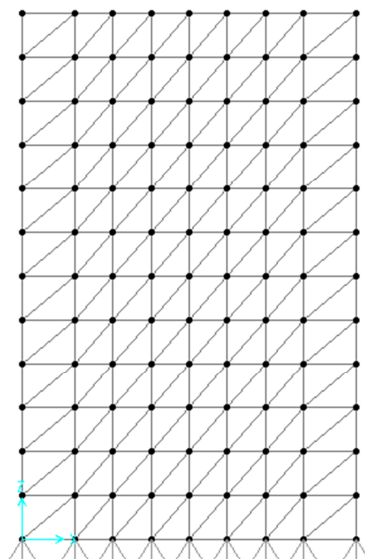


Figura 100 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

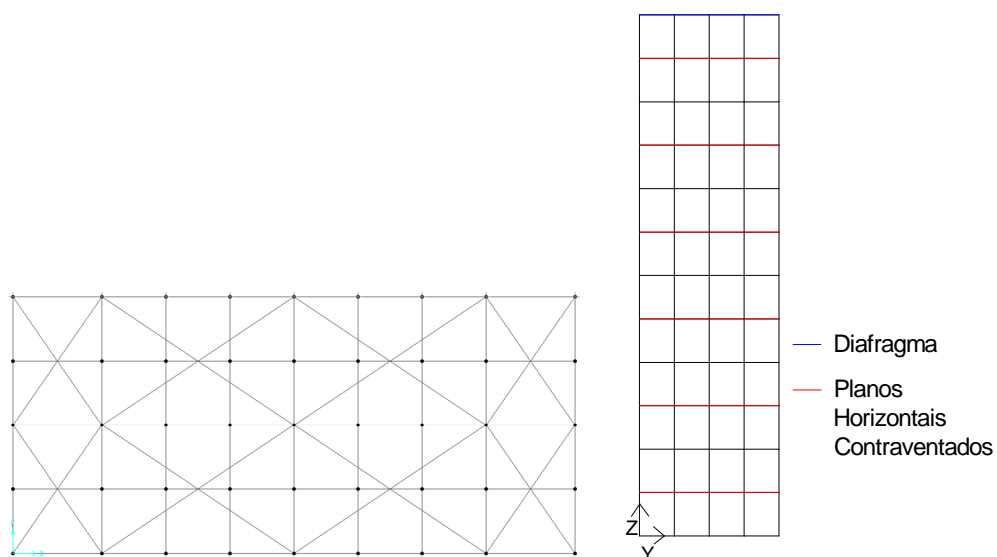


Figura 101 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 32 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	2,498	2,818	3,292	3,840	4,639
2x	0,152	0,173	0,207	0,250	0,446
2z	0,151	0,172	0,205	0,248	0,443
3x	0,161	0,183	0,218	0,262	0,468
3z	0,150	0,170	0,204	0,246	0,444

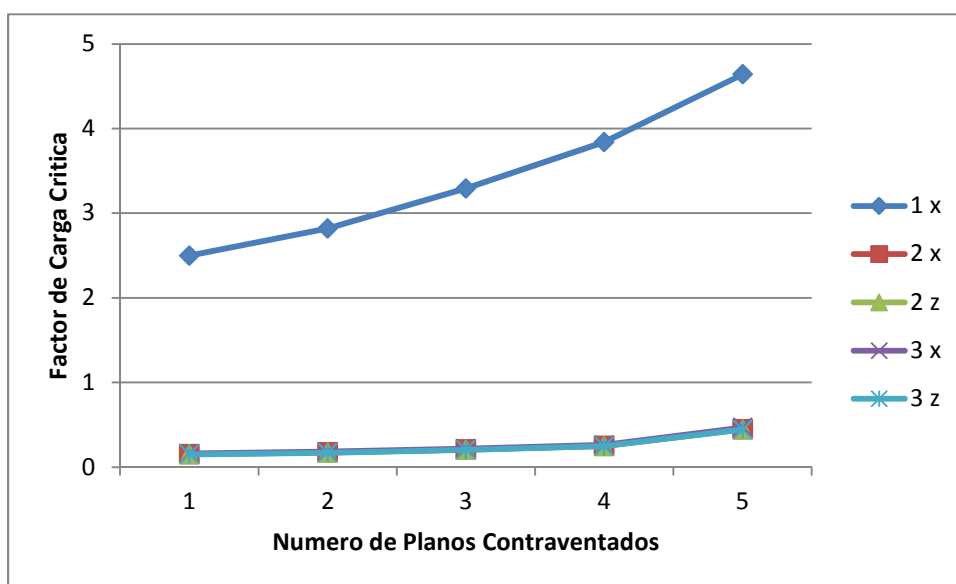


Figura 102 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 33 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	15,30	9,90	8,10	7,25	6,73
2x	51,10	46,43	44,12	43,84	44,00
2z	49,73	45,79	43,71	43,55	43,79
3x	58,52	49,77	46,18	45,25	44,98
3z	43,11	42,11	41,01	41,30	41,84

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais grandes e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais pequenas são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cembre estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 58 mm

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

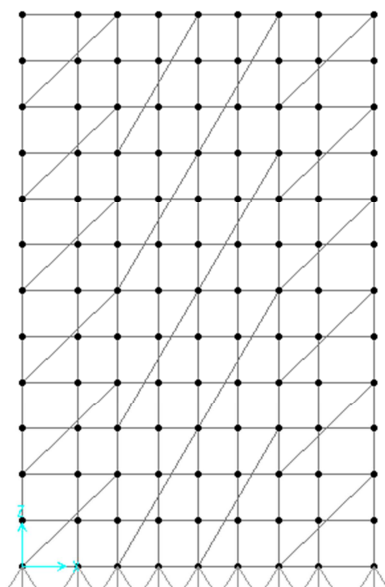
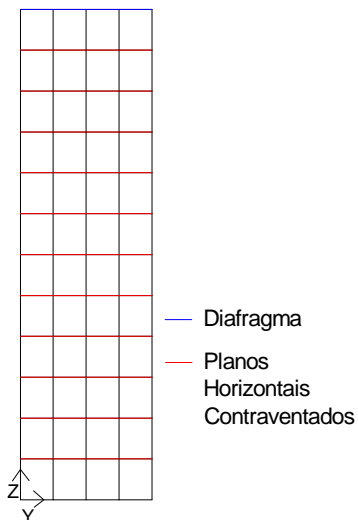
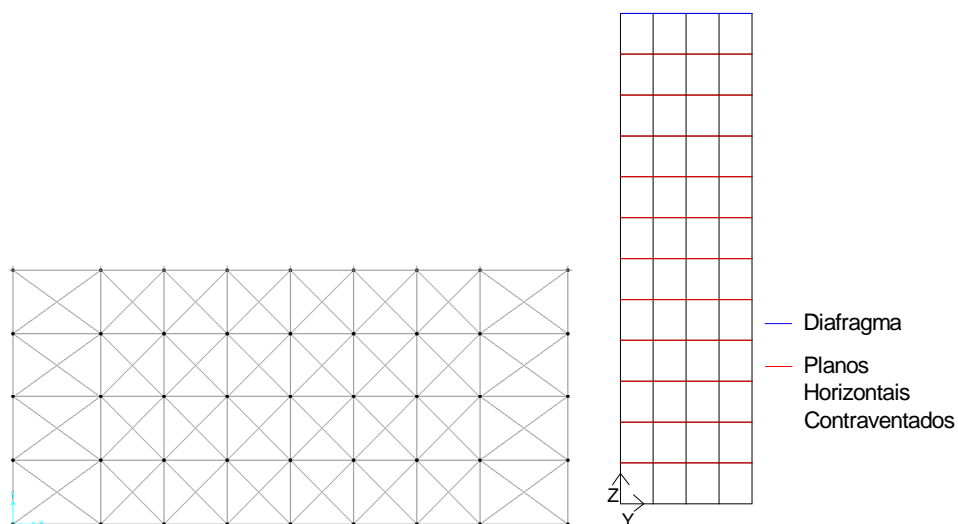


Figura 103 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes



— Diafragma
 — Planos Horizontais Contraventados

Figura 104 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 34 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	2,744	4,483	4,487	4,481	4,467
2x	0,475	0,456	0,460	0,462	0,463
2z	0,472	0,453	0,457	0,459	0,460
3x	0,492	0,472	0,476	0,478	0,479
3z	0,470	0,451	0,455	0,456	0,458

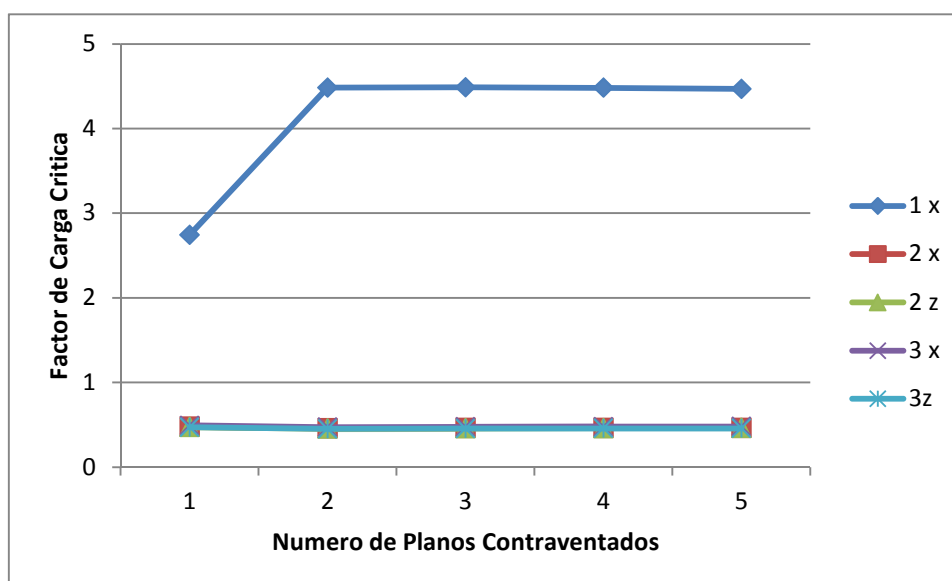


Figura 105 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 35 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	21,21	12,53	9,77	8,33	7,43
2x	38,51	33,22	31,04	30,62	30,36
2z	35,98	31,92	30,14	29,92	29,79
3x	53,79	41,02	36,46	34,78	33,71
3z	27,88	27,55	26,99	27,35	27,61

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

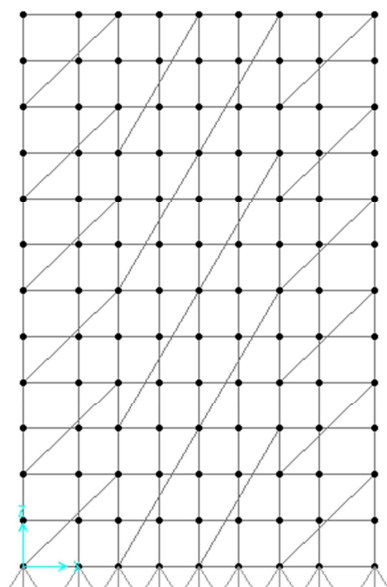


Figura 106 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

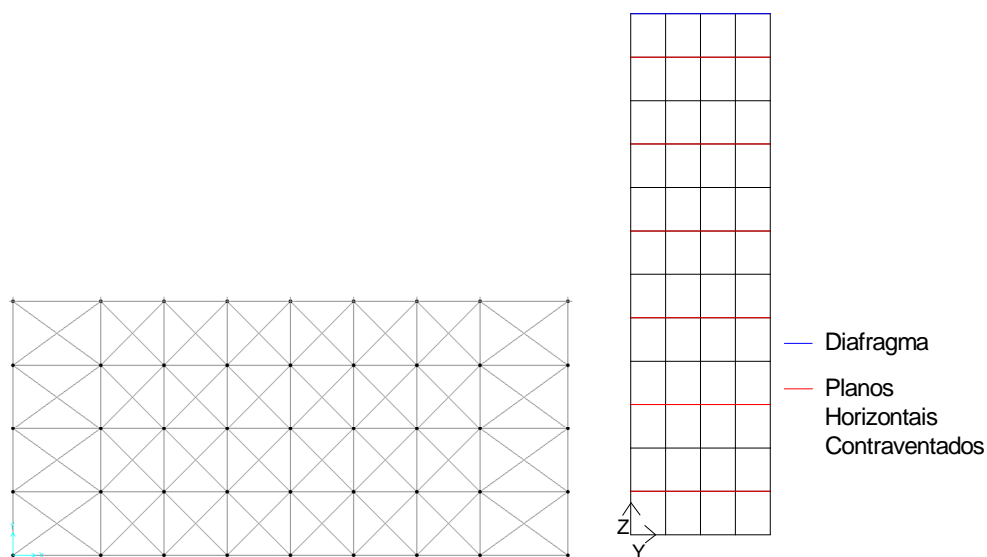


Figura 107 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 36 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	2,793	4,260	4,480	4,137	4,400
2x	0,306	0,369	0,483	0,390	0,414
2z	0,304	0,366	0,479	0,387	0,412
3x	0,319	0,386	0,503	0,406	0,431
3z	0,302	0,363	0,477	0,386	0,410

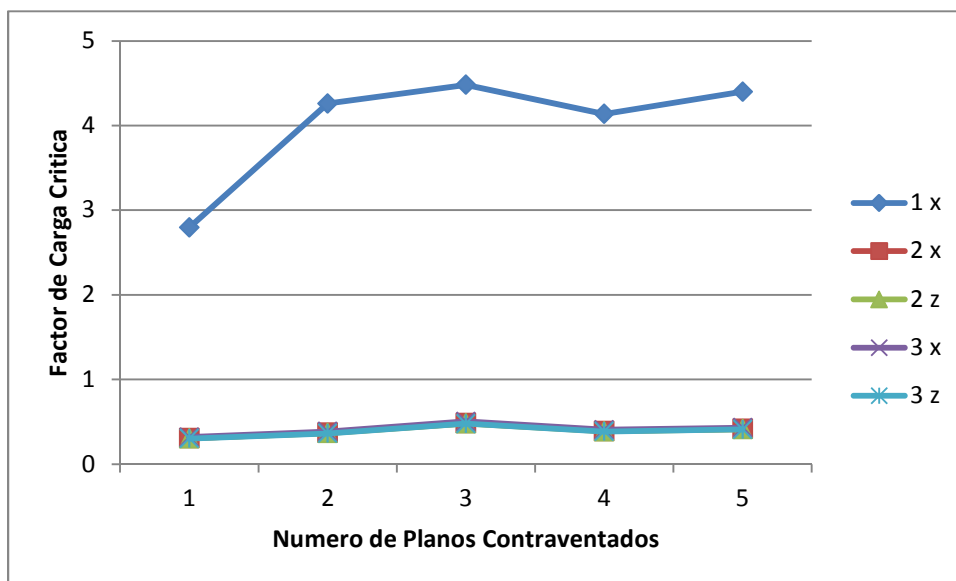


Figura 108 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 37 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	21,88	12,78	9,89	8,38	7,45
2x	39,00	33,42	31,31	30,65	30,38
2z	36,36	32,08	30,39	29,94	29,81
3x	54,91	41,49	36,89	34,91	33,82
3z	27,97	22,58	27,15	27,34	27,59

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais pequenas e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais grandes são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cembre estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 55 mm

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

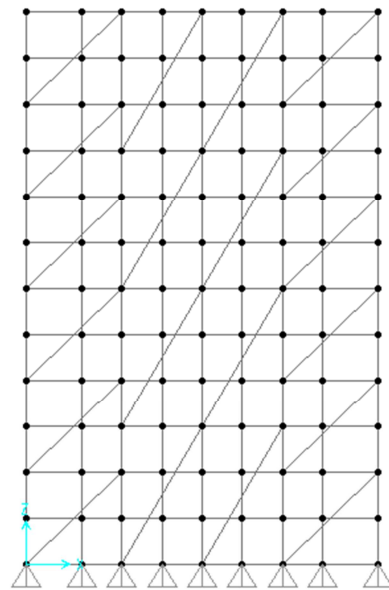


Figura 109 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

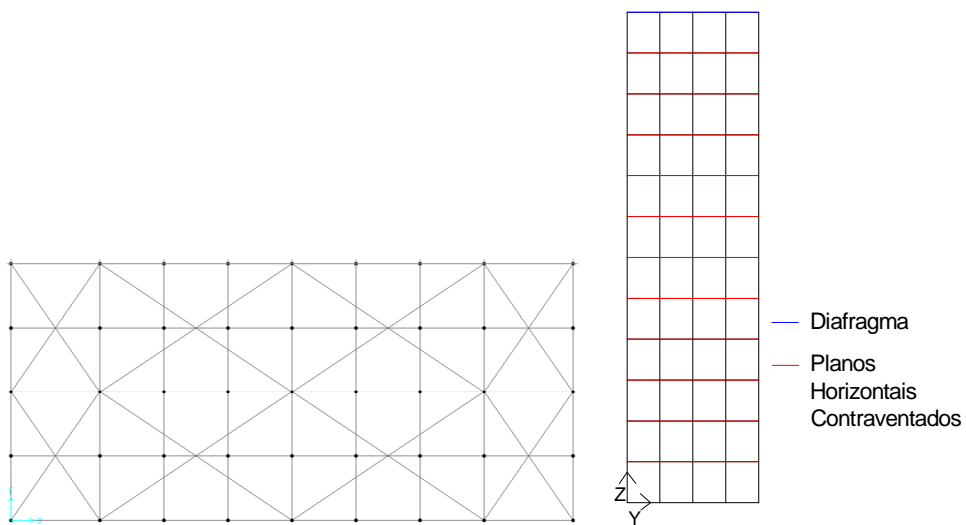


Figura 110 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 38 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	4,172	4,091	4,609	5,052	5,399
2x	0,402	0,490	0,522	0,546	0,567
2z	0,399	0,486	0,519	0,542	0,563
3x	0,418	0,508	0,541	0,566	0,587
3z	0,397	0,484	0,516	0,540	0,560

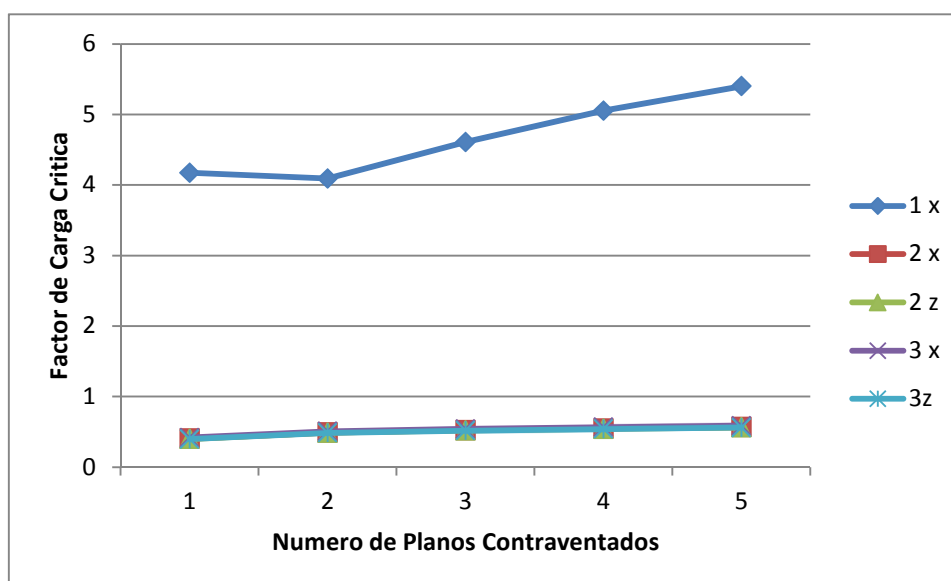


Figura 111 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 39 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	21,62	12,63	9,81	8,33	7,41
2x	38,93	33,34	31,31	30,65	30,37
2z	36,33	32,02	30,38	29,93	29,79
3x	54,63	41,29	36,82	34,87	33,79
3z	28,03	27,58	27,16	27,34	27,59

- VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

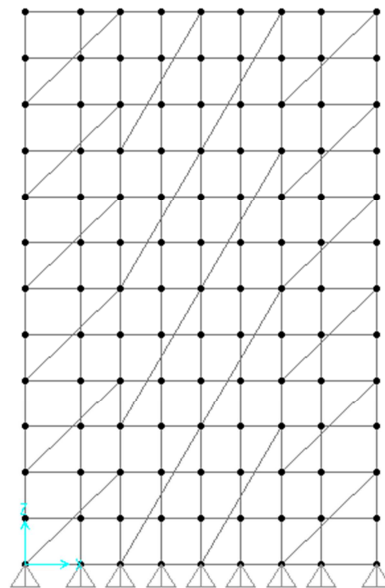


Figura 112 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

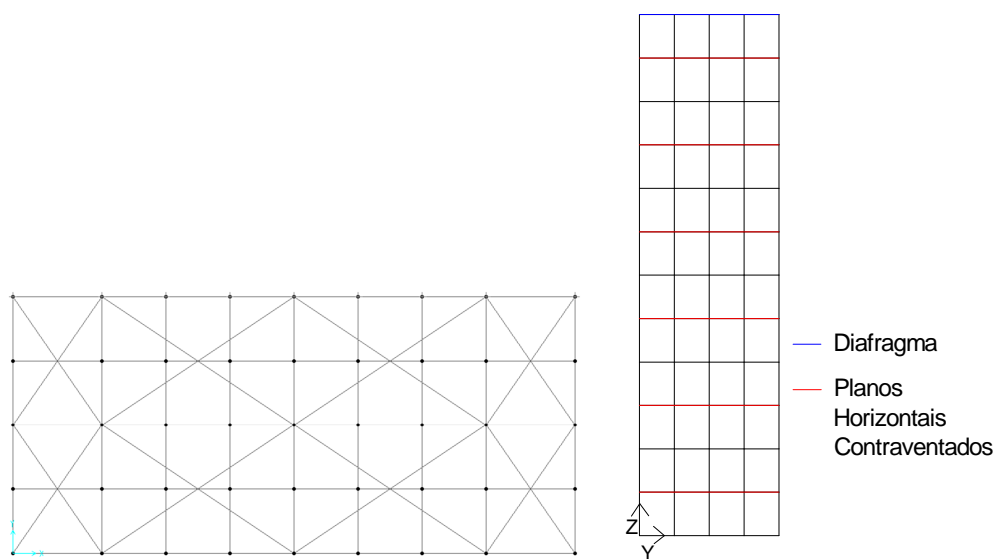


Figura 113 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 40 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	2,662	3,336	4,694	5,119	5,459
2x	0,268	0,266	0,392	0,457	0,560
2z	0,266	0,294	0,389	0,454	0,556
3x	0,280	0,308	0,408	0,476	0,581
3z	0,280	0,293	0,387	0,452	0,554

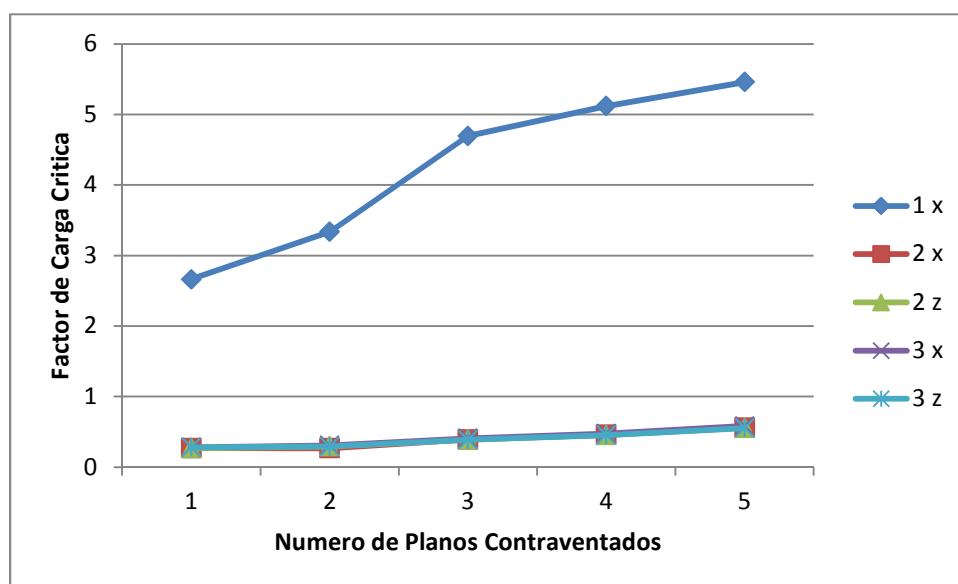


Figura 114 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 41 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	21,99	12,79	9,87	8,34	7,40
2x	39,09	33,42	31,30	30,63	30,25
2z	36,44	31,08	30,37	29,92	29,77
3x	55,14	41,54	36,91	34,91	33,79
3z	27,99	27,56	27,12	27,31	27,56

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais grandes são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cimbra estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 55 mm

IX. Comentário aos resultados obtidos

Depois de todas as análises às diferentes configurações de contraventamentos de um cimbra ao solo contínuo com 18 m de altura para um vão de 20 m pode dizer-se este tipo de cimbra, independentemente da opção de contraventamento escolhida, não resiste à acção das cargas que lhe estão aplicadas, visto que o factor de carga crítica de valor mínimo mais elevado em nenhuma das opções de contraventamento é superior a 1.

Assim sendo, para a construção de um viaduto com um vão de 20 m e com uma altura ao solo de aproximadamente 18 m teria de se escolher um cimbra com uma configuração diferente. Teria de existir um afastamento menor entre os prumos e teria de ser analisada a melhor solução de contraventamento aplicável.

3.4.3.3. Cimbra ao Solo Contínuo Com 9 m de Altura Para Um Vão de 40 m

Seguidamente apresentam-se os valores dos factores de carga crítica obtidos, utilizando o programa de cálculo estrutural referido, para as diferentes opções de contraventamento dos planos verticais e horizontais.

Nas tabelas seguintes entenda-se ctv como abreviatura de contraventamento.

- I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

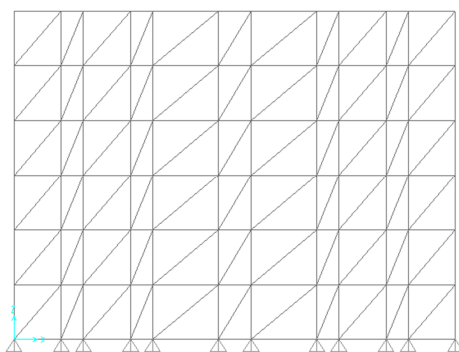


Figura 115 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

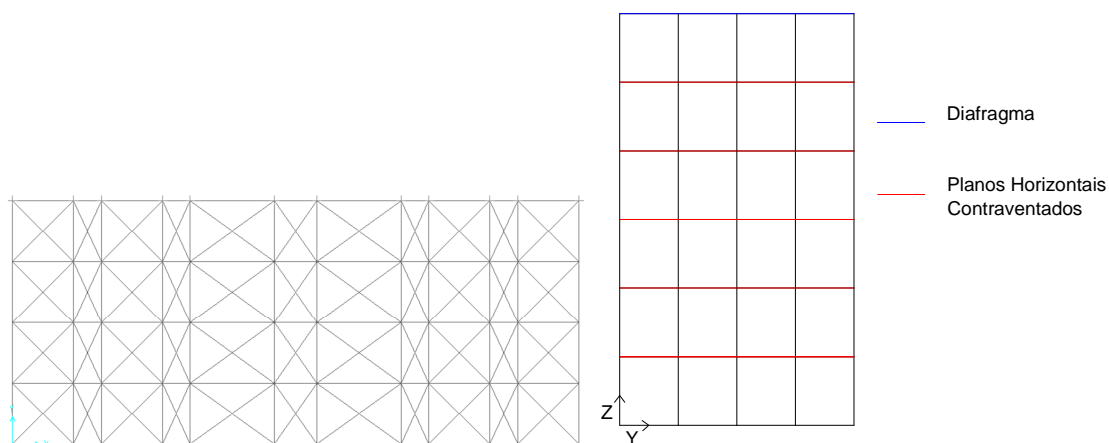


Figura 116 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 42 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	9,596	14,460	15,598	16,824	17,882
2x	3,070	3,075	3,019	2,904	2,966
2z	3,060	3,061	3,005	2,970	2,952
3x	2,807	3,118	3,064	3,028	3,014
3z	3,065	3,057	3,001	2,967	2,947

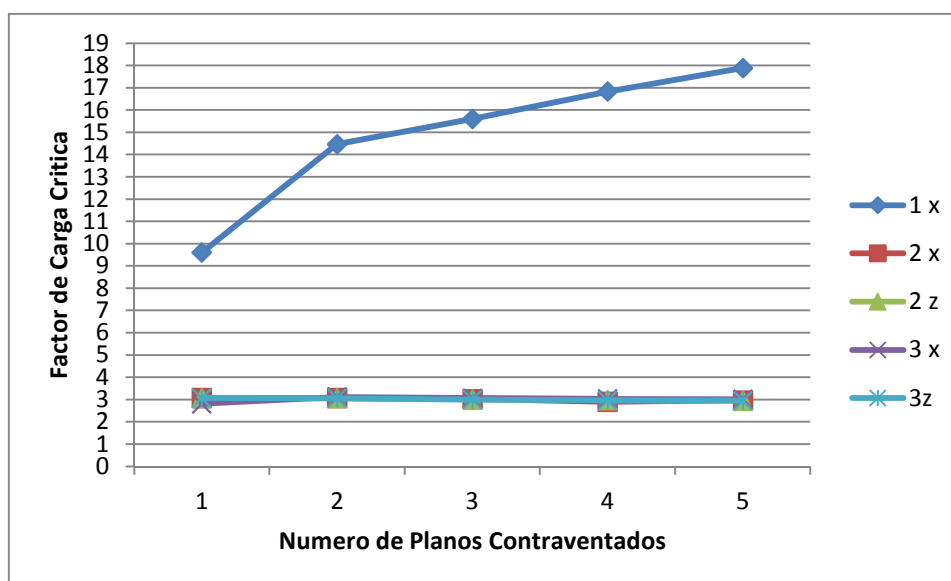


Figura 117 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 43 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,22	1,91	1,50	1,29	1,17
2x	7,17	6,08	5,64	5,48	5,39
2z	6,87	5,95	5,55	5,42	5,34
3x	8,85	6,89	6,17	5,87	5,69
3z	5,23	5,12	4,99	4,98	5,00

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

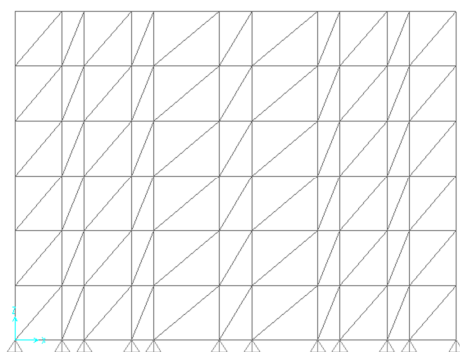


Figura 118 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

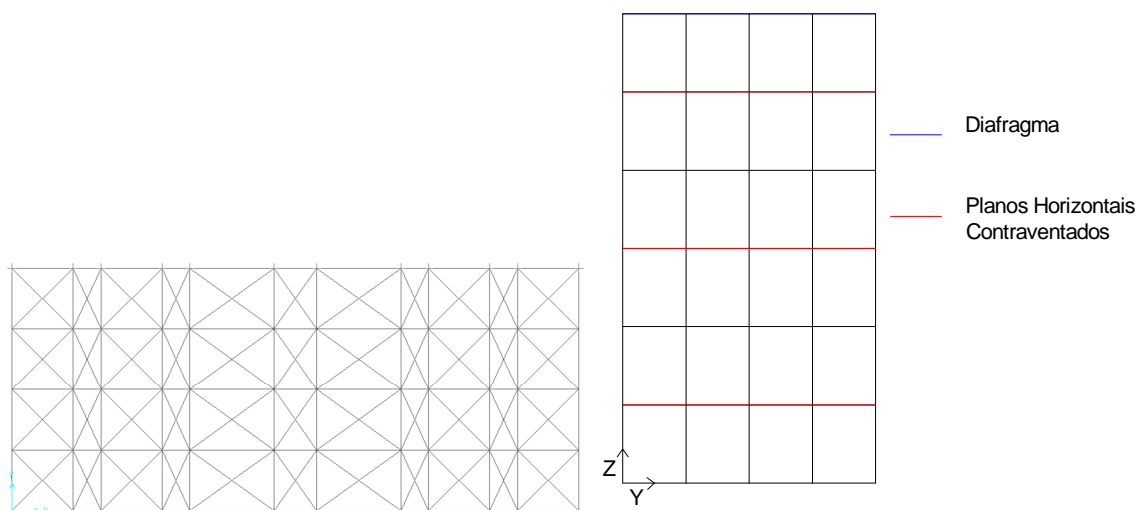


Figura 119 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 44 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	9,801	14,637	15,845	17,084	18,080
2x	1,148	1,512	1,683	1,693	2,821
2z	1,407	1,502	1,673	1,682	2,807
3x	1,462	1,558	1,726	1,737	2,868
3z	1,389	1,484	1,660	1,668	2,802

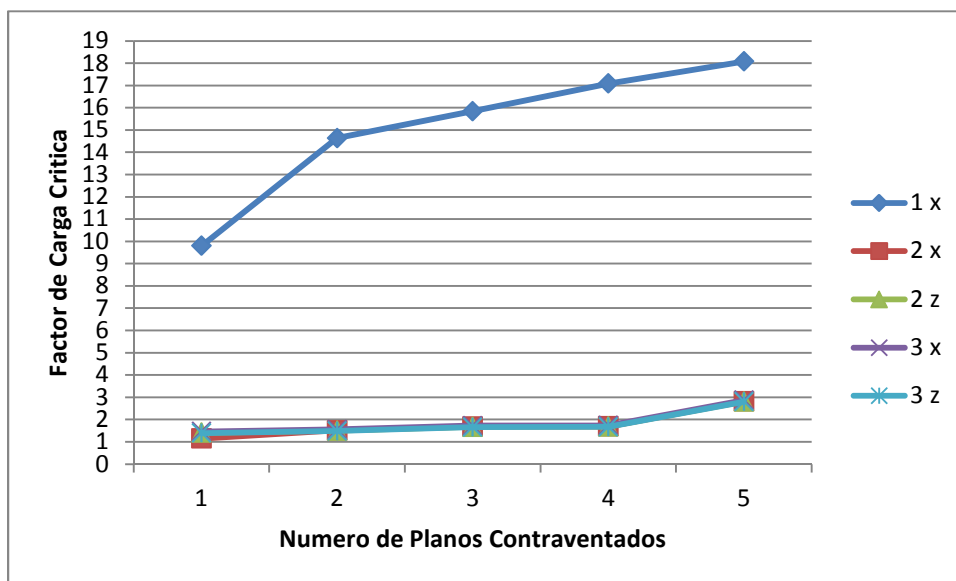


Figura 120 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 45 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,25	1,92	1,50	1,29	1,56
2x	7,19	6,08	5,63	5,47	5,39
2z	6,88	5,94	5,54	5,41	5,34
3x	8,90	6,90	6,17	5,87	5,69
3z	5,21	5,10	4,96	4,97	4,98

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais são executados com diagonais pequenas não são tão reduzidos como os analisados anteriormente. O valor mínimo mais elevado que se obtém quando todos os planos verticais estão contraventados é de 2,947, o que significa que a estrutura do cembre para essa configuração de contraventamento resiste a cargas aproximadamente 3 vezes superiores do que as actuaes. No entanto verifica-se que para esta configuração de contraventamento, mesmo que só se tenha um plano vertical contraventado obtém-se valores muito próximos do melhor resultado. Contudo, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem.

Quando os contraventamentos horizontais são feitos alternadamente, de 3 m em 3 m, verifica-se que os valores dos factores de carga crítica são sempre superiores a 1. Caso todos os cinco planos verticais estejam contraventados obtém-se mesmo um resultado semelhante ao obtido quando todos os planos horizontais se encontram contraventados.

É interessante referir que os valores do factor de carga crítica obtidos quando o contraventamento vertical é feito com os elementos em cruz, valores apresentados em anexo, são inferiores aos obtidos nesta análise.

Nas duas opções de contraventamento verifica-se que os deslocamentos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo o valor máximo de aproximadamente 8,9 mm

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

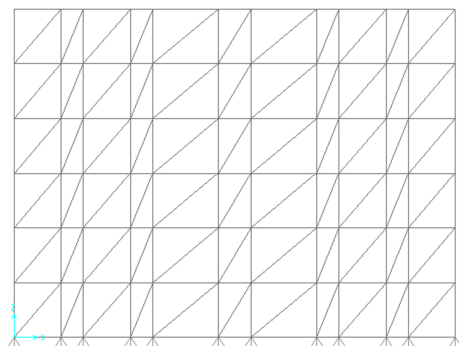


Figura 121 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

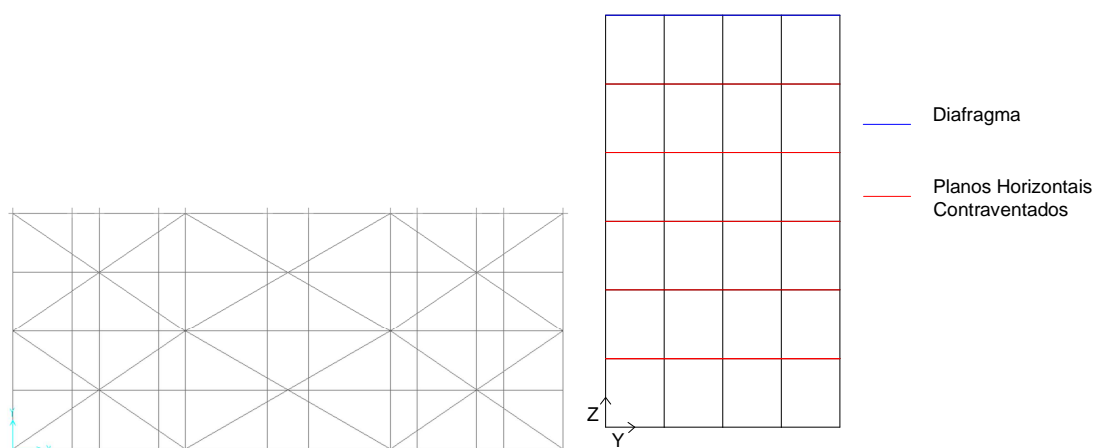


Figura 122 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 46 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	9,049	12,065	14,966	16,359	17,156
2x	1,794	1,273	1,849	2,138	2,143
2z	1,785	1,265	1,839	2,128	2,133
3x	1,840	1,319	1,904	2,181	2,187
3z	1,794	1,263	1,837	2,127	2,132

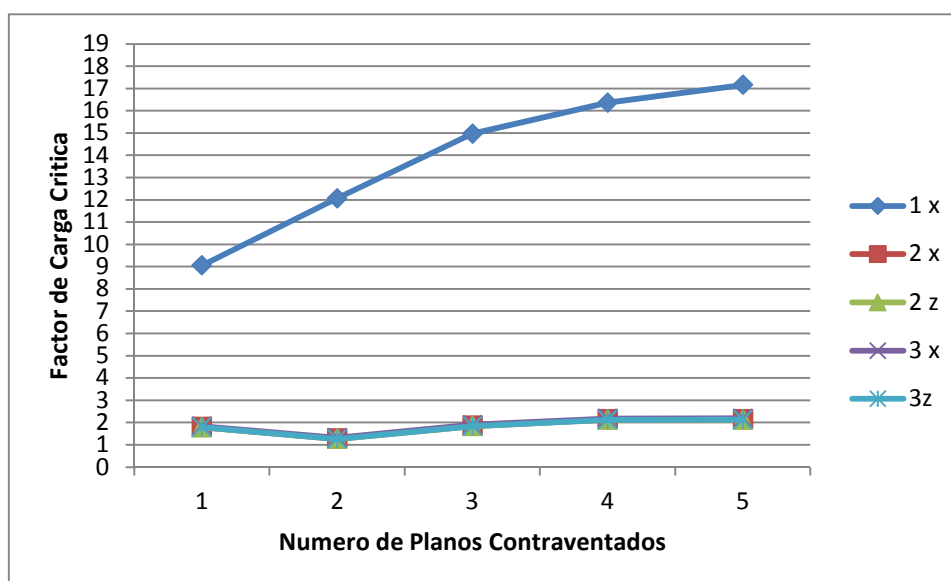


Figura 123 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 47 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,31	2,13	1,55	1,29	1,16
2x	9,55	10,88	7,16	5,92	5,80
2z	9,26	10,78	7,08	5,86	5,76
3x	10,65	10,96	7,43	6,28	6,07
3z	7,14	9,48	6,34	5,40	5,39

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

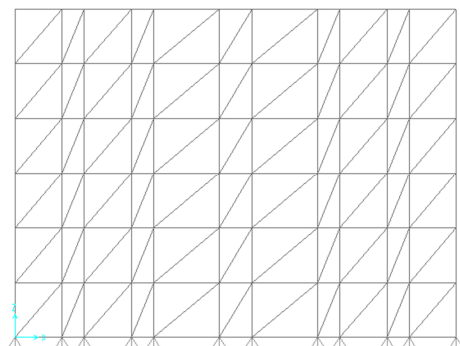


Figura 124 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

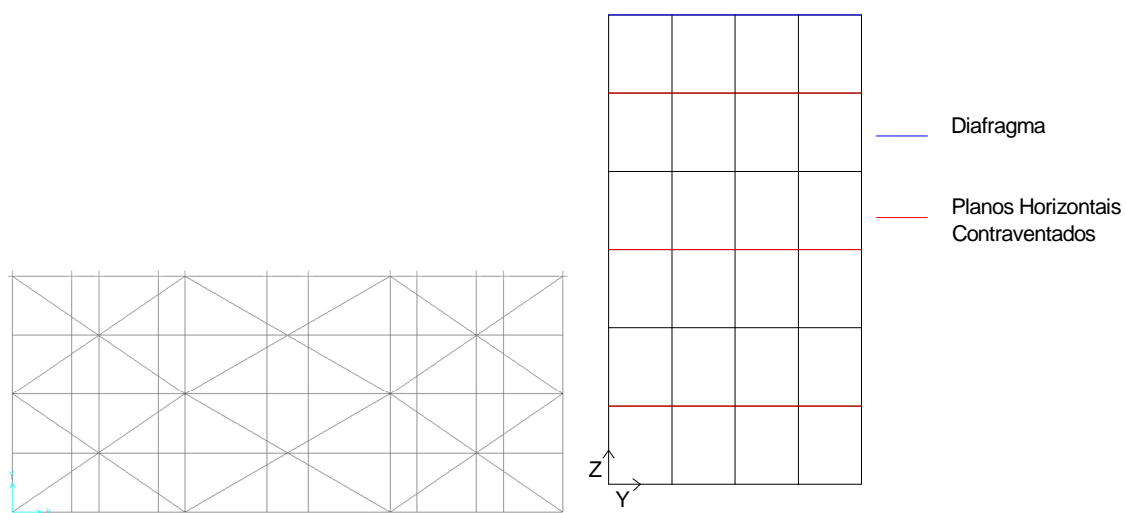


Figura 125 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 48 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	9,222	8,311	12,734	13,656	17,279
2x	0,940	0,624	1,140	1,355	2,143
2z	0,933	0,619	1,132	1,347	2,133
3x	0,974	0,654	1,178	1,392	2,187
3z	0,924	0,618	1,124	1,336	2,132

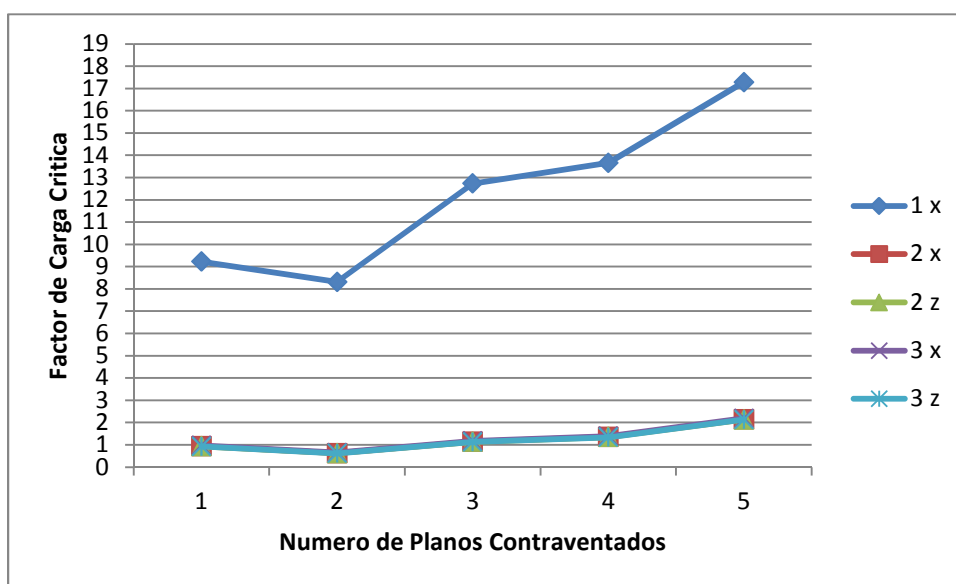


Figura 126 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 49 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,35	2,23	1,55	1,29	1,60
2x	9,56	13,37	7,16	5,92	5,80
2z	9,27	13,28	7,08	5,86	5,75
3x	10,69	12,68	7,44	6,28	6,07
3z	7,12	11,37	6,33	5,40	5,38

Quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais grandes e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais pequenas o valor mínimo mais elevado que se obtém quando todos os planos verticais estão contraventados é de 2,133, o que significa que a estrutura do cembre para essa configuração de contraventamento resiste a cargas aproximadamente 2,1 vezes superiores às actuaes. Contudo, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem.

É interessante referir que a maioria dos valores do factor de carga crítica obtidos quando o contraventamento vertical é feito com os elementos em cruz, valores esses apresentados em anexo, são inferiores aos obtidos nesta análise praticamente para todas as configurações de contraventamento.

Nas duas opções de contraventamento verifica-se que os deslocamentos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo o valor máximo de aproximadamente 10 mm

O valor obtido para o factor de carga crítica no caso em que todos os planos horizontais e três verticais são contraventados é de 1,84, sendo, assim, este valor relativamente próximo do máximo obtido. Desta forma pode dizer-se que essa solução de contraventamento pode ser tida em conta uma vez que, como utiliza menos elementos de contraventamento, é mais económica.

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

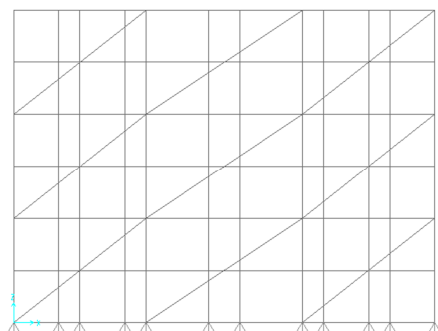


Figura 127 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

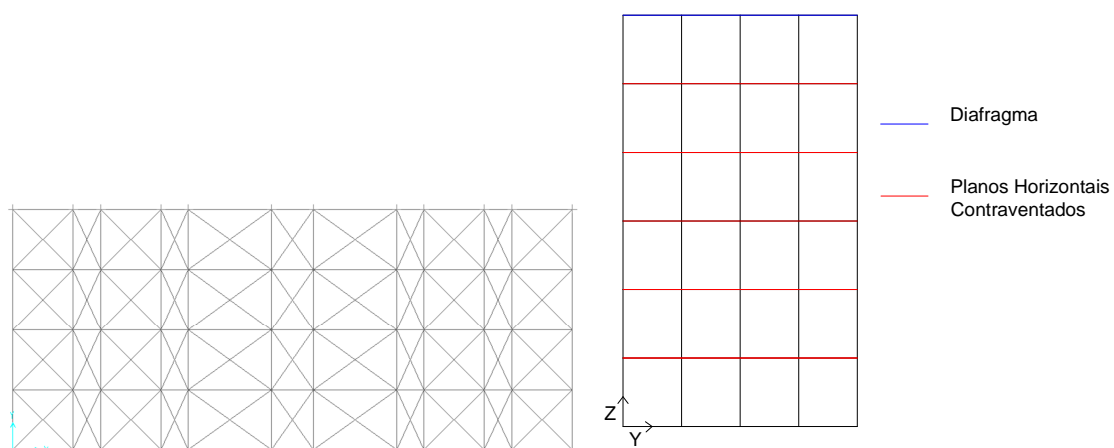


Figura 128 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 50 - Valores de Factores de Carga Crítica

Caso de Carga	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	8,451	12,646	12,902	14,092	15,253
2x	2,682	2,650	2,573	2,570	2,575
2z	2,663	2,636	2,575	2,568	2,570
3x	2,470	2,700	2,552	2,571	2,596
3z	2,620	2,614	2,614	2,603	2,596

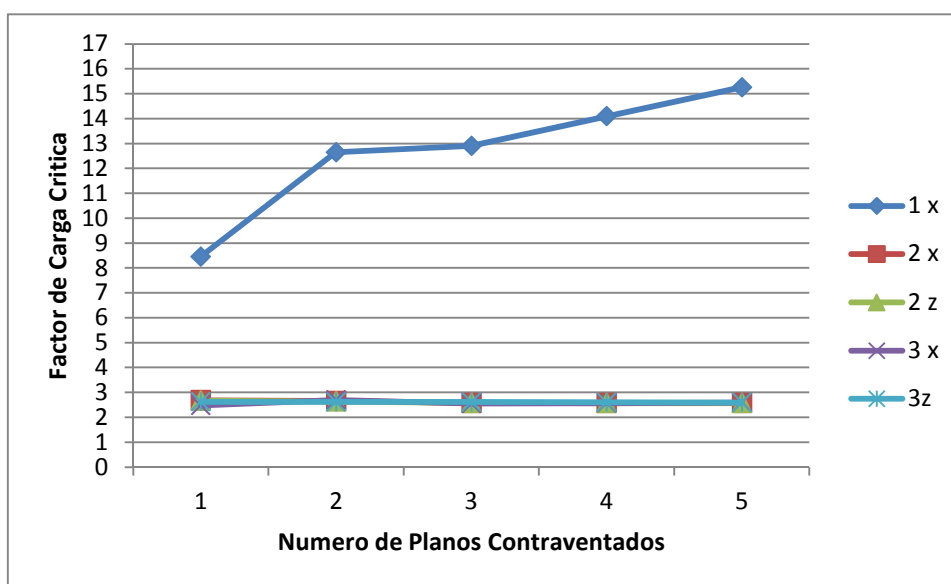


Figura 129 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 51 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,08	3,31	2,42	1,95	1,66
2x	8,06	5,82	5,08	4,70	4,44
2z	7,38	5,48	4,85	4,53	4,31
3x	11,45	7,51	6,22	5,56	5,13
3z	3,42	3,47	3,46	3,47	3,45

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

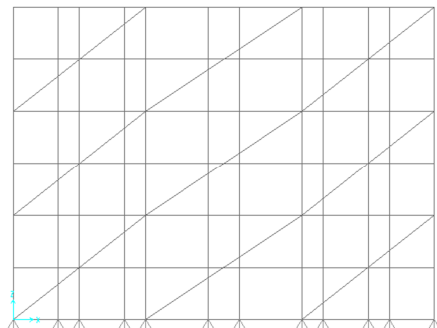


Figura 130 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

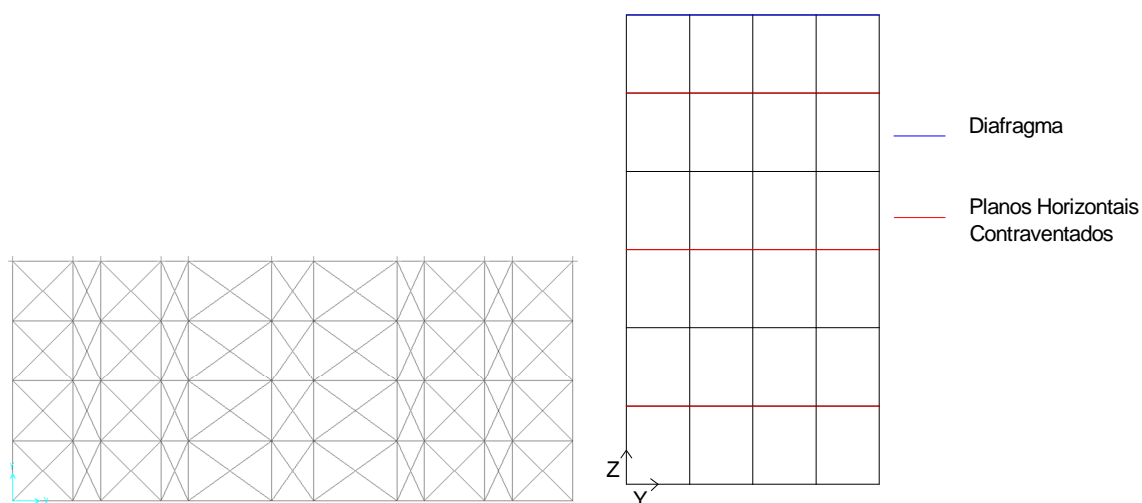


Figura 131 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 52 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	8,713	13,671	13,498	14,443	15,471
2x	1,241	1,320	1,499	1,516	2,525
2z	1,229	1,308	1,486	1,503	2,515
3x	1,296	1,378	1,560	1,578	2,559
3z	1,202	1,280	1,456	1,473	2,512

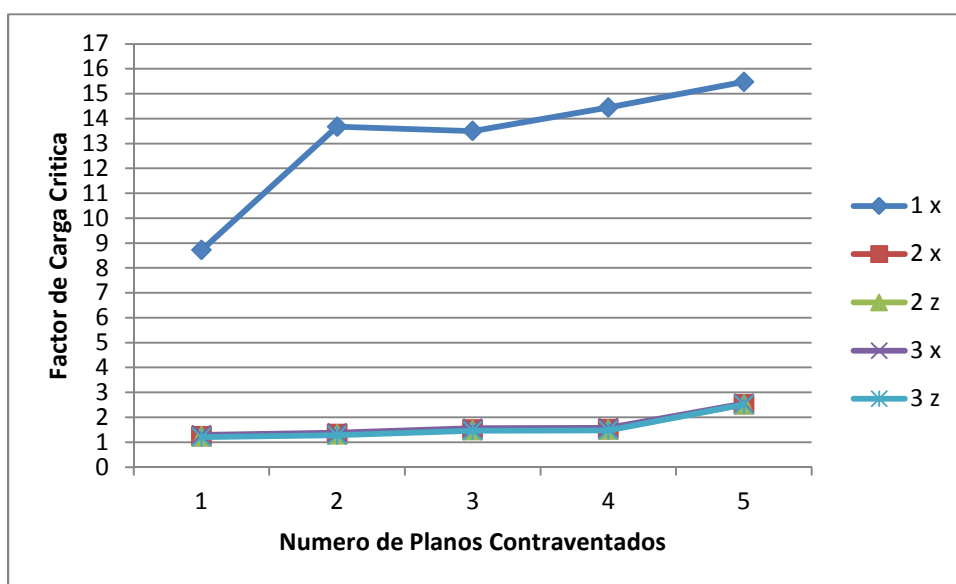


Figura 132 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 53 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,53	3,50	2,50	1,99	1,68
2x	8,40	5,94	5,15	4,72	4,45
2z	7,65	5,57	4,88	4,54	4,31
3x	12,06	7,75	6,32	5,61	5,15
3z	3,38	3,43	3,43	3,44	3,43

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais pequenas e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais grandes são de aproximadamente 2,5 nos casos em que todos os planos horizontais são contraventados. Esse valor parece razoável uma vez que significa que o valor das cargas pode ser aumentado 2,5 vezes ao das cargas actuautes até a estrutura colapsar. No entanto, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem.

De referir ainda que nas duas opções de contraventamento os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 12 mm.

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

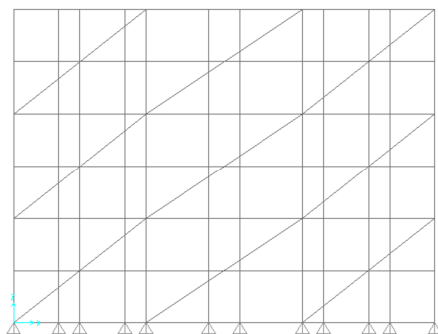


Figura 133 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

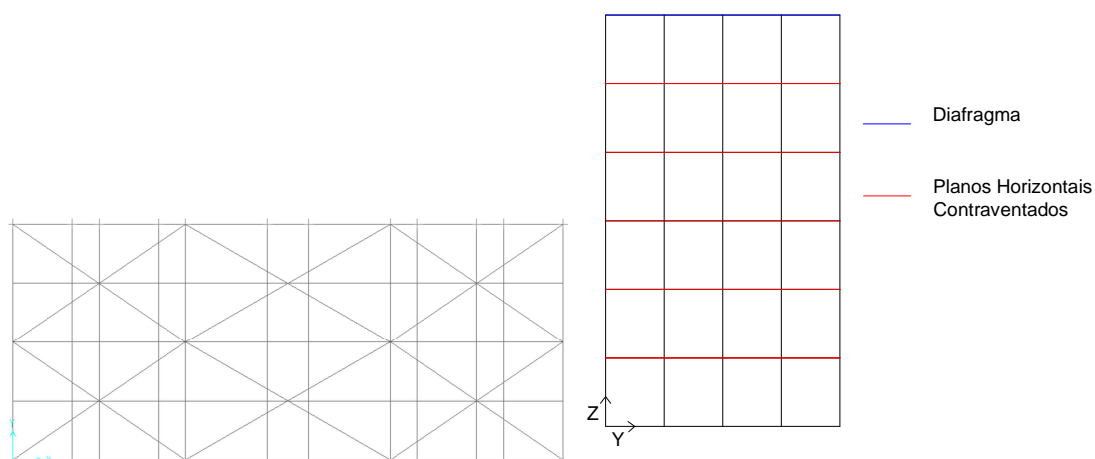


Figura 134 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 54 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	8,137	12,202	12,863	13,910	14,881
2x	2,276	2,280	2,291	2,288	2,285
2z	2,259	2,263	2,272	2,270	2,267
3x	2,320	2,356	2,373	2,369	2,363
3z	2,227	2,230	2,234	2,235	2,234

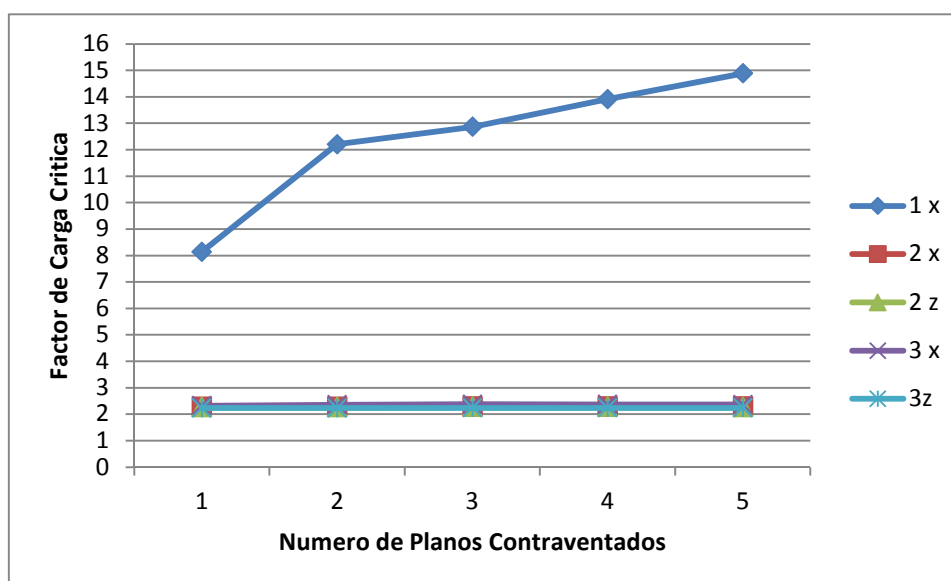


Figura 135 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 55 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,15	3,37	2,42	1,95	1,65
2x	8,13	5,87	5,08	4,70	4,44
2z	7,43	5,52	4,85	4,53	4,30
3x	11,56	7,60	6,22	5,57	5,12
3z	3,43	3,45	3,45	3,46	3,44

VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

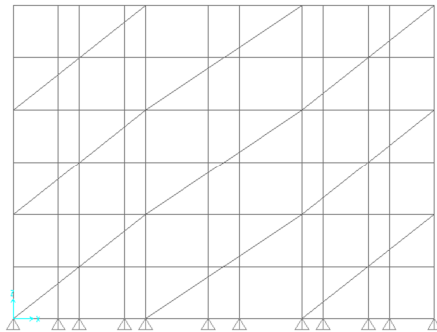


Figura 136 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

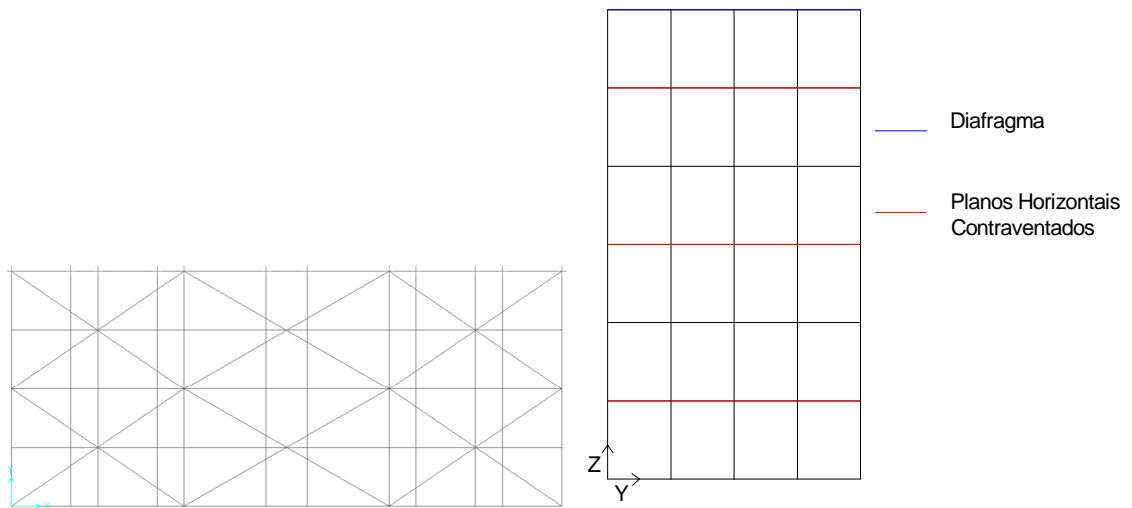


Figura 137 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 56 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	8,259	12,942	13,392	14,250	15,125
2x	1,053	1,140	1,300	1,256	2,287
2z	1,043	1,129	1,289	1,245	2,270
3x	1,100	1,190	1,353	1,308	2,366
3z	1,020	1,106	1,263	1,220	2,236

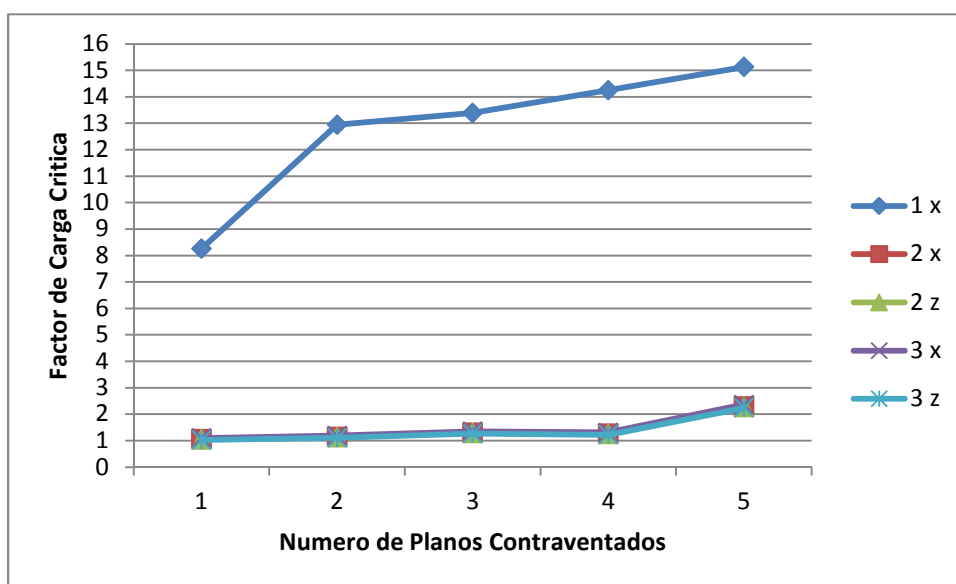


Figura 138 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 57 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	6,59	3,50	2,51	1,99	1,67
2x	8,44	5,94	5,13	4,72	4,45
2z	7,70	5,58	4,88	4,54	4,31
3x	12,15	7,78	6,33	5,61	5,15
3z	3,38	3,42	3,42	3,44	3,43

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais grandes nos casos em que também todos os planos horizontais estão contraventados têm sempre um valor próximo de 2,2 qualquer que seja a configuração do contraventamento. Este valor para os factores de carga crítica significa que a estrutura pode resistir a cargas aproximadamente 2,2 vezes superiores às actuaes. No entanto à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem. Já as configurações de contraventamentos nos casos em que os contraventamentos horizontais são feitos alternadamente, na sua maioria, apresentam valores de factores de carga crítica mais reduzidos e próximos de um.

Quer no caso em que todos os planos horizontais estão contraventados quer no caso em que os planos de contraventamento são alternados os deslocamentos máximos horizontais apresentam valores de aproximadamente 12 mm.

IX. Comentário aos resultados obtidos

Depois de todas as análises às diferentes configurações de contraventamentos de um cembre ao solo contínuo com 9m de altura para um vão de 40 m pode dizer-se que o cembre que apresenta um valor de factores de carga críticos mais elevados é a opção analisada no ponto I relativa ao Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados. Nessa opção de contraventamento os valores de factores de carga crítica obtidos são

de aproximadamente 3. No entanto essa configuração de cimbra é bastante onerosa uma vez que necessita de muitos elementos de contraventamento.

Uma solução que poderia ser adoptada era a do caso analisado em VII relativa ao Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados. Nesta solução o número de elementos de contraventamento a utilizar é bastante inferior, apresentando também valores para os factores de carga crítica bastante razoáveis de aproximadamente 2,2, valores esses que são relativamente próximos dos máximos conseguidos

De qualquer das formas, qualquer que fosse a solução adoptada, devido ao facto de em nenhuma das configurações de contraventamentos o valor do factor de carga critica ser superior a 3, de acordo com o que está definido no *EN 1993-1-1 [19]*, numa possível utilização deste cimbra num caso real, deverá ser feita uma análise rigorosa em que sejam considerados os efeitos de segunda ordem

Os valores dos factores de carga crítica apresentam-se sempre elevados para o caso de carga 1x. Isto acontece, pois como descrito em 3.2, os valores das acções verticais actuantes no cimbra devido a este caso de carga são muito reduzidos.

Apesar de, no caso do presente estudo, o contraventamento vertical ter sido modelado para apenas responder a acções horizontais com um determinado sentido, na montagem do cimbra, numa situação real, o contraventamento deve ser disposto em cruz, para desta forma o cimbra poder resistir a acções horizontais nos dois sentidos. O contraventamento vertical neste estudo apenas se apresenta modelado desta forma na tentativa de serem obtidos valores mais conservativos. No entanto, para esta configuração de cimbres os valores obtidos para os factores de carga crítica dos contraventamentos verticais em cruz apresentam na sua maioria valores inferiores. Os valores dos factores de carga critica para os casos em que os contraventamentos verticais são modelados em cruz encontram em anexo.

3.4.3.4. Cimbra ao Solo Contínuo Com 18 m de Altura Para Um Vão de 40 m

Seguidamente apresentam-se os valores dos factores de carga crítica obtidos, utilizando o programa de cálculo estrutural referido, para as diferentes opções de contraventamento dos planos verticais e horizontais.

Nas tabelas seguintes entenda-se ctv como abreviatura de contraventamento.

- I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

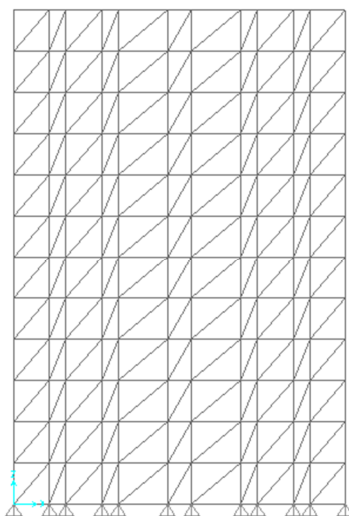


Figura 139 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

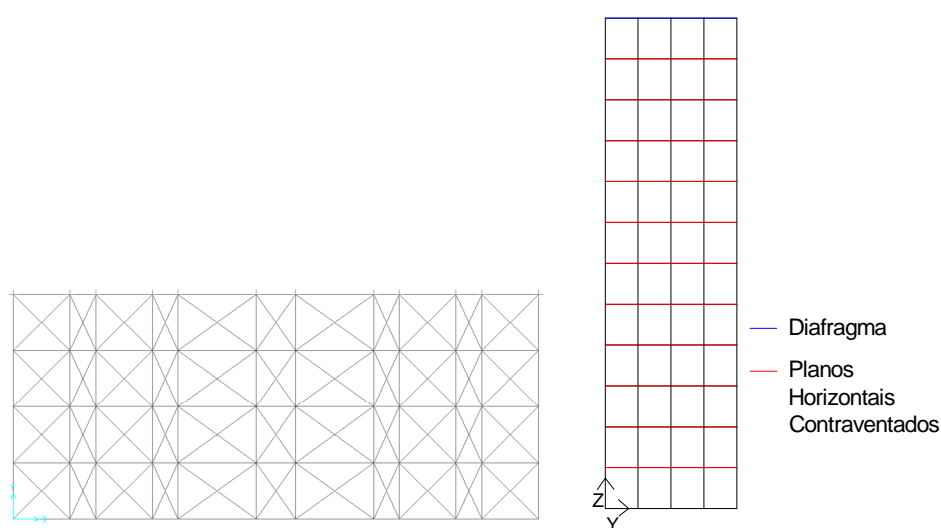


Figura 140 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 58 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	5,346	5,989	5,989	6,399	6,774
2x	0,977	0,989	1,007	1,023	1,027
2z	0,970	0,983	0,998	1,016	1,021
3x	1,007	1,014	1,044	1,050	1,050
3z	0,951	0,969	0,949	0,951	0,956

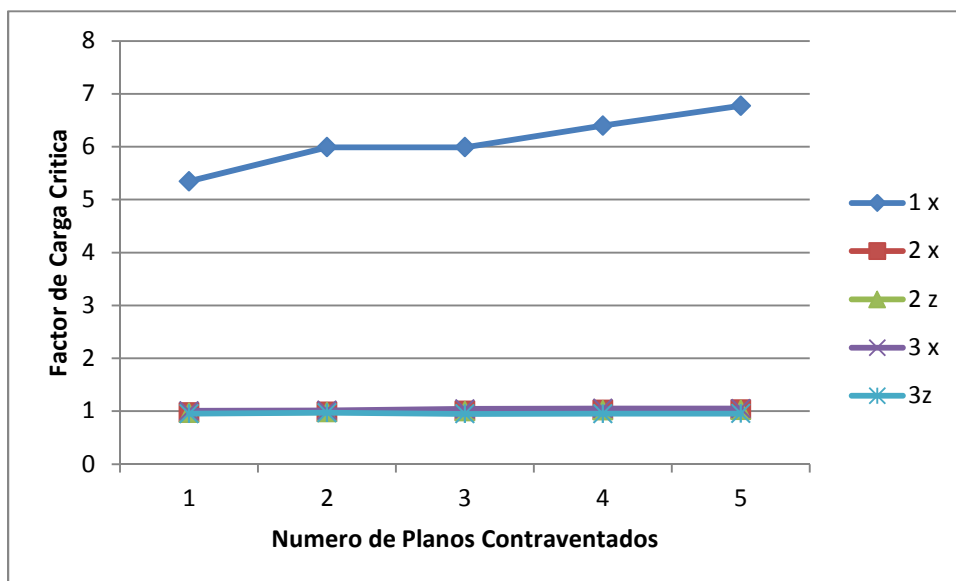


Figura 141 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 59 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	14,87	9,24	7,48	6,58	6,04
2x	37,69	32,14	29,67	29,04	28,88
2z	36,56	31,61	29,32	28,79	28,70
3x	44,29	35,36	31,88	30,69	30,17
3z	28,34	27,34	26,26	26,39	26,72

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

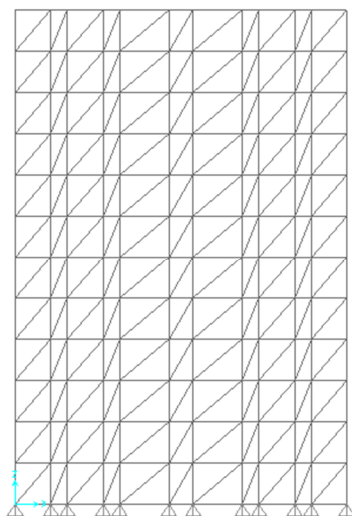


Figura 142 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

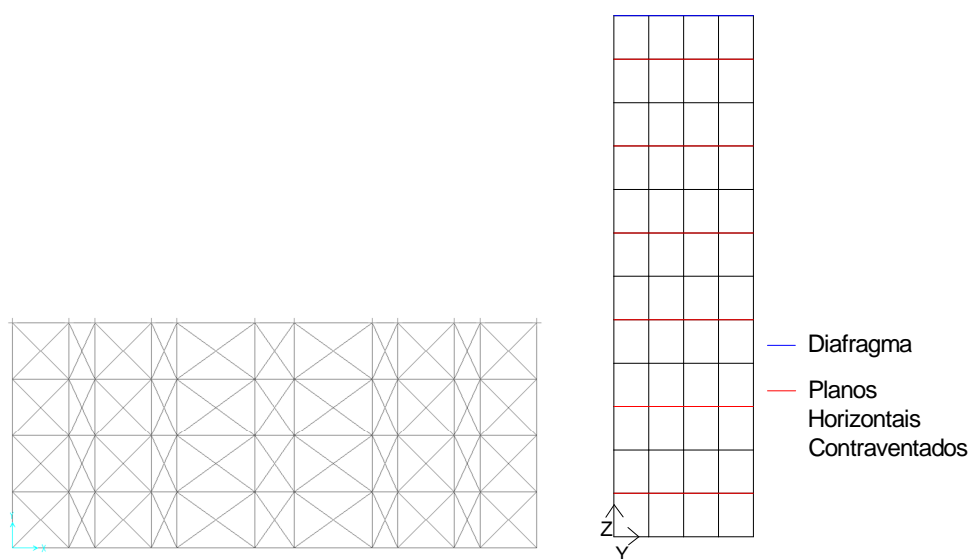


Figura 143 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 60 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,652	5,008	6,029	6,870	6,813
2x	0,376	0,402	0,525	0,985	0,985
2z	0,372	0,476	0,521	0,980	0,980
3x	0,390	0,565	0,544	1,005	1,005
3z	0,362	0,583	0,508	0,950	0,950

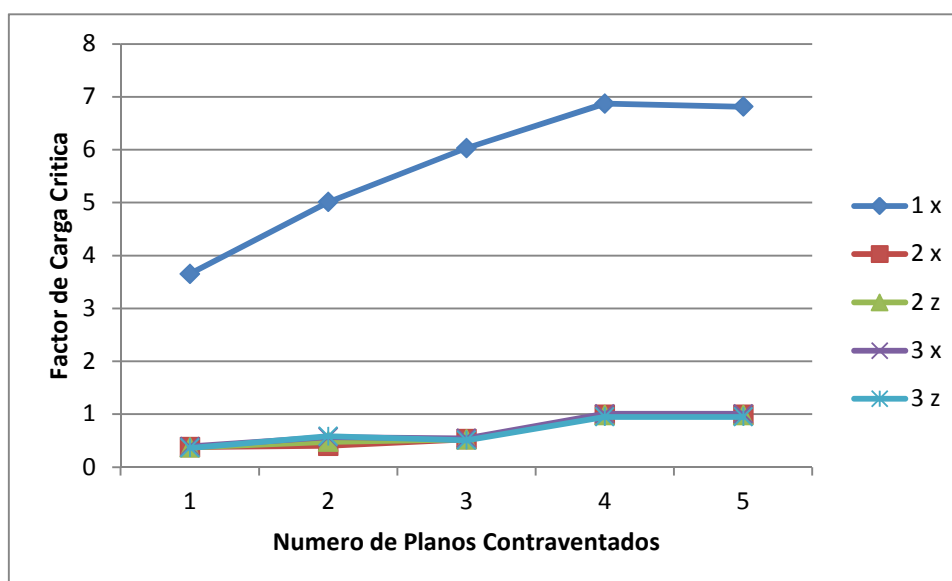


Figura 144 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 61 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	15,06	9,33	7,48	6,00	6,00
2x	37,81	32,22	29,64	28,83	28,84
2z	36,65	31,68	29,28	28,65	28,65
3x	44,57	35,55	31,90	30,15	30,15
3z	28,24	27,30	26,16	26,65	26,65

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais pequenas são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cembre estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de cembre, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 45 mm.

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

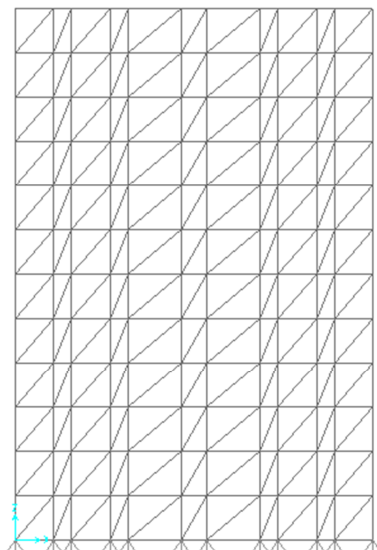


Figura 145 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

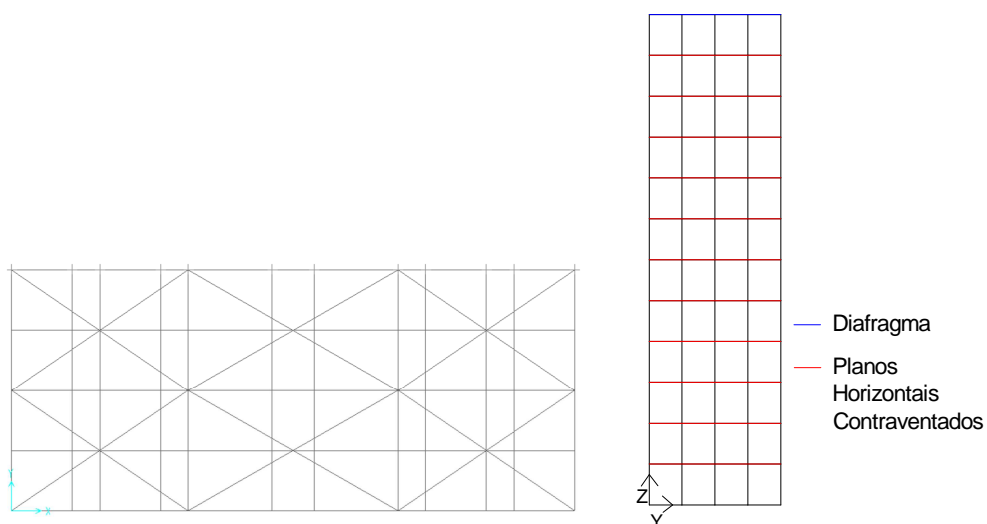


Figura 146 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 62 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	3,542	5,137	6,021	6,366	6,563
2x	0,861	0,866	0,866	0,869	0,872
2z	0,856	0,860	0,859	0,863	0,865
3x	0,884	0,892	0,895	0,898	0,898
3z	0,845	0,847	0,843	0,848	0,851

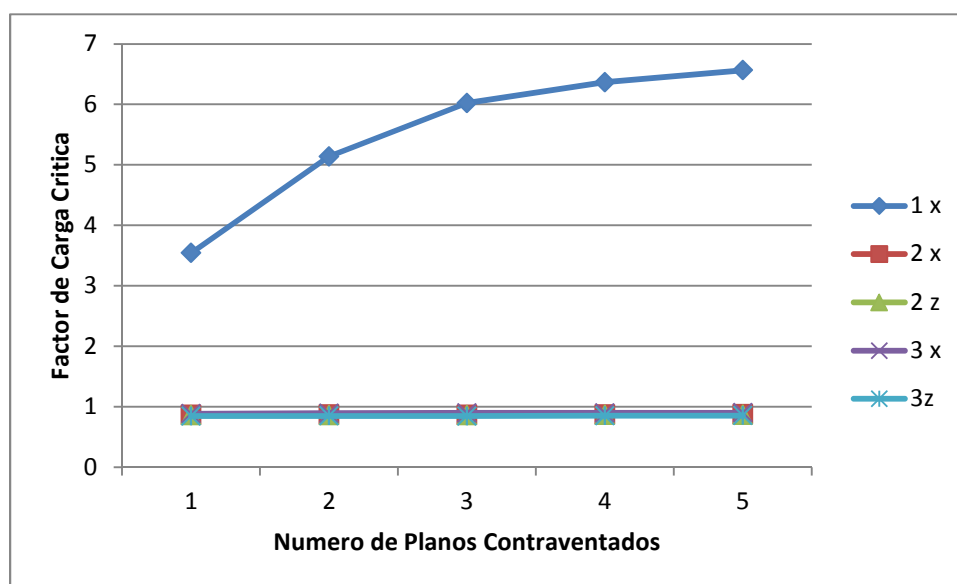


Figura 147 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 63 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	14,94	9,29	7,41	6,53	5,97
2x	37,79	32,25	29,62	29,01	28,84
2z	36,64	31,70	29,26	28,76	28,66
3x	44,49	35,56	31,84	30,69	30,15
3z	28,30	27,34	26,19	26,33	26,66

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

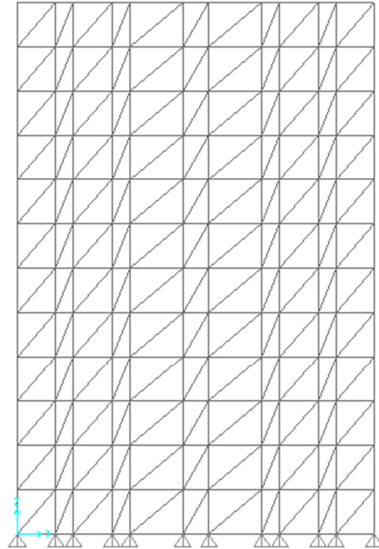


Figura 148 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

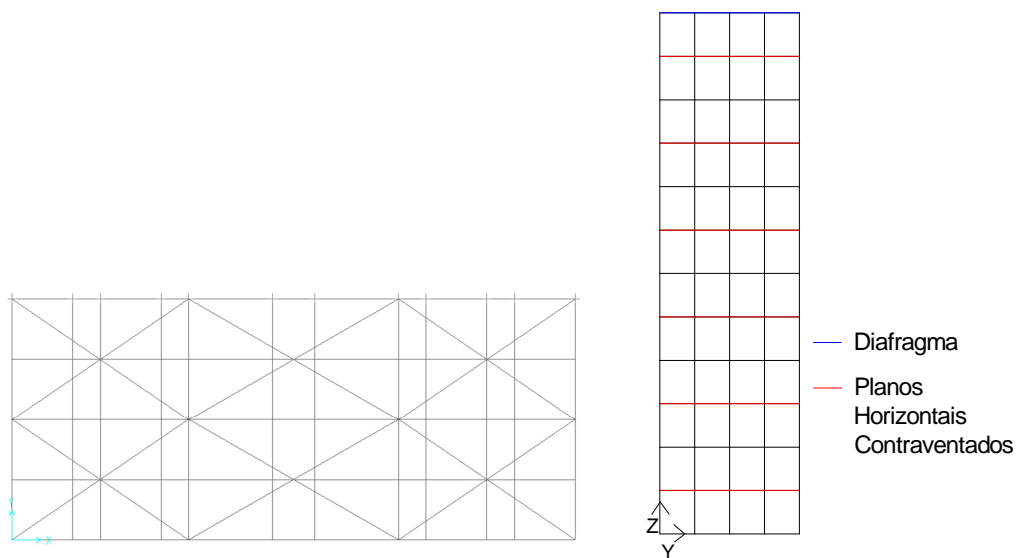


Figura 149 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 64 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,557	4,236	5,324	6,369	6,637
2x	0,303	0,331	0,440	0,450	0,875
2z	0,300	0,329	0,437	0,446	0,869
3x	0,315	0,344	0,456	0,465	0,901
3z	0,292	0,320	0,426	0,436	0,854

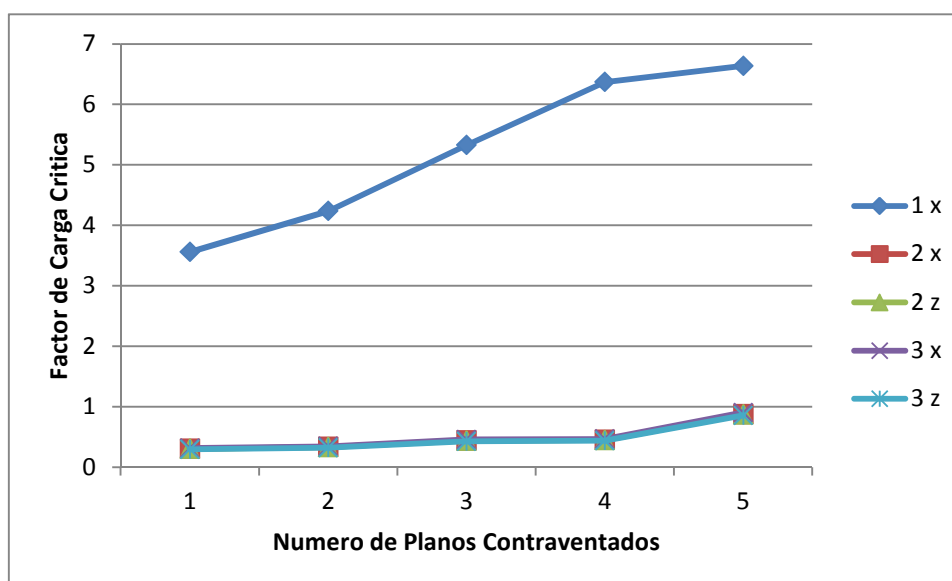


Figura 150 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 65 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	15,14	9,36	7,45	6,54	5,98
2x	37,88	32,25	29,61	28,99	28,83
2z	36,7	31,69	29,25	28,74	28,63
3x	44,73	35,63	31,88	30,69	30,15
3z	29,19	27,26	26,12	26,28	26,62

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais grandes e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais pequenas são extremamente reduzidos, não existindo nenhum caso em que o valor mínimo mais elevado seja superior a 1. Tal facto revela que esta opção de contraventamentos no cimbra estudado não seria capaz de suportar sequer as cargas que lhe são aplicadas.

De referir ainda que nas duas opções de cimbra, apesar dos reduzidos valores para os factores de carga crítica, os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 45 mm

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

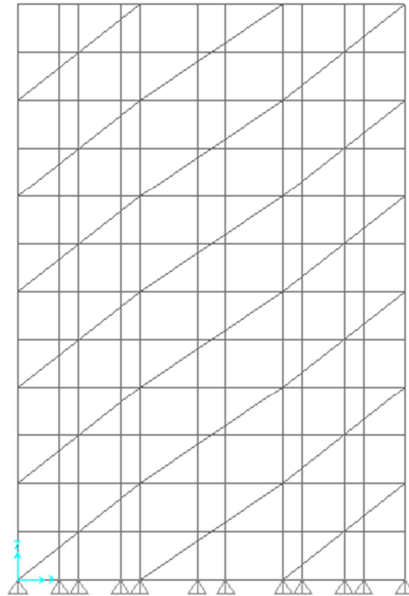


Figura 151 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

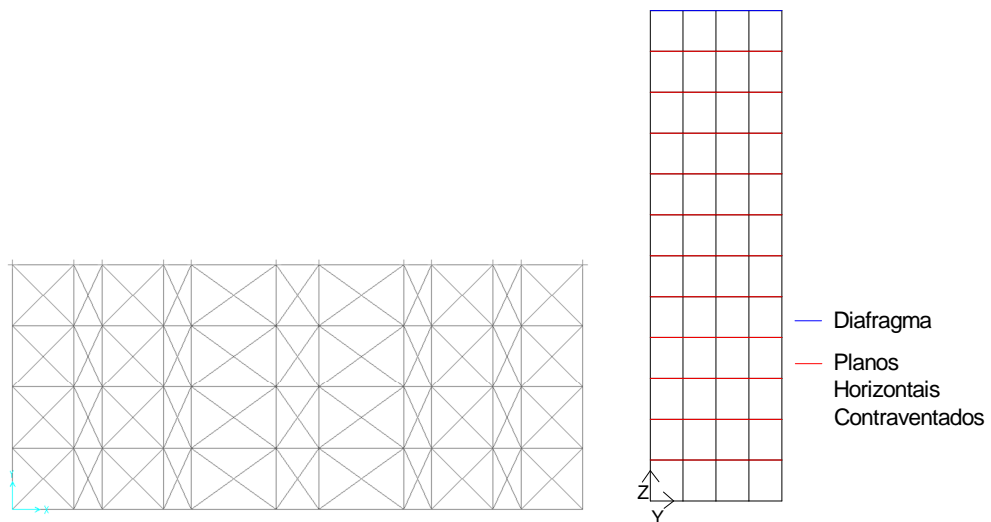


Figura 152 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 66 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,651	5,987	6,815	7,721	8,489
2x	2,481	2,900	2,783	2,804	2,823
2z	2,623	2,984	2,843	2,851	2,862
3x	1,689	2,274	2,312	2,410	2,485
3z	2,991	3,015	3,046	3,046	3,034

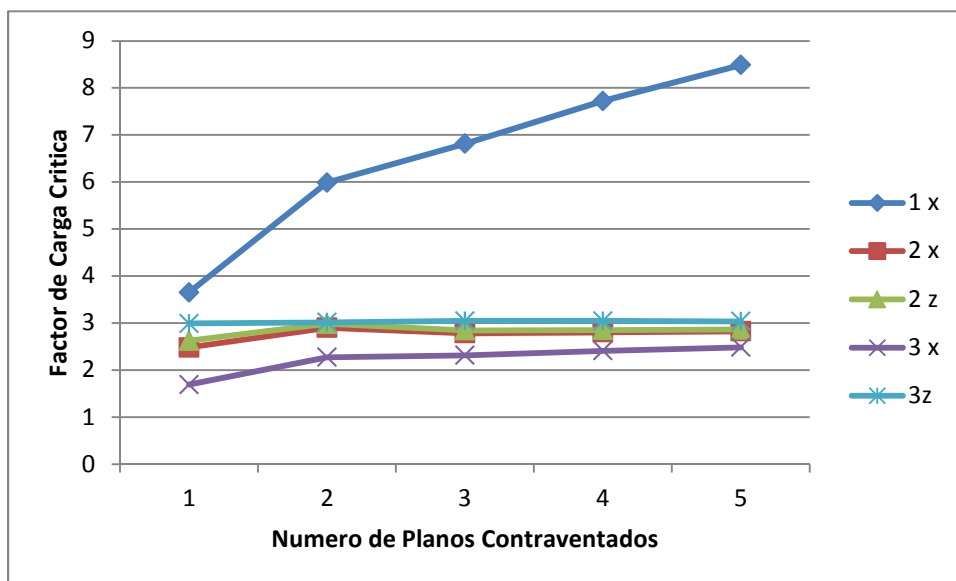


Figura 153 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 67 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	18,61	10,34	7,73	6,33	5,46
2x	16,29	10,24	9,58	8,76	8,28
2z	14,41	10,24	8,86	8,20	7,8
3x	30,90	19,05	15,23	13,27	12,05
3z	5,52	5,51	5,43	5,47	5,22

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

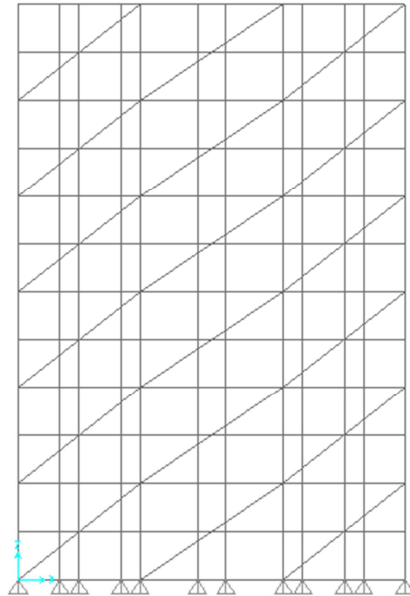


Figura 154 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

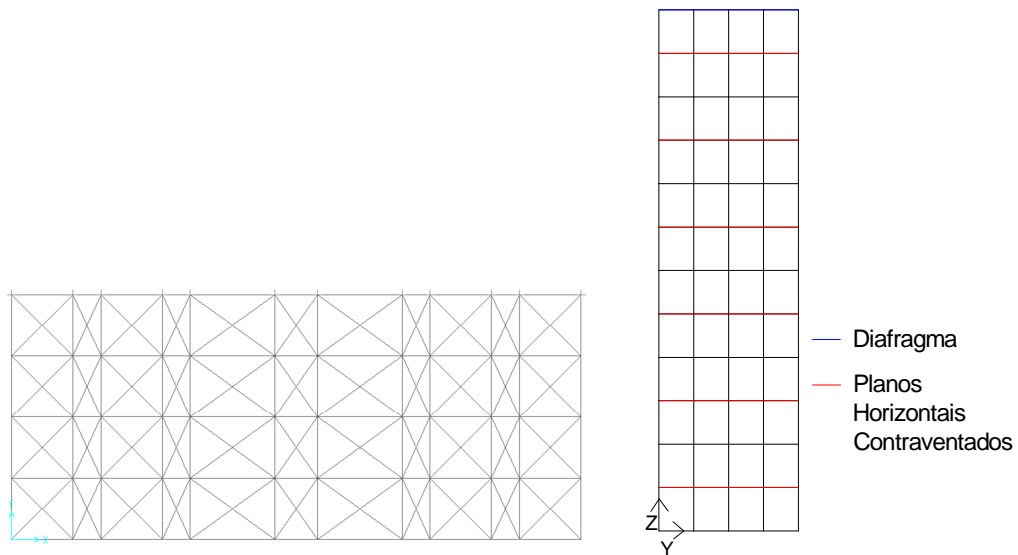


Figura 155 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 68 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	4,062	6,440	7,223	8,007	8,676
2x	1,159	1,257	1,469	1,473	2,784
2z	1,150	1,248	1,458	1,462	2,820
3x	1,196	1,296	1,512	1,517	2,459
3z	1,119	1,214	1,420	1,424	2,915

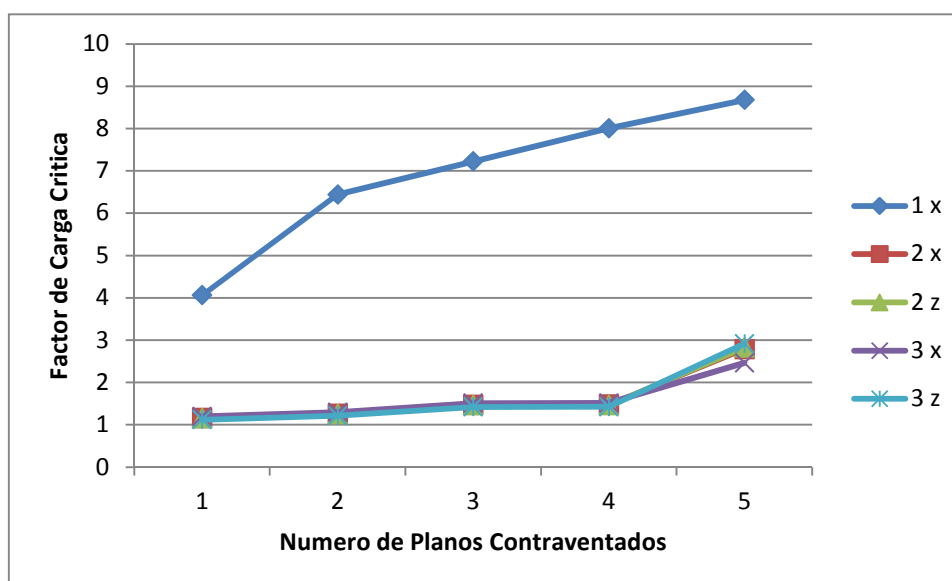


Figura 156 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 69 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	20,30	11,03	8,06	6,51	5,54
2x	17,25	11,60	9,74	8,83	8,30
2z	15,19	10,53	8,98	8,24	7,81
3x	32,29	20,02	15,70	13,52	12,19
3z	5,46	5,43	5,36	5,41	5,47

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais é executado com diagonais pequenas e o contraventamento dos planos verticais é executado com diagonais grandes apresentam valores satisfatórios, face aos obtidos noutras opções de contraventamento desta configuração de cimbra, uma vez que nos casos em que todos os planos horizontais são contraventados quase todas as configurações de contraventamento têm factores de carga crítica acima de 2. Mesmo para os casos em que os planos horizontais são contraventados alternadamente, 3 m em 3 m, todos os valores dos factores de carga crítica são superiores a 1. Pode-se assim dizer que esta configuração de contraventamento apresenta resultados satisfatórios. No entanto à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como os valores do factor de carga crítica são inferiores a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem.

De referir ainda que nas duas opções de cimbra os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 32 mm

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

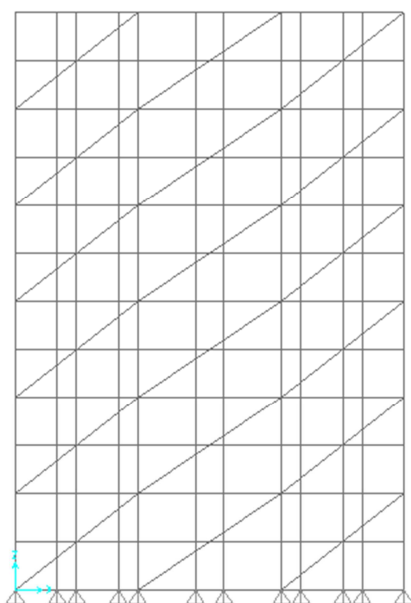


Figura 157 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

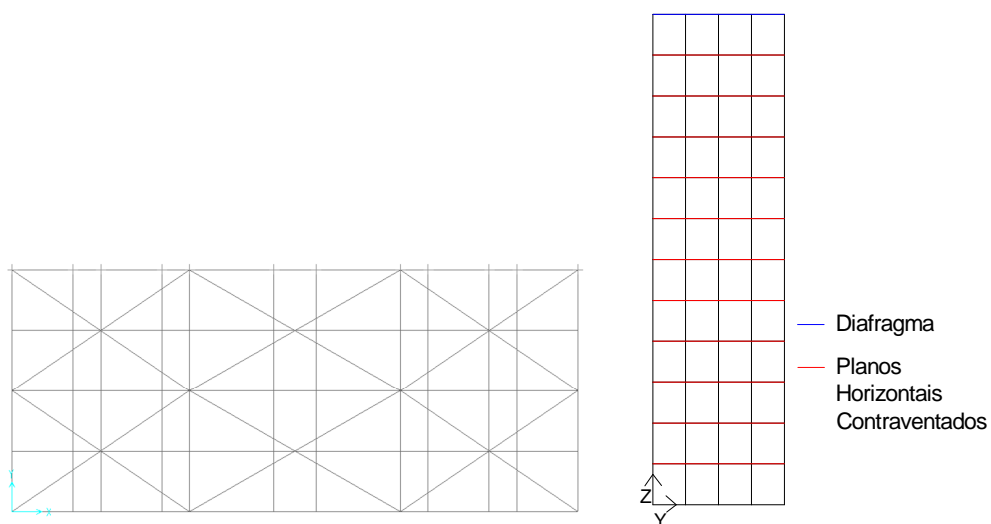


Figura 158 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 70 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,473	5,675	6,813	7,609	8,218
2x	2,335	2,559	2,588	2,592	2,892
2z	2,451	2,549	2,576	2,581	2,582
3x	1,601	2,079	2,261	2,303	2,334
3z	2,504	2,529	2,548	2,556	2,562

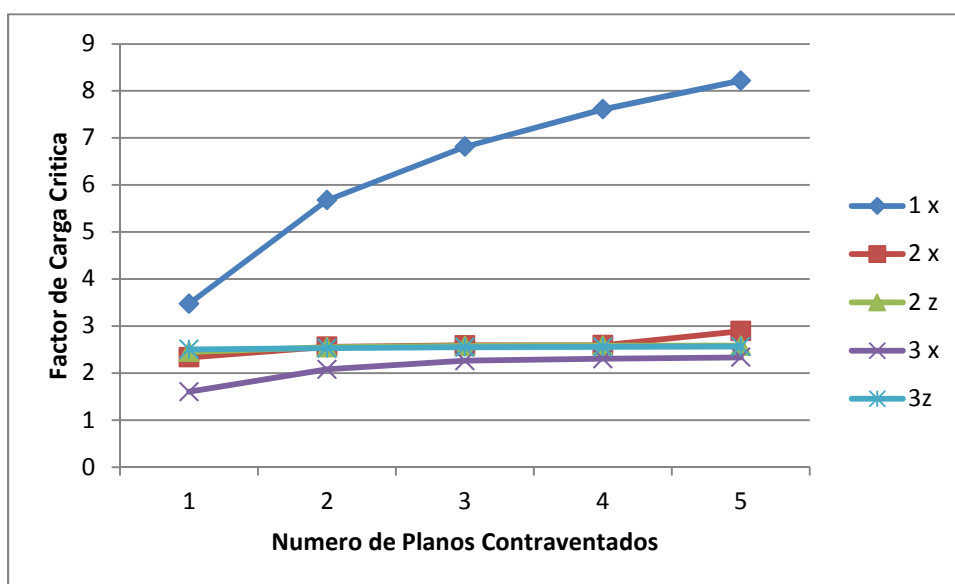


Figura 159 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 71 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	18,92	10,57	7,73	6,34	5,42
2x	16,49	11,36	9,57	8,76	8,25
2z	14,57	10,33	8,85	8,18	7,77
3x	31,39	19,40	15,26	13,30	12,04
3z	5,52	5,46	5,39	5,42	5,47

- VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

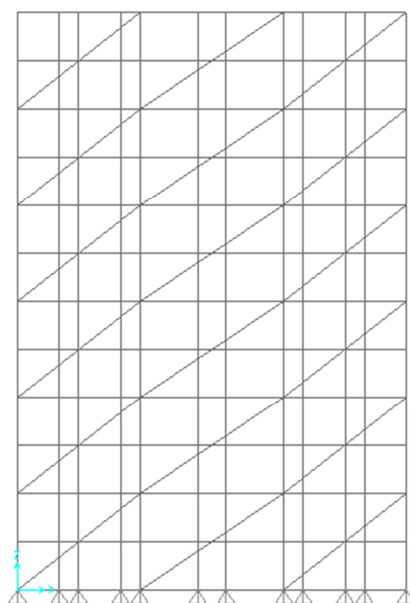


Figura 160 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

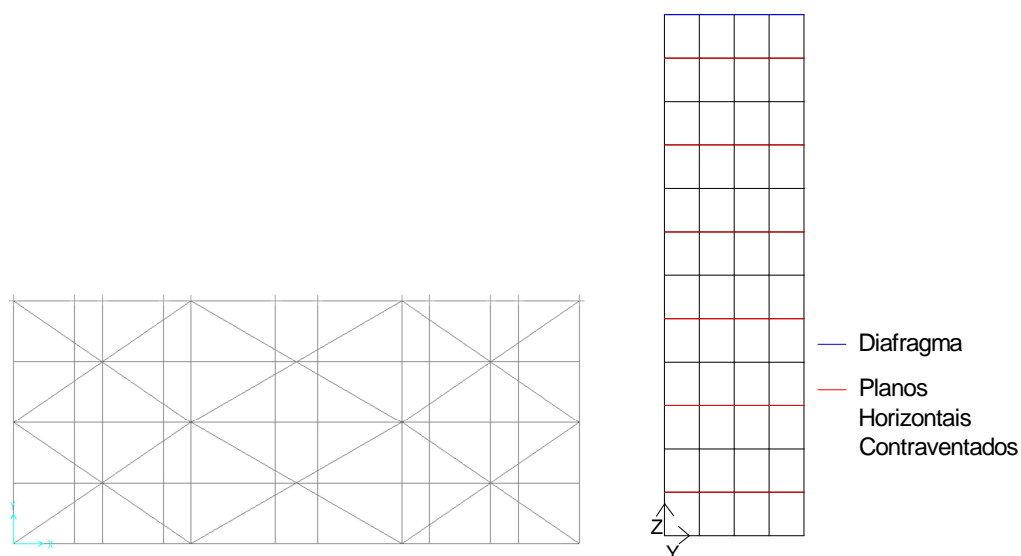


Figura 161 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 72 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,877	6,069	7,181	7,854	8,412
2x	0,934	1,038	1,233	1,160	2,598
2z	0,927	1,030	1,224	1,151	2,588
3x	0,963	1,069	1,269	1,195	2,344
3z	0,901	1,002	1,192	1,121	2,568

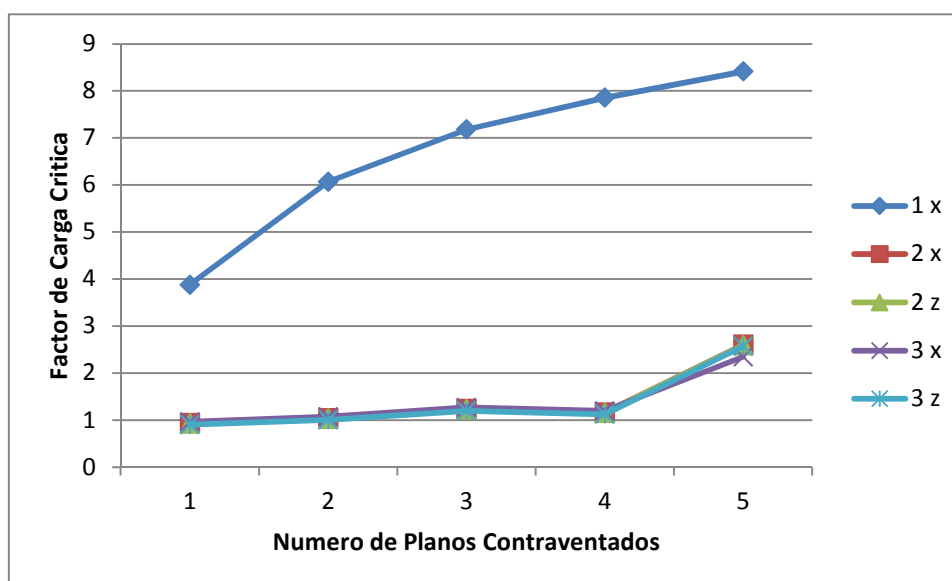


Figura 162 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 73 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	20,51	11,05	8,08	6,50	5,52
2x	17,38	11,61	9,74	8,82	8,29
2z	15,29	10,53	8,97	8,23	7,79
3x	33,62	20,06	15,74	13,52	12,17
3z	5,44	5,41	5,33	5,39	5,45

Os valores dos factores de carga crítica obtidos quando o contraventamento dos planos horizontais e verticais é executado com diagonais grandes apresentam valores satisfatórios uma vez que nos casos em que todos os planos horizontais são contraventados quase todas as configurações de contraventamento têm factores de carga crítica acima de 2. Mesmo para os casos em que os planos horizontais são contraventados alternadamente, 3 m em 3 m, praticamente todos os valores dos factores de carga crítica são superiores a 1. Pode-se assim dizer que esta configuração de contraventamento apresenta resultados satisfatórios. No entanto à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como os valores do factor de carga crítica são inferiores a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem.

De referir ainda que nas duas opções de cimbra os deslocamentos máximos horizontais das estruturas não são muito elevados, sendo que o maior tem um valor de aproximadamente 33 mm

IX. Comentário aos resultados obtidos

Depois de todas as análises às diferentes configurações de contraventamentos de um cimbra ao solo contínuo com 18 m de altura para um vão de 40 m pode-se dizer que existem duas configurações de contraventamentos com valores de factores de carga crítica razoáveis. Essas duas configurações são as estudadas em V e VII. Nessas duas configurações os valores dos factores de carga crítica são próximos ou superiores a 2. No entanto à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior a 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem, caso se pretenda utilizar a mesma numa situação real.

É de assinalar que das duas opções a opção estudada em VII é de execução mais económica uma vez que para a sua construção são necessários menos elementos de contraventamento.

Os valores dos factores de carga crítica apresentam-se sempre elevados para o caso de carga 1x. Isto acontece, pois como descrito em 3.2, os valores das acções verticais actuantes no cimbra devido a este caso de carga são muito reduzidos.

Apesar de no caso do referido estudo o contraventamento vertical ter sido modelado para apenas responder a acções horizontais com um determinado sentido, na montagem do cimbra, numa situação real, o contraventamento deve ser disposto em cruz, para desta forma o cimbra poder resistir a acções horizontais nos dois sentidos. O contraventamento vertical neste estudo apenas se apresenta modelado desta forma na tentativa de serem obtidos valores mais conservativos. No entanto, esses valores para as configurações de contraventamentos apresentadas em V e VII são na maioria dos casos inferiores. Os valores dos factores de carga crítica para os casos em que os contraventamentos verticais são modelados em cruz encontram em anexo.

4

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS A REALIZAR FUTURAMENTE

4.1. CONCLUSÕES

Esta tese foi proposta com o intuito de ser estudada a influência do contraventamento em cimbres ao solo contínuos utilizados para a construção de viadutos. Este tema surge pelo facto de, apesar do contraventamento do cembre ser fundamental para garantir a estabilidade da estrutura, não existirem quaisquer normas ou regulamentos que definam a forma como este pode ser executado com a maior eficiência. Muitas das vezes os contraventamentos de cimbres ao solo contínuos são dimensionados apenas com base em estruturas semelhantes anteriormente construídas uma vez que este tipo de cimbres é normalmente utilizado em construções com dimensões relativamente mais reduzidas. Uma das consequências desse tipo de prática é o facto de muitas vezes nem sequer se ter em conta, no dimensionamento, o efeito das cargas horizontais. Este tipo de cembre é normalmente utilizado na construção de viadutos com vãos inferiores a 40 m e alturas ao solo inferiores a 20 m, pelo que este estudo foi feito tendo por base secções tipo de viadutos com as referidas características para que os resultados pudessem ser os mais genéricos possível. Contudo foi necessário escolher um tipo de sistema de cimbres existente no mercado, o *Sistema Duralok*. O critério desta escolha teve em conta o facto de este sistema ser usado com muita frequência na construção de cimbres para os viadutos com as características referidas. Escolhido o sistema foi assim possível conhecer os materiais do cembre e suas respectivas características de resistência permitindo assim a análise efectuada neste trabalho.

Este documento pode ser dividido em duas partes distintas. A primeira corresponde a uma exposição em que são descritos os vários tipos de cembre ao solo bem como os principais problemas existentes na construção dos mesmos. Nessa primeira parte são ainda apresentadas algumas recomendações para minimizar esses mesmos problemas. A segunda parte consiste na apresentação dos resultados obtidos para valores de factores de carga crítica através das análises efectuadas a várias soluções de contraventamento para os viadutos com as características anteriormente referidas.

Assim, tendo por base as análises efectuadas, interessa reter algumas conclusões relacionadas com os contraventamentos de sistemas de cimbra ao solo.

Os valores dos factores de carga crítica correspondem ao número de vezes que a carga aplicada na estrutura pode ser multiplicada para que a mesma instabilize tendo em conta os efeitos de segunda ordem na estrutura. Nas análises efectuadas nenhuma solução de contraventamento excedeu o valor de 3 para o factor de carga crítica. Isto significa que nas estruturas em que se conseguiu os melhores resultados, à luz do *EN 1993-1-1 [19]*, como o valor do factor de carga crítica é inferior ou muito próximo de 3, dever-se-á fazer uma análise rigorosa da estrutura que inclua os efeitos de segunda ordem caso se pretenda aplicar este tipo de cimbres a uma situação real. De referir ainda que, apesar dos valores de carga crítica serem sempre inferiores ou muito próximos de 3, os deslocamentos determinados no cálculo elástico da estrutura não são muito elevados.

Por fim, interessa referir que neste trabalho apenas foi analisado o comportamento de cimbres ao solo no sentido do desenvolvimento transversal do viaduto. A análise ao comportamento dos cimbres ao solo no comportamento longitudinal não foi estudada uma vez que o seu comportamento está directamente relacionado com as condições de apoio dos planos longitudinais dos viadutos no local de execução do mesmo. Nesta direcção, o viaduto pode estar apoiado no encontro da ponte, nos pilares ou até mesmo de outra forma influenciando directamente os resultados dos valores dos factores de carga crítica do cimbra para essas situações.

4.2. PROPOSTAS DE TRABALHOS A REALIZAR FUTURAMENTE

Uma vez que sobre cimbres ao solo contínuos existe pouca documentação que defina métodos e disposições construtivas capazes de tornar este tipo de estruturas mais eficientes e seguras, seria interessante que de futuro se realizassem análises mais rigorosas a contraventamentos de cimbres ao solo tendo em conta os efeitos de segunda ordem, podendo essas análises terem como base as estruturas que se revelaram mais eficientes neste estudo. Dessa forma tornavam-se conhecidas as soluções de contraventamento que seriam mais eficazes de acordo com o que está definido no *EN 1993-1-1 [19]*. Por outro lado, seria possível elaborar um documento que permitisse que os responsáveis pela execução de cimbres ao solo contínuos tivessem conhecimento de como obter a maior eficiência e segurança nesse tipo de estruturas temporárias. Este documento poderia constituir-se como uma referência para os responsáveis pela execução desse tipo de cimbres que muitas vezes os executam em função de factores económicos ou até do material que têm disponível para a execução dos mesmos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI 347-04; *Guide to Formwork for Concrete*.
- [2] CEN – European Committee for Standardization; EN 12812: *Falsework – Performance requirements and general design*; Brussels; June 2004.
- [3] Colegio de Ingenieros de Caminos de, Canales y Puertos. *Diseño y Utilización de Cimbras*; Madrid; 2005
- [4] British Standard BS 5975:2008; *Code of Practice For Temporary Works Procedures and the Permissible Stress Design of Falsework*.
- [5]<http://formula.rmdkwikform.com/global/component/content/article/102-project-focus-4/446-mafraq-interchange-take-shape-in-abu-dhabi> (28/12/2010)
- [6] Correia, Joana; *Regras para o Dimensionamento de Cofragem para Estruturas de Betão Armado*; Universidade de Aveiro, 2008.
- [7]<http://www.concreteconstruction.net/concrete-construction/bridge-to-the-future.aspx?rssLink=Bridge+to+the+Future>. 28/12/2010
- [8]http://www.peri.de/ww/en/projects.cfm/fuseaction/diashow/reference_ID/1630/currentimage/4/referencecategory_ID/2.cfm. 28/12/2010
- [9]http://www.peri.de/ww/en/products.cfm/fuseaction/diashow/product_ID/320/currentimage/1/productcategory_ID/11/app_id/5.cfm. 28/12/2010
- [10] <http://www.theconstructionindex.co.uk/news/the-construction-index-news/RMD-Kwikform-grows-international-business-185-37>. 28/12/2010
- [11] <http://www.thebigprojectme.com/tbp/Contents.aspx?sID=14&fID=172>. 28/12/2010
- [12] <http://www.alsina.pt/produtos/esteios/cimbra.html>. 28/12/2010
- [13]http://www.ulma-c.com/2/Productos/10/SISTEMAS-DE-OBRA-CIVIL/91/Encofrado-ENKOFORM-H-120.aspx?LPR_Id=437. 29/12/2010
- [14]http://www.ulma-c.com/2/Productos/11/PUNTALES-Y-CIMBRAS/105/Cimbra-T-500.aspx?LPR_Id=464. 29/12/2010
- [15]http://www.fiomental.com/construgomes/index.php?n=viaducto_de_basagoiti_2&cod=23&codPro=item39&codCat=39. 29/12/2010
- [16] http://www.ulma-c.pt/Imagenes_L/101_2_ES-04.jpeg. 29/12/2010
- [17] Oliveira, P.; *Regras de Dimensionamento de Cimbres em Estruturas de Betão Armado*; Universidade de Aveiro, 2008.
- [17] ACI 345R-91; *Guide for Concrete Highway Bridge Deck Construction*. (Reapproved 2005)
- [18] ACI 347.2R-05; *Guide for Shoring/Reshoring of Concrete Multistory Buildings*.
- [19] CEN – European Committee for Standardization; EN 1993-1-1 (Eurocode 3): *Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*; Brussels; May 2005.
- [20] CEN – European Committee for Standardization; EN 1991-1-4 (Eurocode 1): *Actions on structures – Part 1-4: General actions: Wind actions*. Brussels; May 2010.

[21] Safety at work; Falsework – *Prevention of Collapse*; Occupational Safety and Health Branch Labour Department; November 1998.

[23] *Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*; Decreto-Lei nº235/83 de 31 de Maio; Imprensa Nacional, Casa da Moeda.

ANEXOS

- **VALORES DOS FACTORES DE CARGA CRITICA PARA CIBRES COM CONTRAVENTAMENTOS VERTICAIS DISPOSTOS EM CRUZ**

- **VALORES DOS FACTORES DE CARGA CRÍTICA PARA CIMBRES COM CONTRAVENTAMENTOS VERTICAIS DISPOSTOS EM CRUZ**

Seguidamente apresentam-se os valores dos factores de carga crítica obtidos, utilizando o programa de cálculo estrutural referido, para as diferentes opções de contraventamento dos planos verticais e horizontais, sendo que os elementos do contraventamento vertical se apresentam dispostos em cruz.

Nas tabelas seguintes entenda-se *ctv* como abreviatura de contraventamento

1. Cimbra ao Solo Contínuo Com 9 m de Altura Para Um Vão de 20 m
 - I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

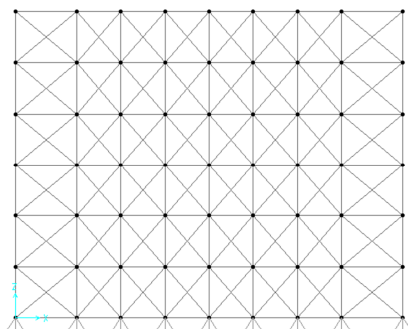


Figura 1 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

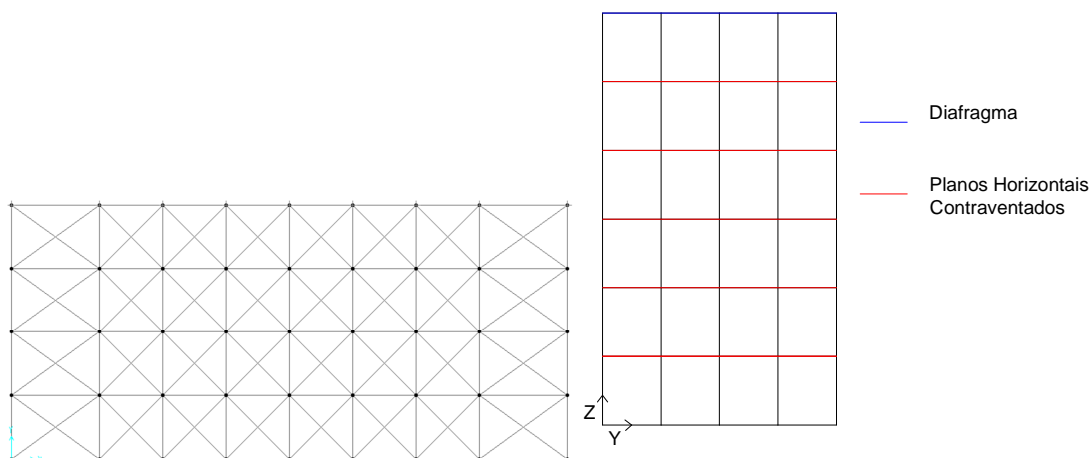


Figura 2 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 1 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	9,137	12,847	14,119	15,412	16,560
2x	1,459	1,635	1,782	1,939	2,086
2z	1,447	1,621	1,772	1,926	2,079
3x	1,541	1,727	1,875	2,027	2,105
3z	1,438	1,609	1,776	1,927	2,244

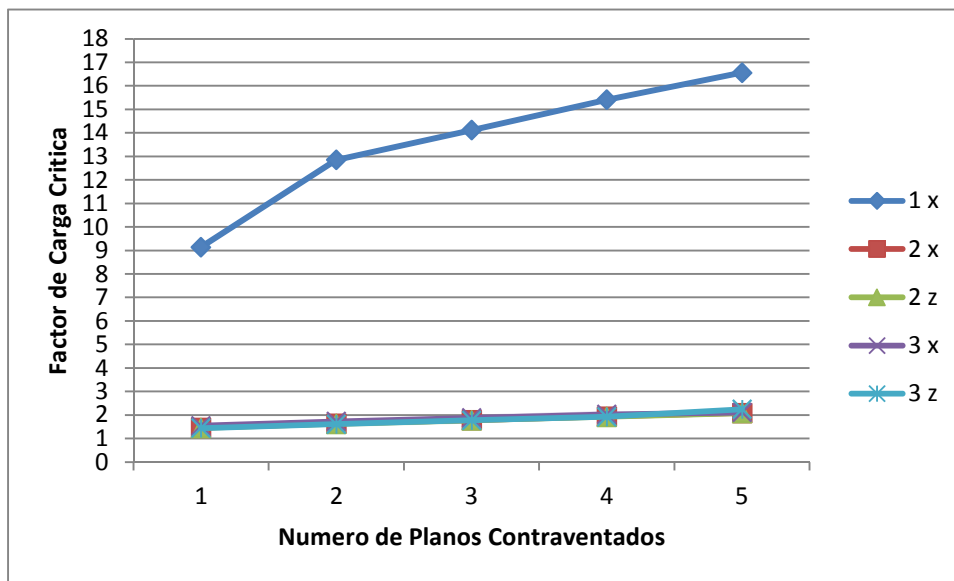


Figura 3 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 2 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,46	0,79	0,57	0,46	0,38
2x	0,81	0,46	0,34	0,30	0,27
2z	0,63	0,35	0,28	0,24	0,22
3x	2,08	1,13	0,83	0,68	0,59
3z	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

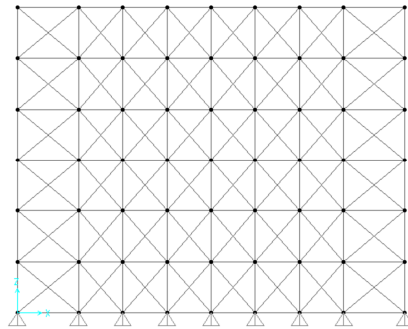


Figura 4 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

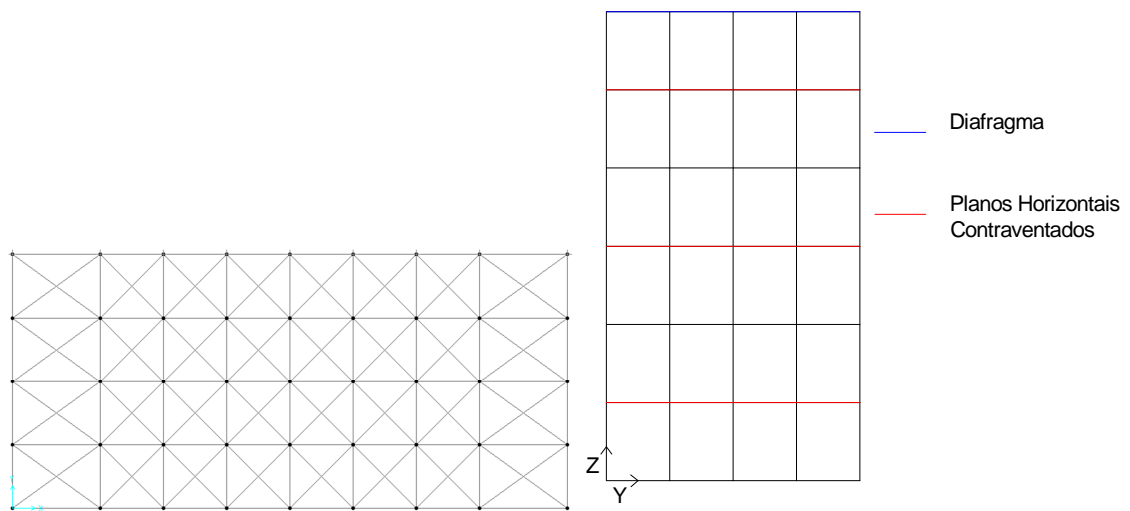


Figura 5 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 3 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	9,118	11,909	14,162	15,434	16,608
2x	0,640	0,729	1,089	1,049	1,979
2z	0,633	0,721	1,079	1,039	1,963
3x	0,678	0,772	1,154	1,111	2,073
3z	0,624	0,710	1,066	1,027	1,954

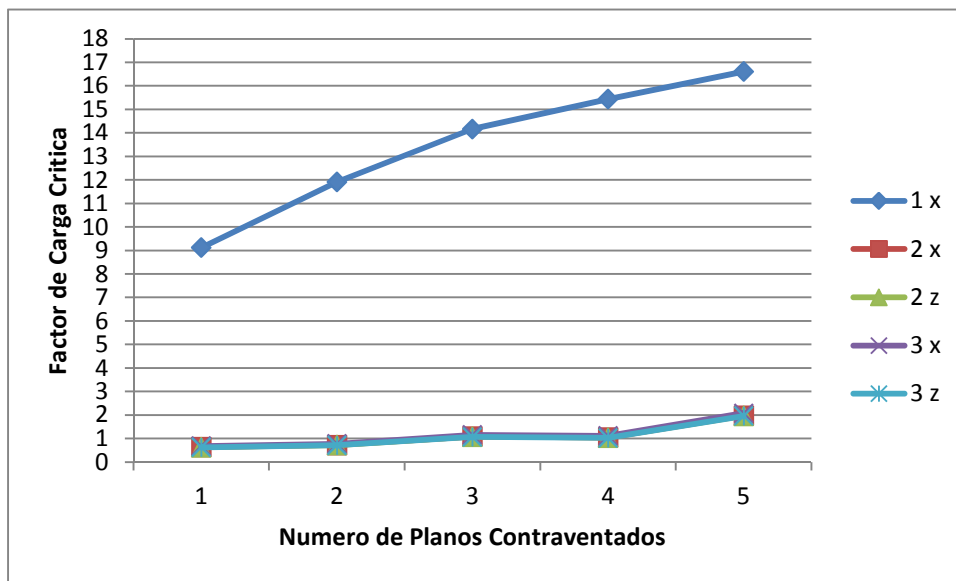


Figura 6 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 4 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,46	0,79	0,56	0,46	0,38
2x	0,82	0,46	0,34	0,30	0,27
2z	0,63	0,35	0,27	0,24	0,22
3x	2,09	1,13	0,82	0,69	0,60
3z	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

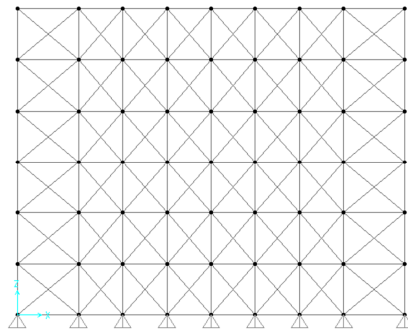


Figura 7 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

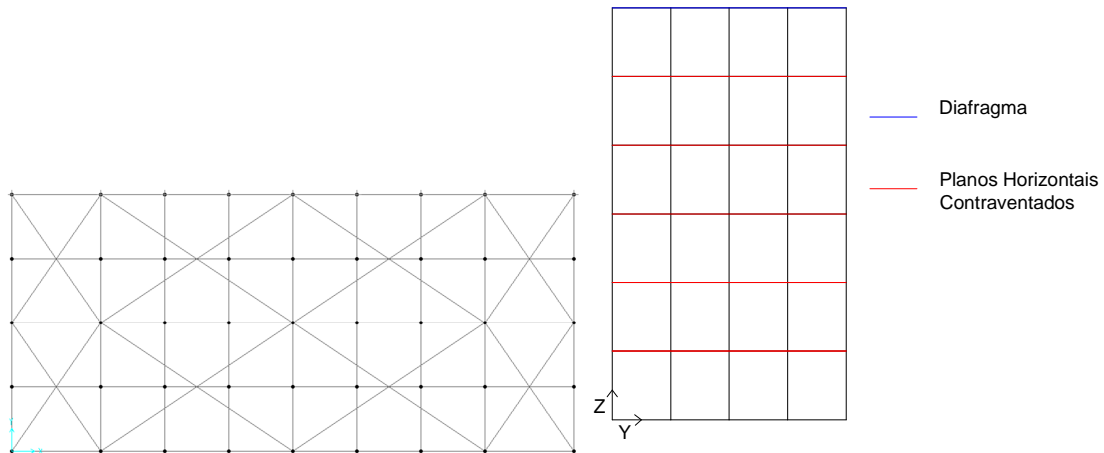


Figura 8 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 5 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	9,144	12,525	14,399	15,453	16,588
2x	1,261	1,409	1,588	1,701	1,810
2z	1,251	1,398	1,576	1,688	1,796
3x	1,332	1,489	1,678	1,798	1,914
3z	1,246	1,389	1,571	1,682	1,788

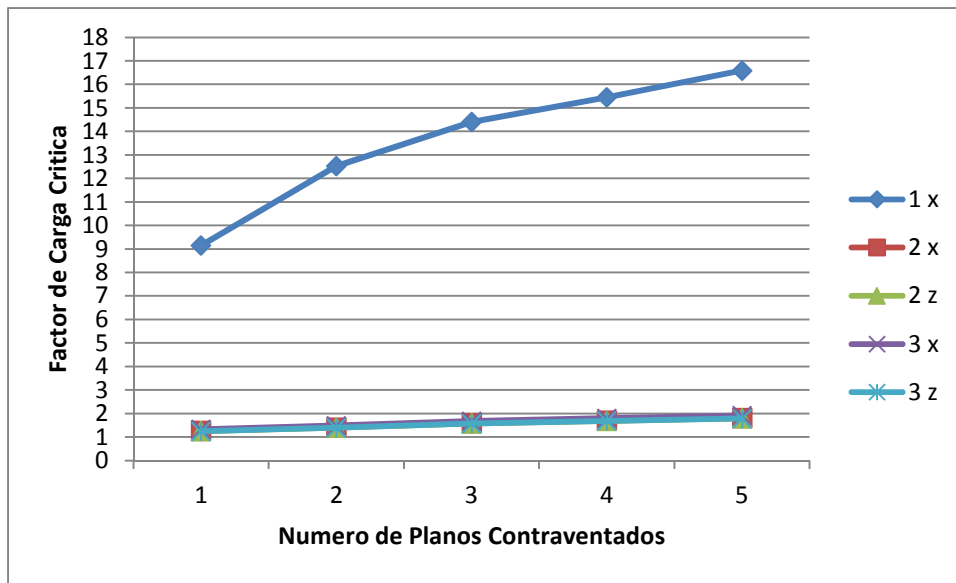


Figura 9 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 6 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,46	0,79	0,57	0,46	0,39
2x	0,82	0,45	0,35	0,29	0,27
2z	0,63	0,35	0,28	0,25	0,23
3x	2,09	1,13	0,84	0,69	0,60
3z	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

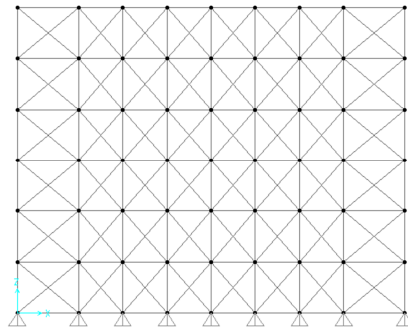


Figura 10 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

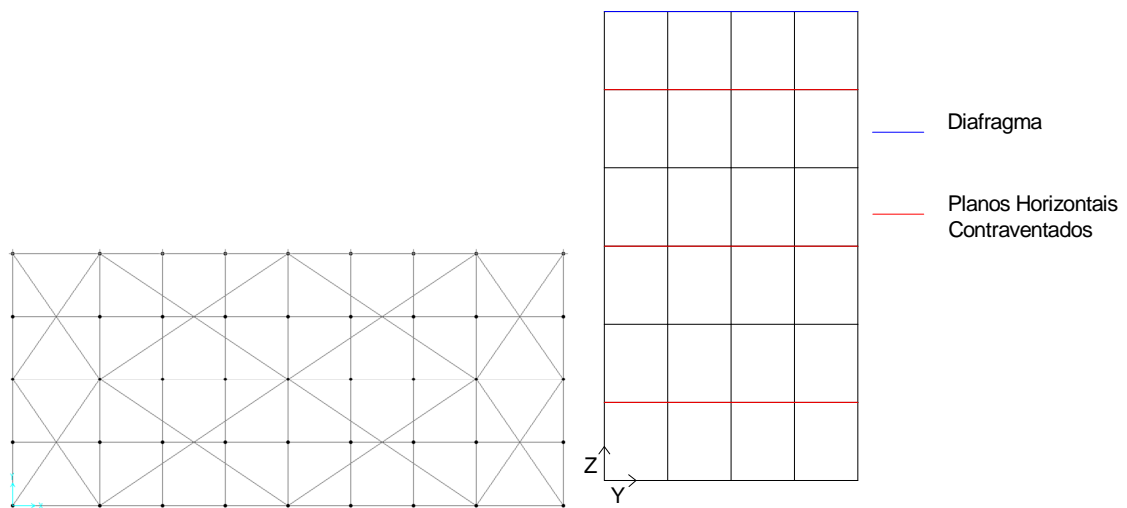


Figura 11 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 7 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	9,112	11,165	13,612	15,329	16,578
2x	0,565	0,668	0,816	0,938	1,785
2z	0,559	0,661	0,808	0,929	1,771
3x	0,599	0,708	0,864	0,993	1,888
3z	0,551	0,651	0,798	0,918	1,764

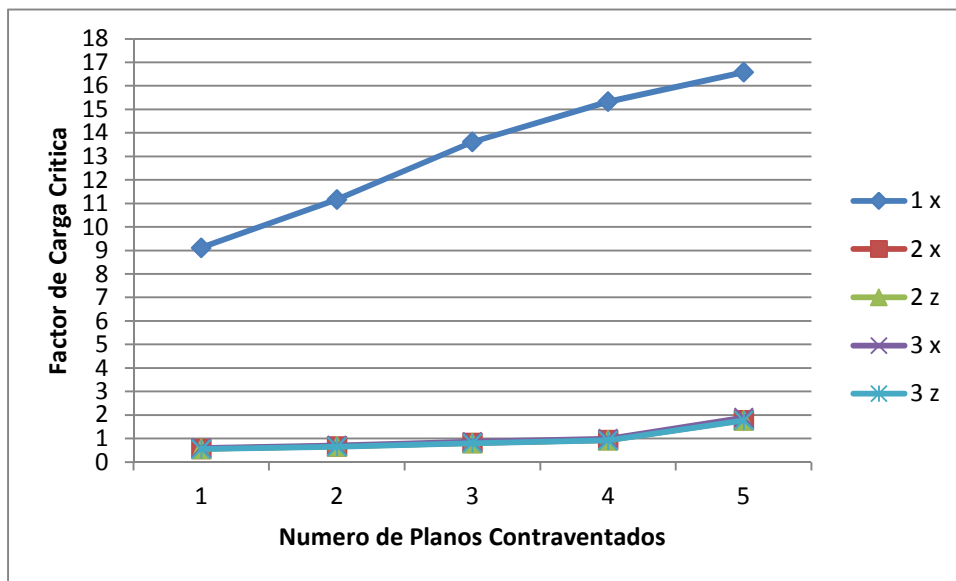


Figura 12 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 8 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,47	0,79	0,57	0,46	0,39
2x	0,82	0,46	0,35	0,30	0,28
2z	0,63	0,36	0,28	0,25	0,23
3x	2,09	1,14	0,84	0,69	0,60
3z	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

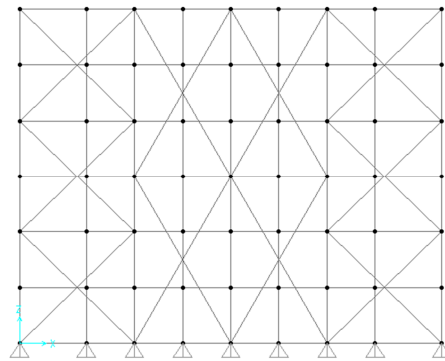


Figura 13 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

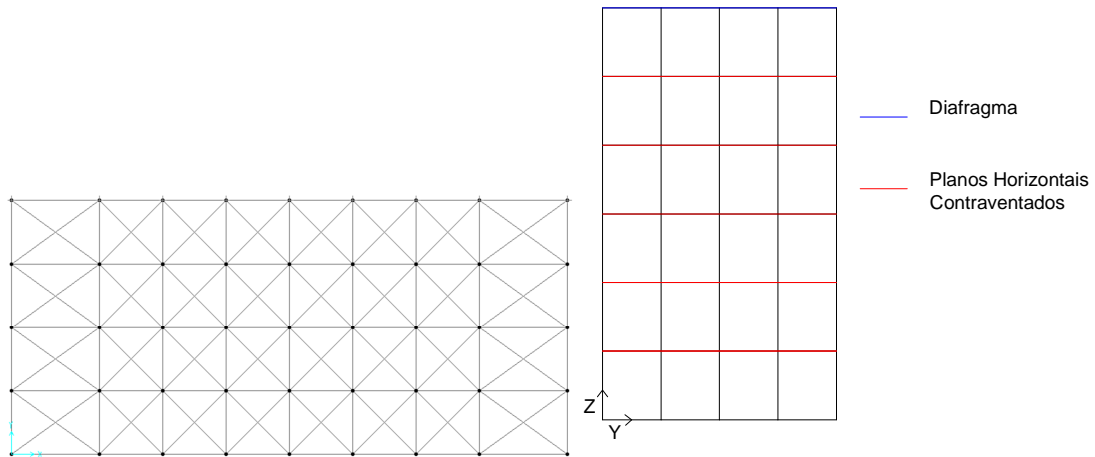


Figura 14 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 9 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	7,315	10,537	11,428	12,628	13,700
2x	0,691	0,811	0,912	1,018	1,128
2z	0,684	0,803	0,903	1,008	1,117
3x	0,731	0,859	0,965	1,077	1,194
3z	0,676	0,794	0,892	0,996	1,104

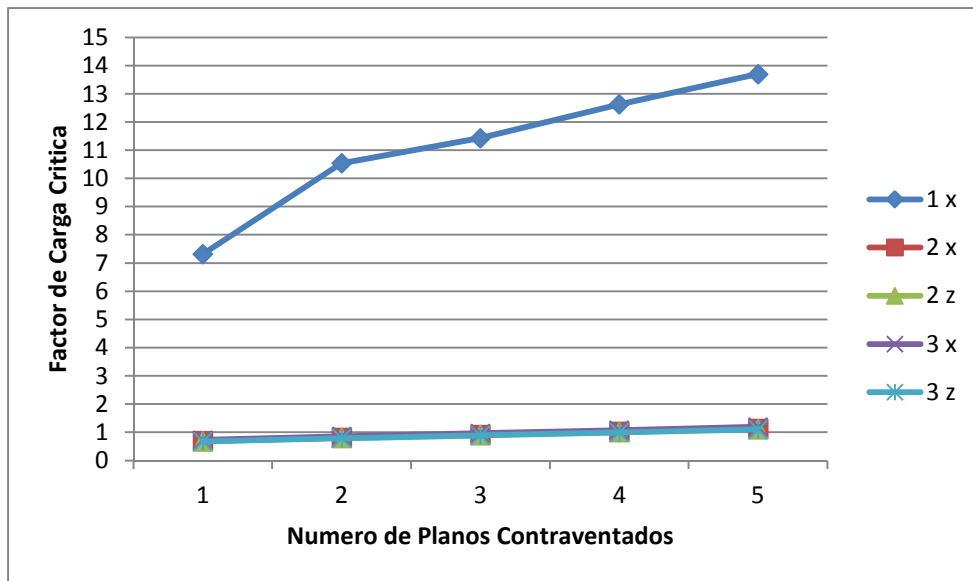


Figura 15 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 10 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,19	1,68	1,18	0,93	0,76
2x	1,78	0,94	0,68	0,54	0,46
2z	1,37	0,72	0,53	0,42	0,36
3x	4,56	2,40	1,70	1,34	1,12
3z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

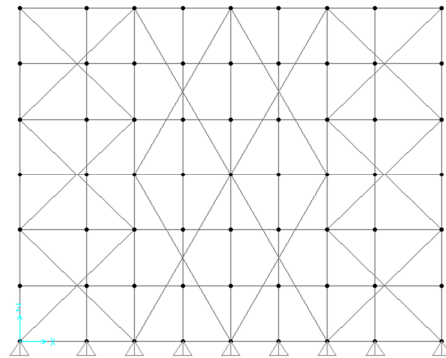


Figura 16 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

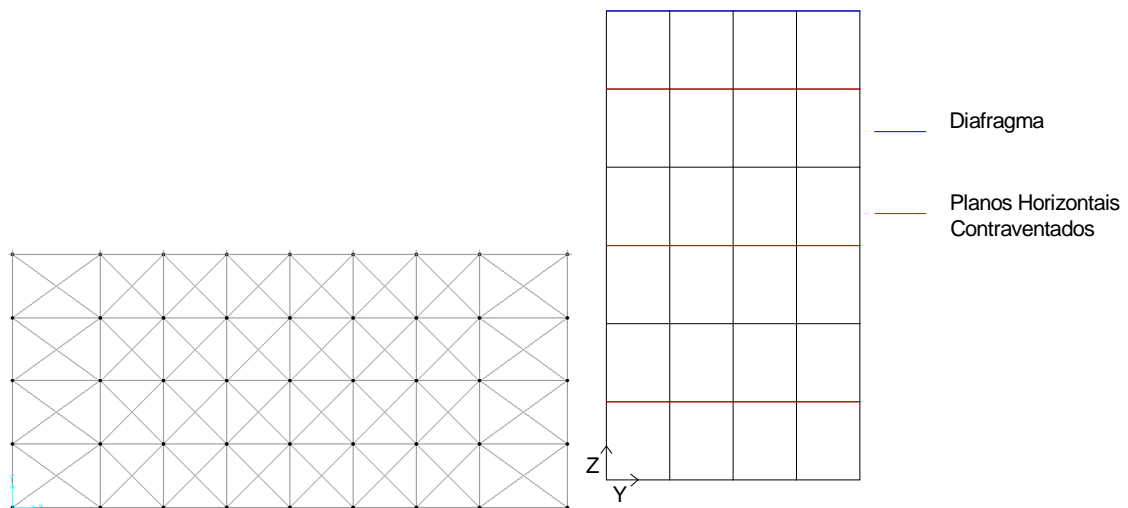


Figura 17 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 11 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	7,315	10,537	11,428	12,628	13,700
2x	0,691	0,811	0,912	1,018	1,128
2z	0,684	0,803	0,903	1,008	1,117
3x	0,731	0,859	0,965	1,077	1,194
3z	0,676	0,794	0,892	0,996	1,104

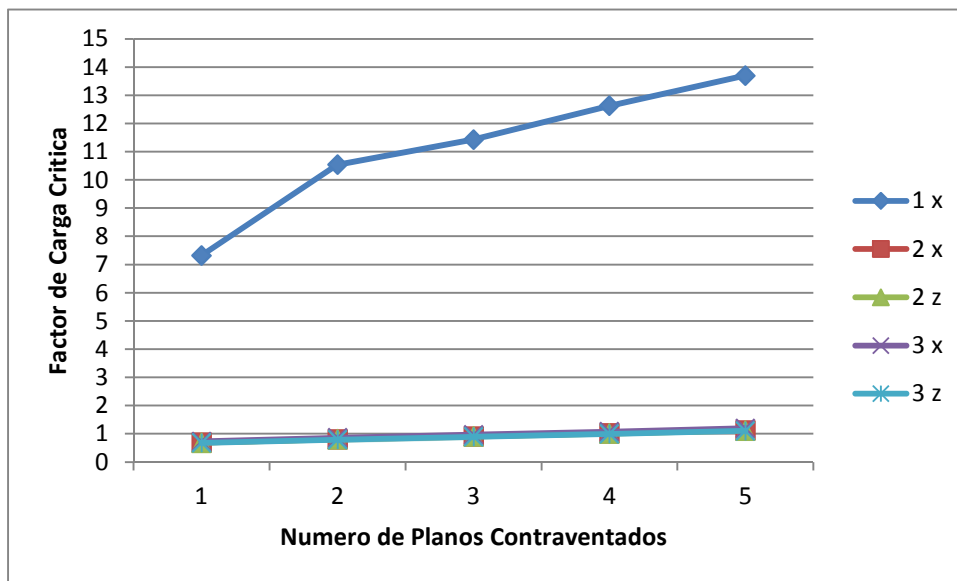


Figura 18 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 12 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,19	1,68	1,18	0,93	0,76
2x	1,78	0,94	0,68	0,54	0,46
2z	1,37	0,72	0,53	0,42	0,36
3x	4,56	2,40	1,70	1,34	1,12
3z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03

VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

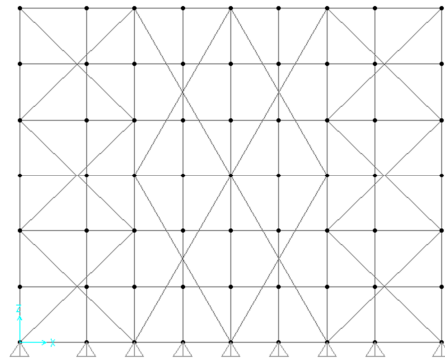


Figura 19 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

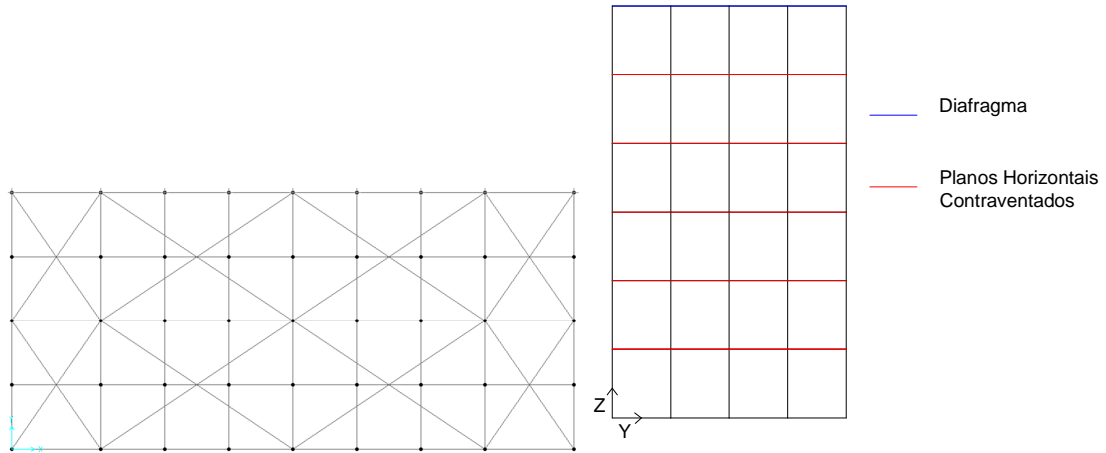


Figura 20 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 13 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	6,966	10,264	11,518	12,629	13,676
2x	0,641	0,750	0,845	0,935	1,026
2z	0,635	0,743	0,837	0,926	1,017
3x	0,679	0,794	0,895	0,990	1,087
3z	0,502	0,734	0,828	0,915	1,005

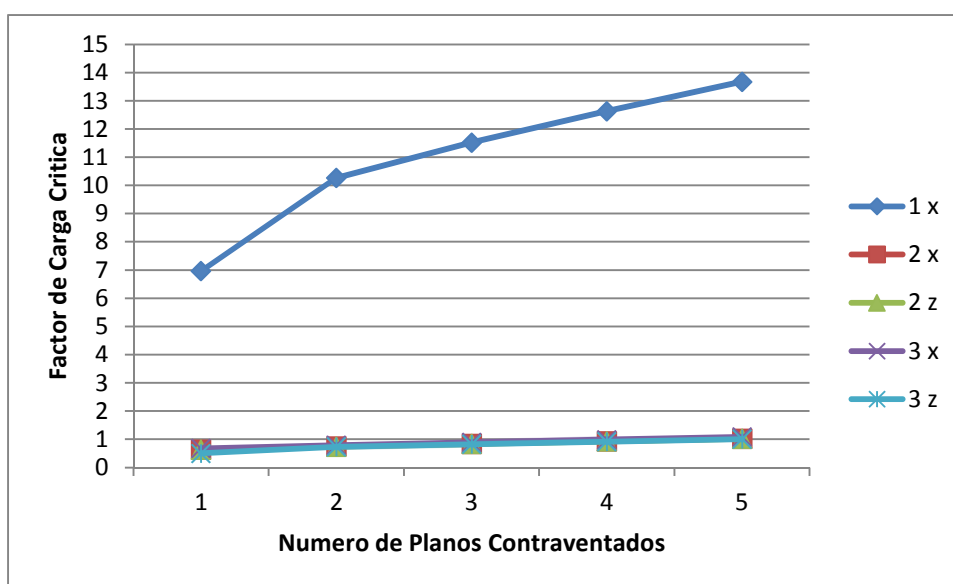


Figura 21 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 14 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,20	1,68	1,19	0,93	0,77
2x	1,77	0,94	0,68	0,54	0,46
2z	1,37	0,73	0,53	0,42	0,36
3x	4,58	2,40	1,71	1,35	1,12
3z	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04

- VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

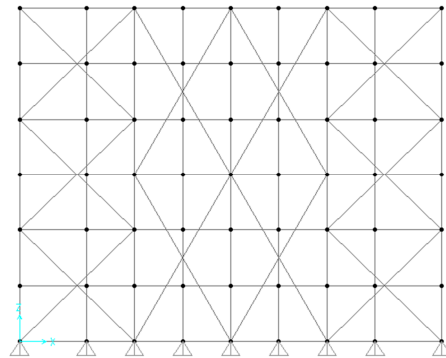


Figura 22 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

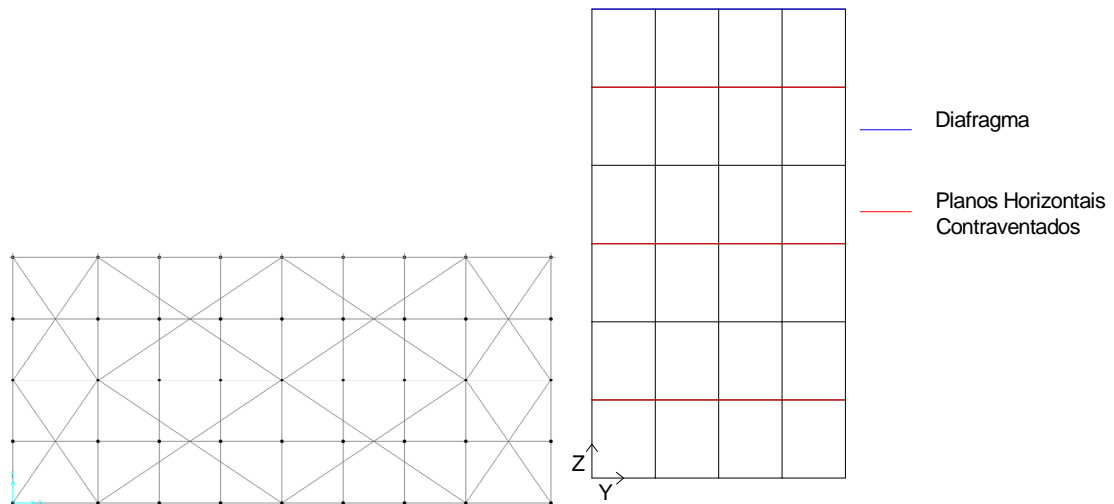


Figura 23 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 15 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	6,524	9,579	11,551	12,682	13,733
2x	0,389	0,595	0,744	0,861	1,018
2z	0,385	0,589	0,737	0,853	1,008
3x	0,412	0,630	0,788	0,912	1,078
3z	0,380	0,581	0,728	0,844	0,997

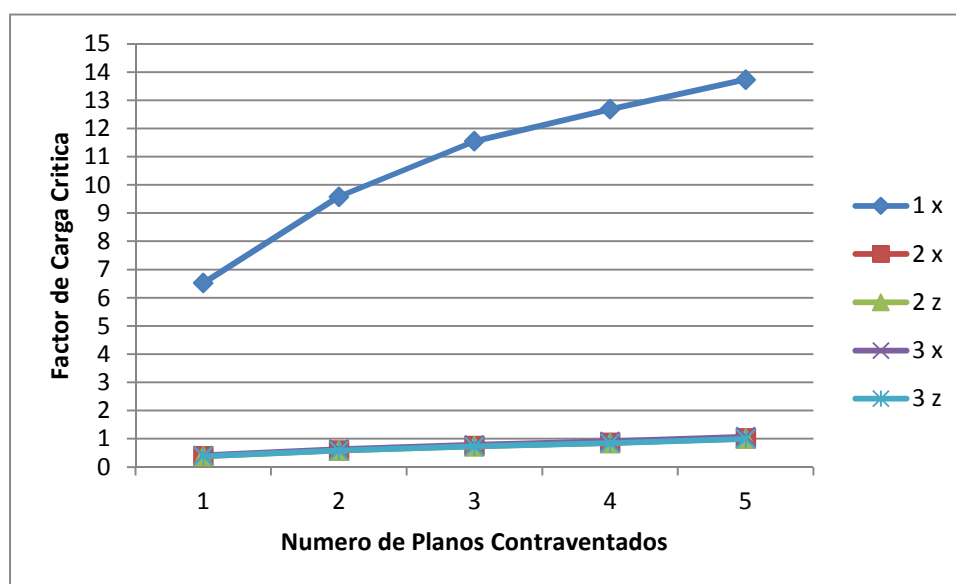


Figura 24 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 16 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	3,21	1,68	1,19	0,93	0,77
2x	1,77	0,94	0,68	0,54	0,46
2z	1,37	0,73	0,53	0,42	0,36
3x	4,58	2,41	1,72	1,35	1,12
3z	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03

2. Cimbra ao Solo Contínuo Com 18 m de Altura Para Um Vão de 20 m
 - I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

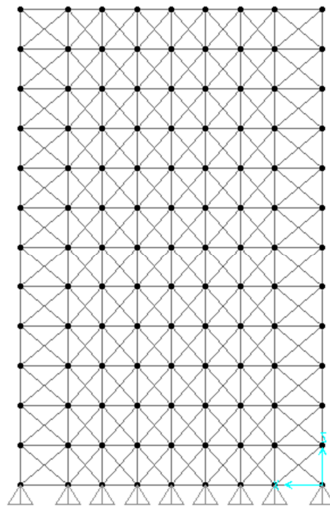


Figura 25 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

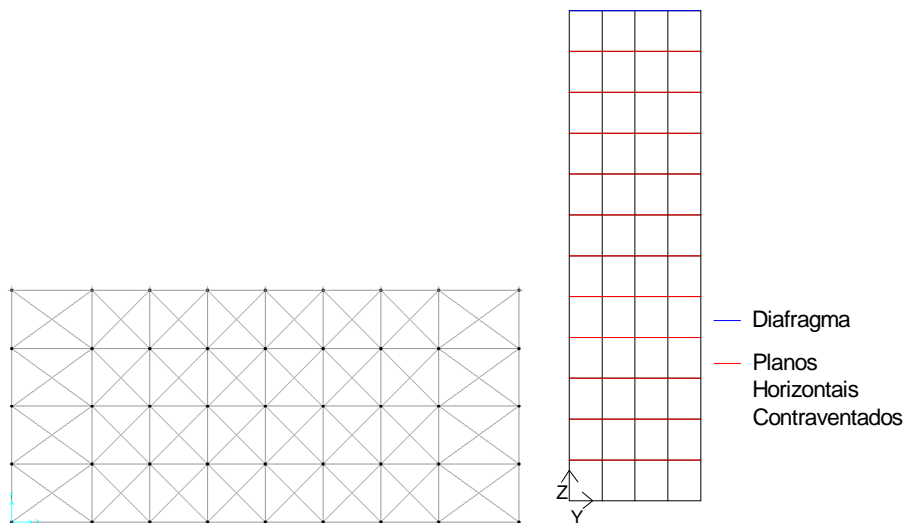


Figura 26 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 17 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	3,322	4,864	5,270	5,792	6,258
2x	0,716	0,785	0,835	0,875	0,904
2z	0,710	0,780	0,837	0,877	0,905
3x	0,755	0,799	0,816	0,861	0,895
3z	0,704	0,775	0,860	0,898	0,924

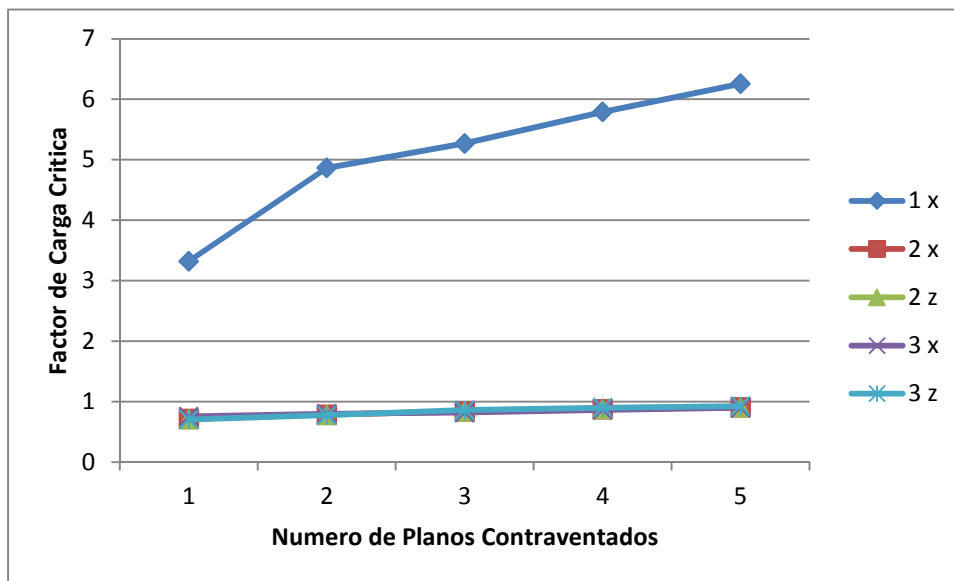


Figura 27 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 18 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	8,09	4,83	3,74	3,16	2,75
2x	4,74	2,88	2,34	1,92	1,72
2z	3,62	2,22	1,73	1,49	1,34
3x	11,55	6,90	5,34	5,54	4,02
3z	0,07	0,02	0,03	0,06	0,08

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

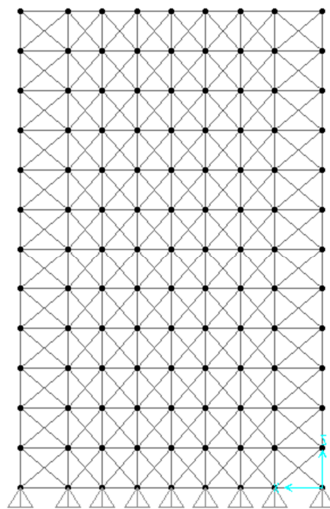


Figura 28 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

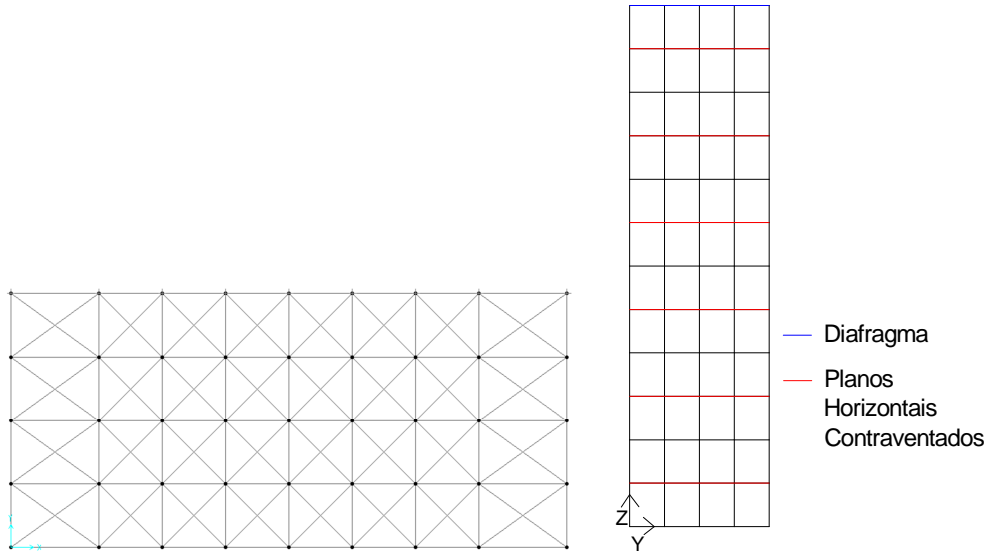


Figura 29 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 19 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,272	4,784	5,251	5,773	6,249
2x	0,250	0,287	0,421	0,491	0,885
2z	0,248	0,284	0,417	0,486	0,885
3x	0,265	0,304	0,446	0,520	0,877
3z	0,244	0,280	0,412	0,480	0,904

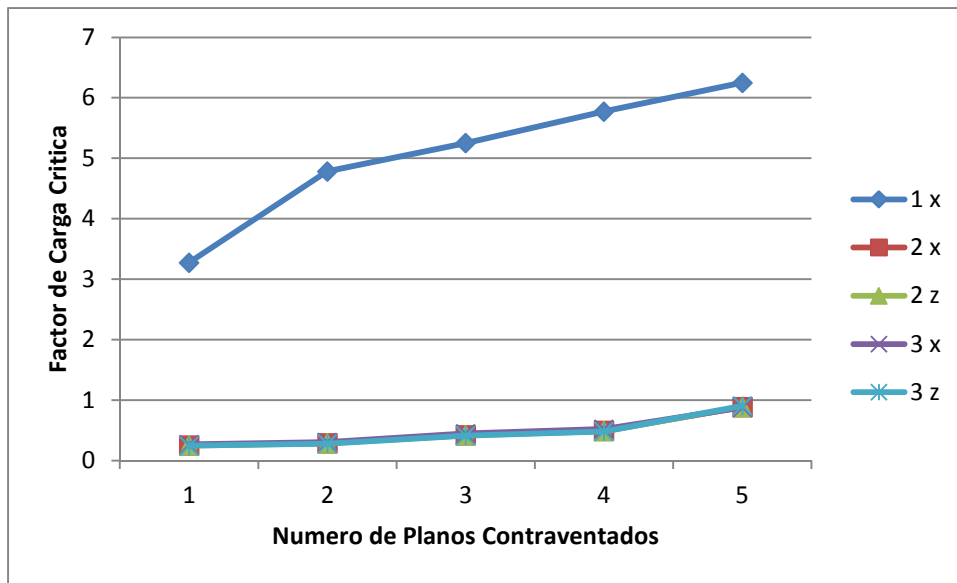


Figura 30 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 20 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	8,20	4,85	3,77	3,18	2,80
2x	4,83	2,86	2,25	1,93	1,73
2z	3,72	2,19	1,74	1,50	1,35
3x	11,7	6,92	5,38	4,57	4,05
3z	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

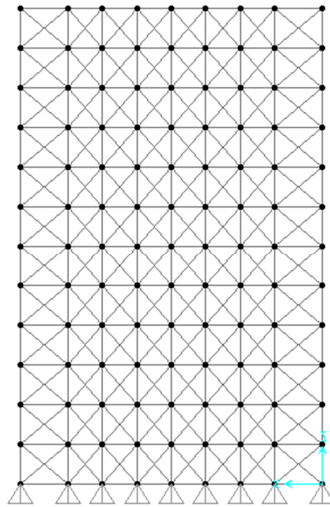


Figura 31 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

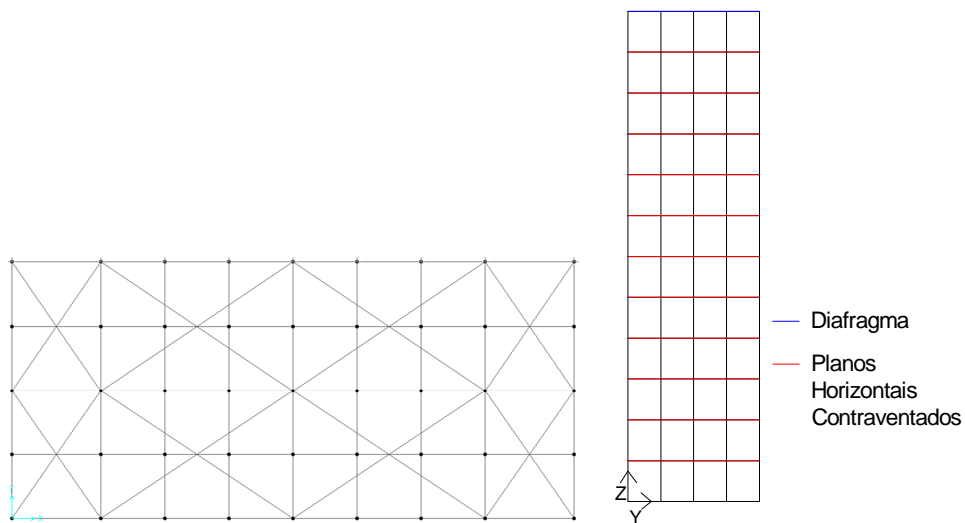


Figura 32 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 21 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,168	4,644	5,348	5,791	6,256
2x	0,630	0,696	0,794	0,839	0,877
2z	0,624	0,690	0,788	0,833	0,870
3x	0,664	0,733	0,818	0,851	0,888
3z	0,619	0,683	0,764	0,828	0,865

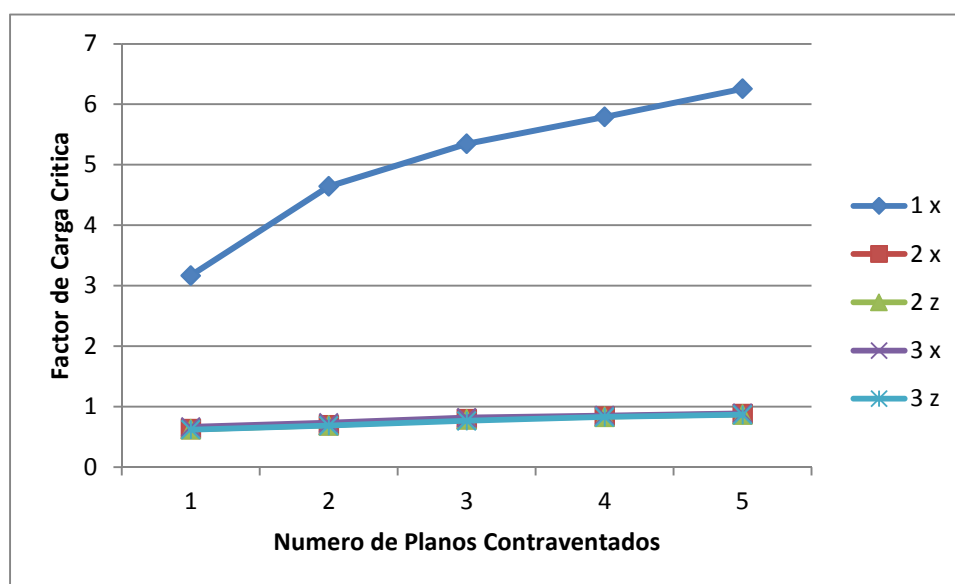


Figura 33 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 22 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	8,21	4,87	3,76	3,19	2,81
2x	4,84	2,90	2,26	1,94	1,74
2z	3,72	2,23	1,74	1,50	1,35
3x	11,72	6,96	5,38	4,58	4,06
3z	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

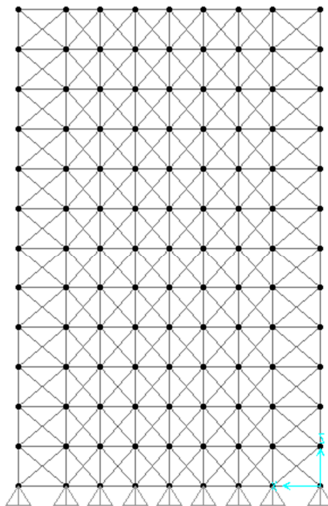


Figura 34 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

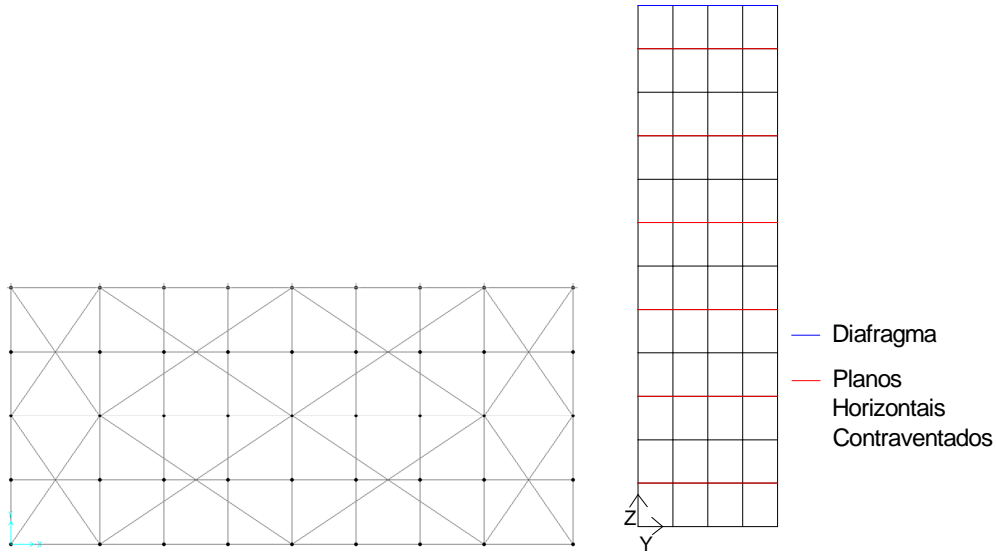


Figura 35 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 23 - Valores de Factores de Carga Critica

Caso de Carga	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	3,134	4,402	5,302	5,757	6,228
2x	0,213	0,256	0,341	0,427	0,866
2z	0,211	0,254	0,338	0,423	0,859
3x	0,226	0,272	0,361	0,452	0,871
3z	0,208	0,250	0,334	0,418	0,853

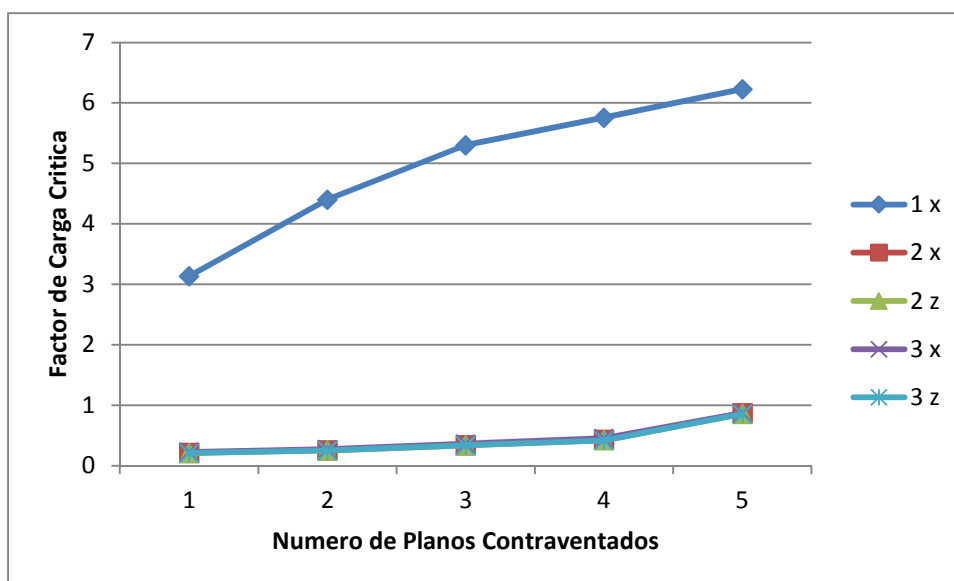


Figura 36 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 24 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	8,23	4,89	3,78	3,20	2,82
2x	4,85	2,91	2,26	1,95	1,74
2z	3,73	2,24	1,75	1,51	1,36
3x	11,76	6,99	5,40	4,60	4,07
3z	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

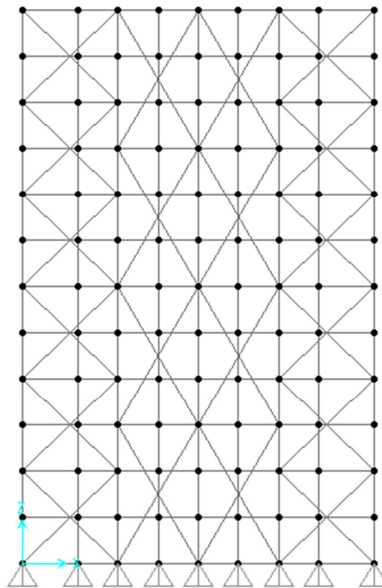


Figura 37 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

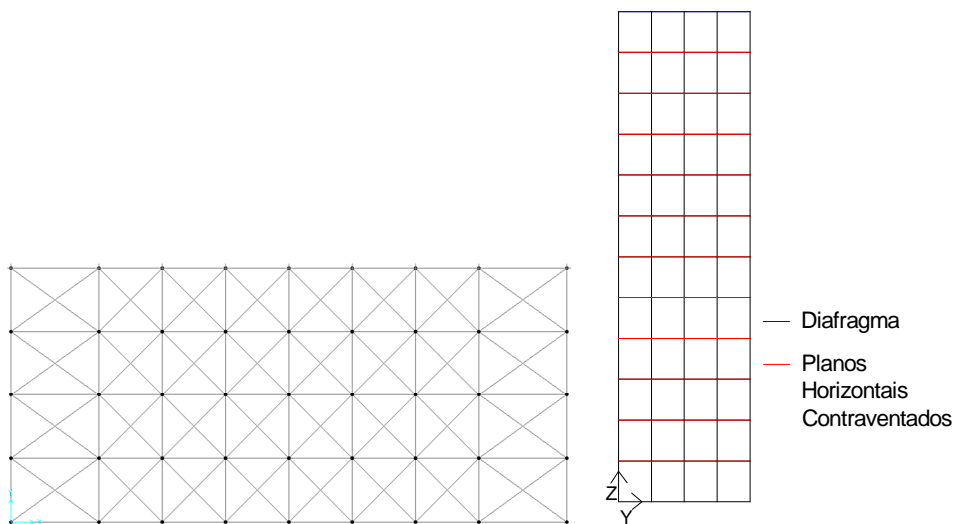


Figura 38 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 25 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,182	4,965	6,620	6,880	7,139
2x	0,526	0,618	0,563	0,594	0,627
2z	0,521	0,613	0,558	0,589	0,621
3x	0,555	0,653	0,595	0,628	0,663
3z	0,514	0,605	0,551	0,582	0,613

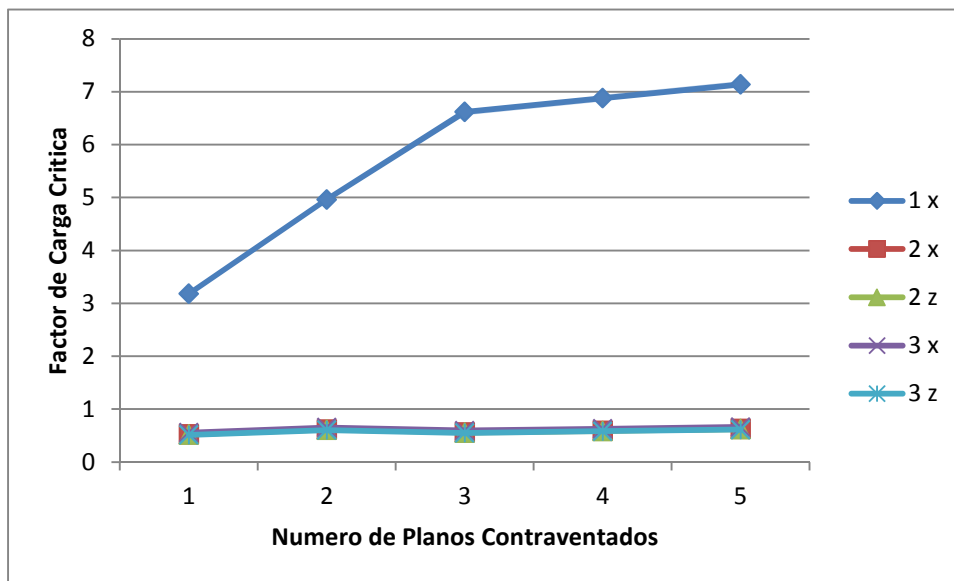


Figura 39 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 26 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	11,66	6,52	4,89	4,00	3,43
2x	6,67	3,76	2,84	2,35	2,03
2z	5,01	2,84	2,14	1,78	1,54
3x	13,66	9,31	7,00	5,72	4,91
3z	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

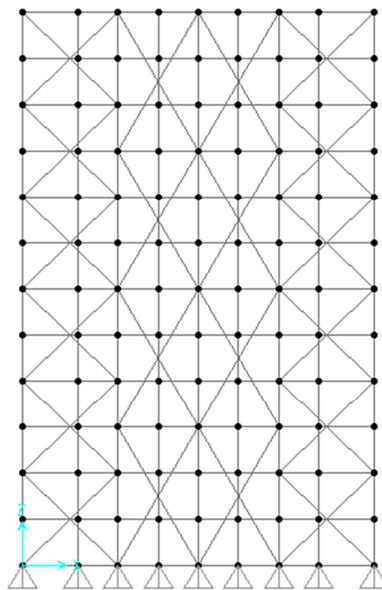


Figura 40 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

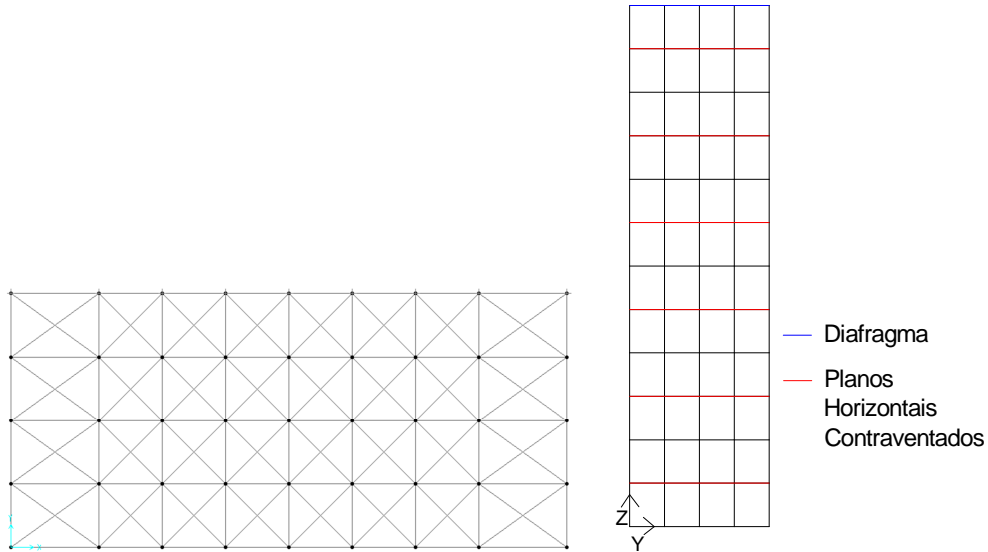


Figura 41 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 27 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,107	4,857	5,527	6,446	7,092
2x	0,335	0,409	0,576	0,494	0,551
2z	0,332	0,405	0,571	0,490	0,546
3x	0,355	0,433	0,610	0,523	0,583
3z	0,328	0,399	0,564	0,483	0,539

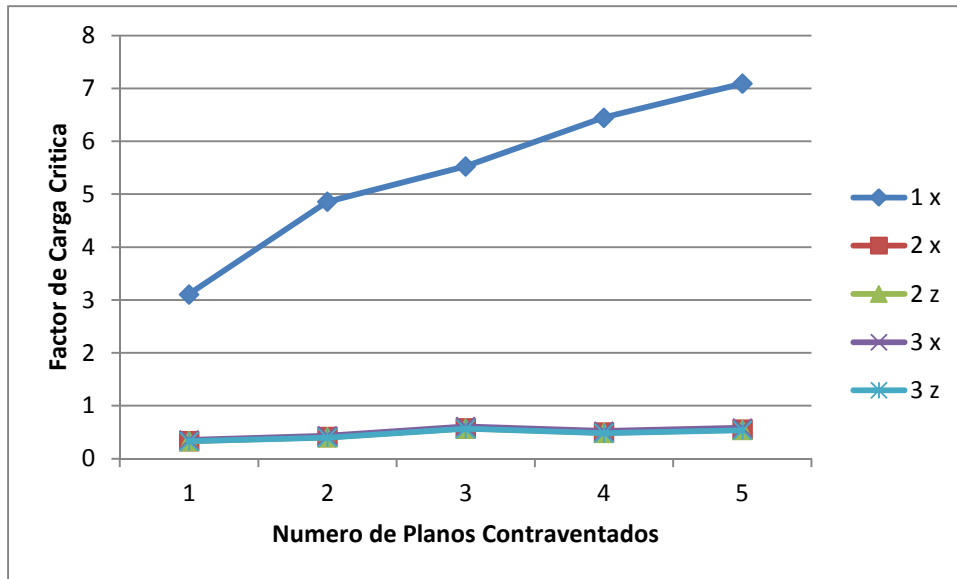


Figura 42 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 28 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	11,77	6,57	4,91	4,03	3,45
2x	6,74	3,79	2,90	2,36	2,04
2z	5,06	2,85	2,15	1,79	1,55
3x	18,81	9,39	7,02	5,77	4,95
3z	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

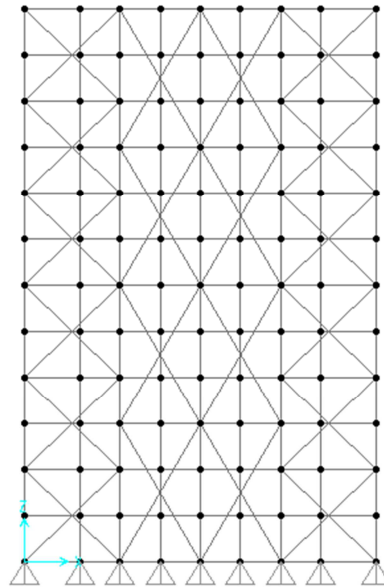


Figura 43 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

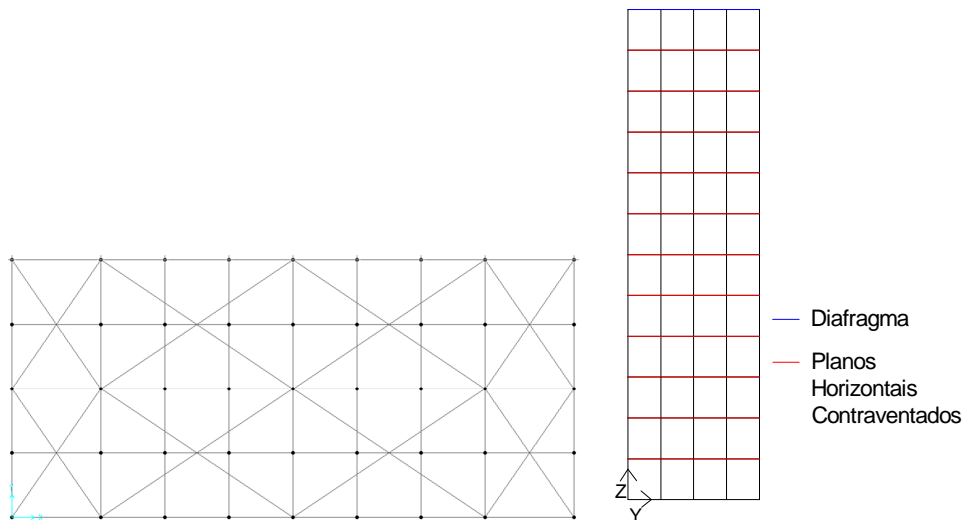


Figura 44 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 29 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,001	4,767	6,644	6,213	6,810
2x	0,490	0,573	0,510	0,710	0,775
2z	0,486	0,567	0,505	0,704	0,767
3x	0,518	0,606	0,540	0,751	0,820
3z	0,479	0,560	0,499	0,695	0,758

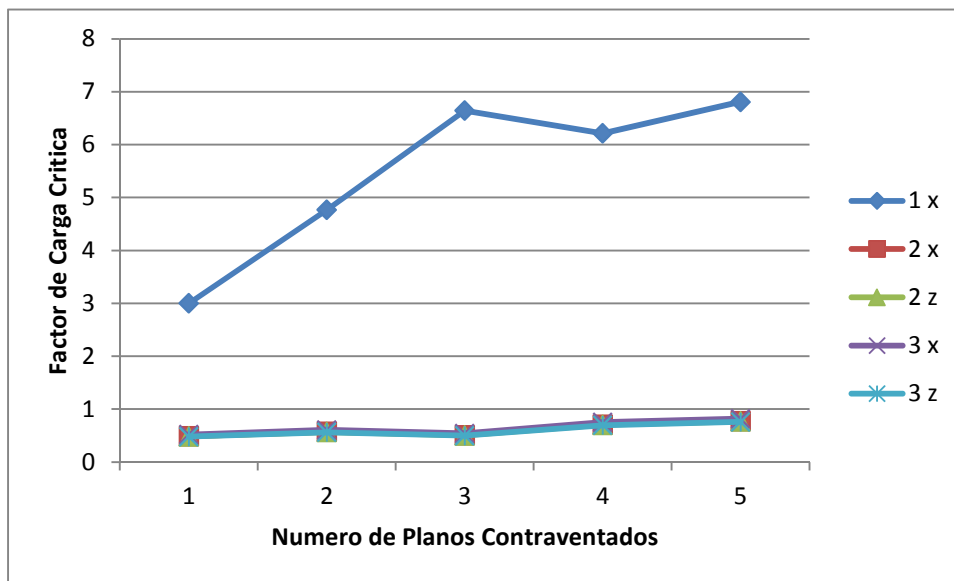


Figura 45 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 30 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	11,74	6,55	4,92	4,00	3,43
2x	6,72	3,78	2,86	2,35	2,03
2z	5,04	2,84	2,16	1,77	1,54
3x	16,78	9,36	7,03	5,73	5,00
3z	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04

VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

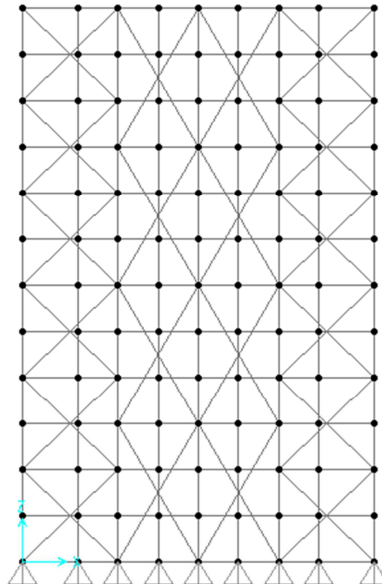


Figura 46 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

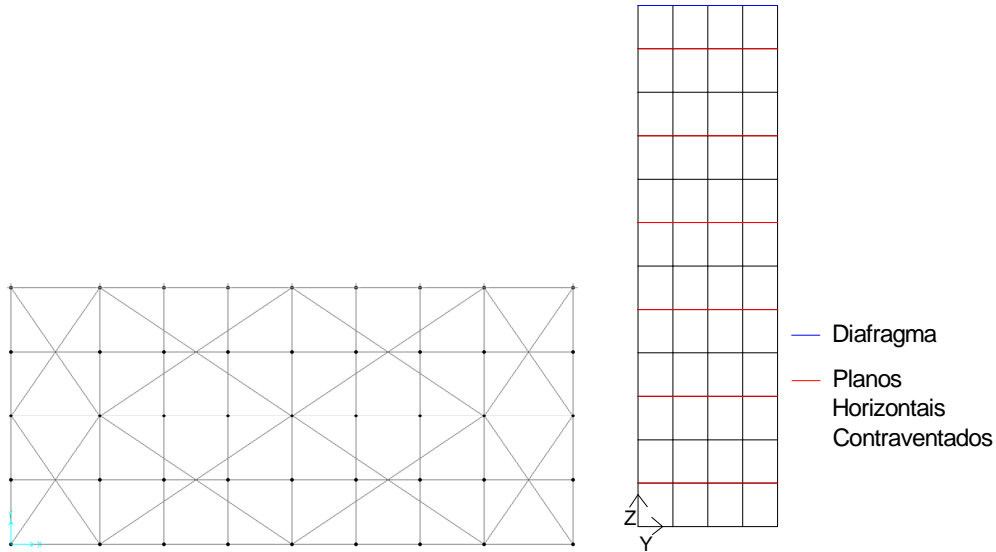


Figura 47 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 31 - Valores de Factores de Carga Crítica

Caso de Carga	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	2,972	4,824	5,552	6,227	6,821
2x	0,292	0,339	0,467	0,570	0,756
2z	0,289	0,336	0,462	0,564	0,749
3x	0,309	0,359	0,494	0,603	0,800
3z	0,285	0,331	0,457	0,558	0,740

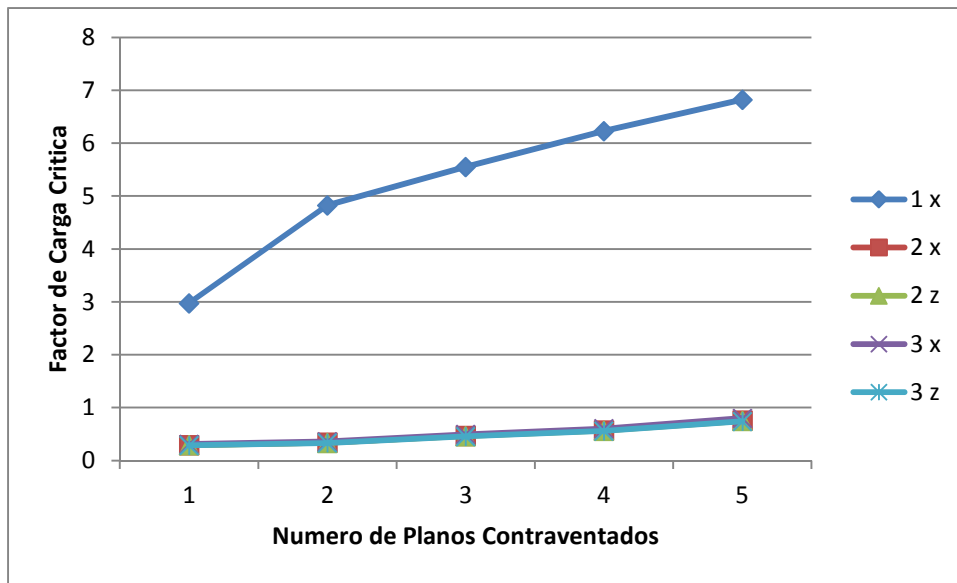


Figura 48 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 32 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	11,79	6,60	4,92	4,02	3,44
2x	6,75	3,80	2,86	2,35	2,03
2z	5,07	2,86	2,15	1,78	1,54
3x	16,84	9,43	7,02	5,75	4,93
3z	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04

3. Cimbra ao Solo Contínuo Com 9 m de Altura Para Um Vão de 40 m
 - I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

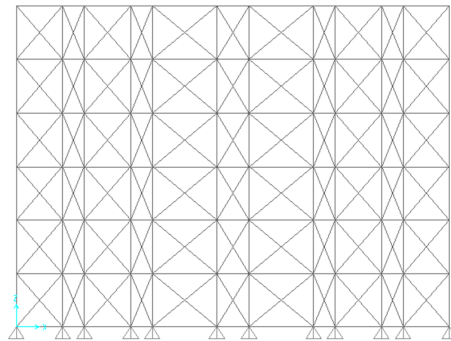


Figura 49 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

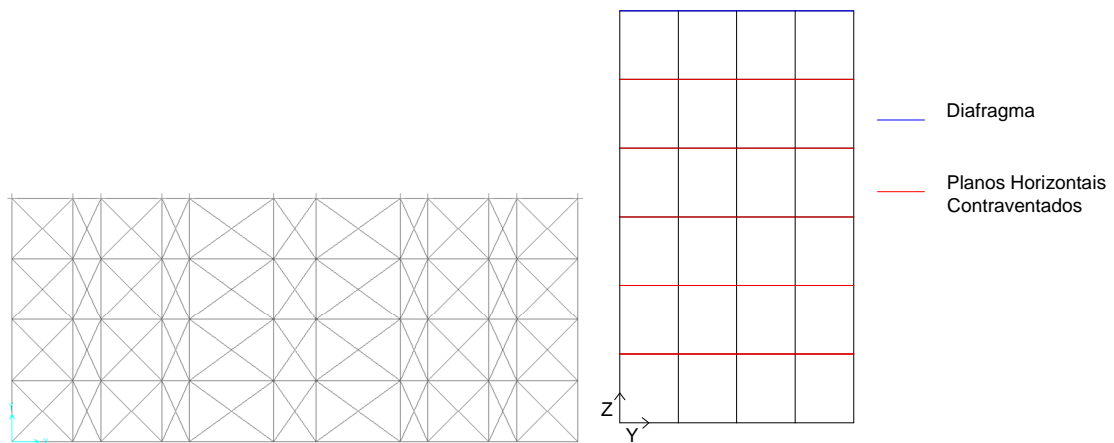


Figura 50 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 33 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	9,047	13,614	15,622	17,790	19,691
2x	1,668	1,932	2,173	2,384	2,700
2z	1,652	1,914	2,153	2,361	2,675
3x	1,743	2,013	2,263	2,488	2,796
3z	1,609	1,866	2,098	2,300	2,614

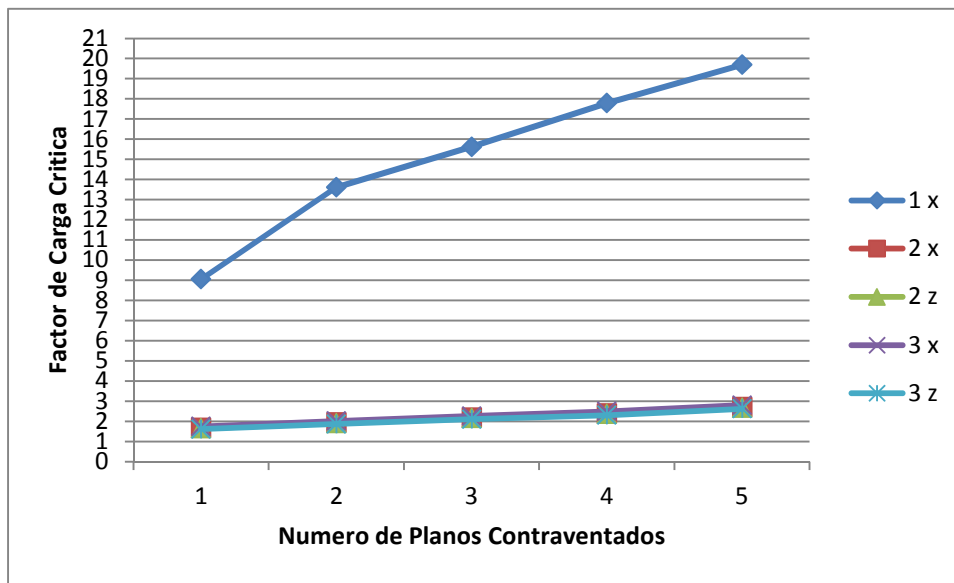


Figura 51 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 34 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,96	1,02	0,72	0,56	0,46
2x	1,54	0,82	0,57	0,46	0,39
2z	1,3	0,69	0,48	0,39	0,33
3x	2,8	1,47	1,03	0,81	0,68
3z	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

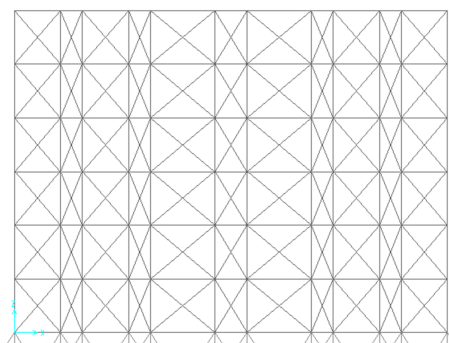


Figura 52 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

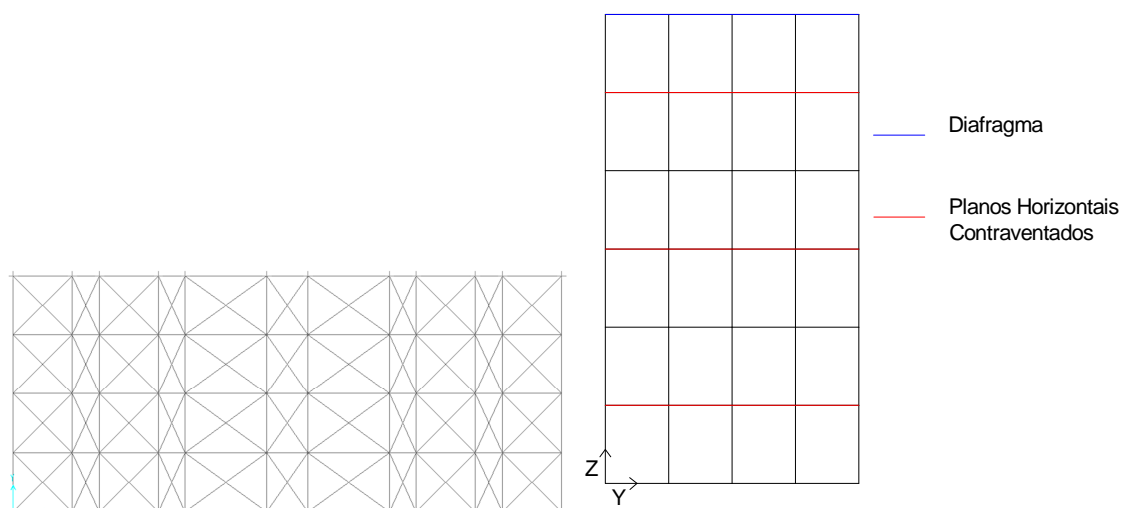


Figura 53 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 35 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	8,986	13,570	15,596	17,781	19,724
2x	0,756	0,902	1,241	1,375	2,684
2z	0,746	0,892	1,229	1,361	2,659
3x	0,793	0,948	1,302	1,443	2,750
3z	0,726	0,867	1,196	1,326	2,597

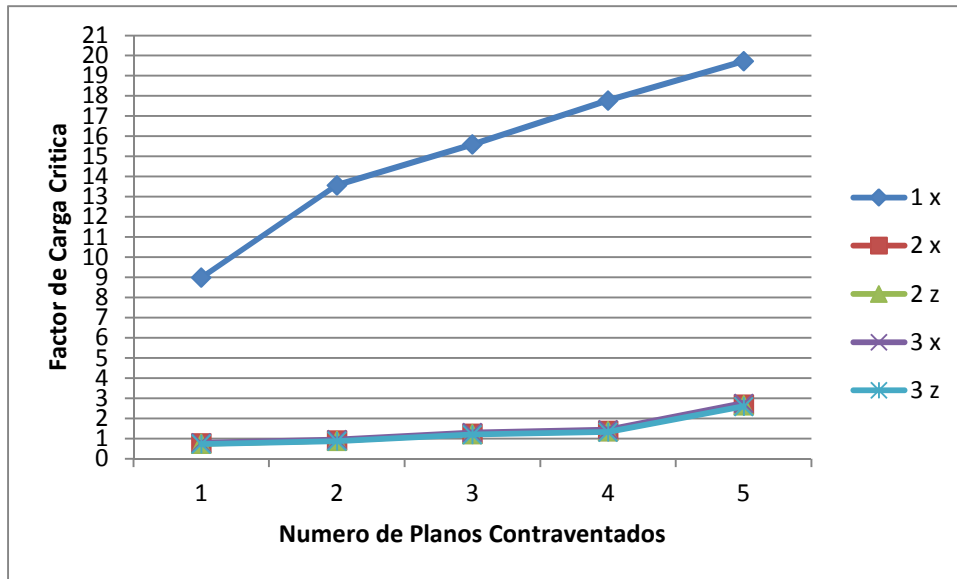


Figura 54 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 36 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	1,97	1,03	0,72	0,56	0,46
2x	1,55	0,82	0,58	0,46	0,39
2z	1,3	0,70	0,49	0,39	0,33
3x	2,81	1,48	1,03	0,81	0,68
3z	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

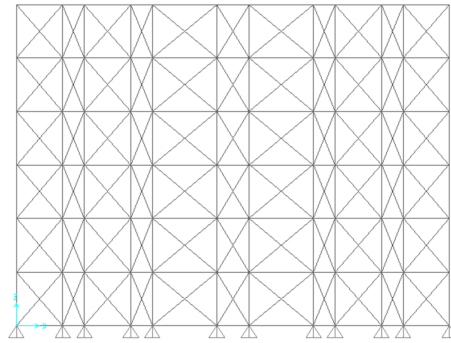


Figura 55 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

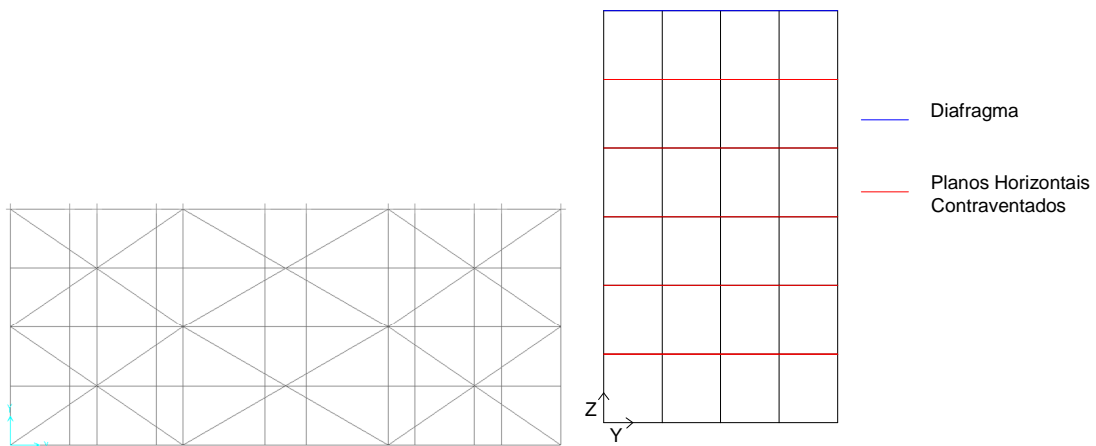


Figura 56 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 37 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	7,105	8,949	13,300	17,341	19,145
2x	1,304	1,156	1,573	2,225	2,462
2z	1,292	1,146	1,562	2,207	2,441
3x	1,356	1,203	1,636	2,315	2,561
3z	1,266	1,123	1,535	2,162	2,393

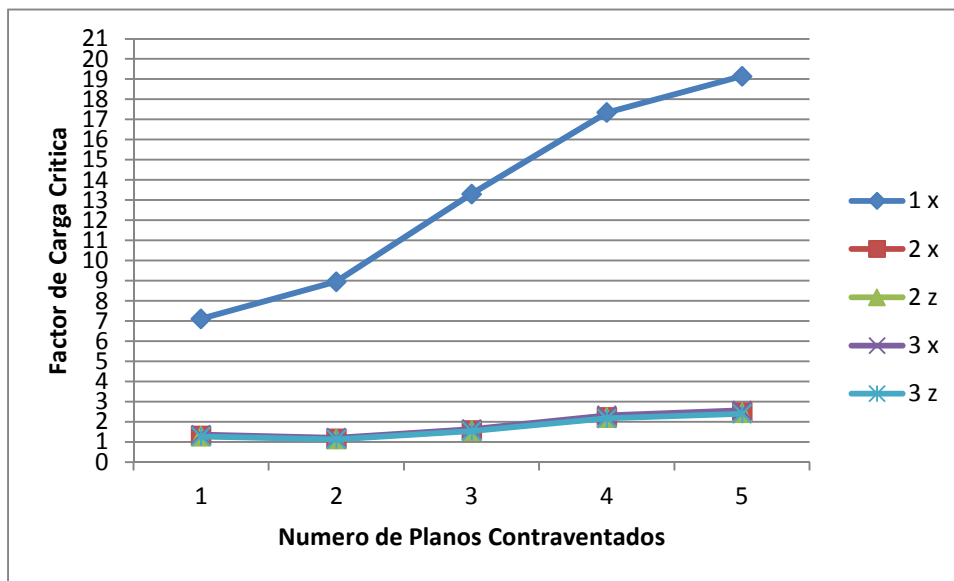


Figura 57 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 38 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	2,42	1,50	0,89	0,56	0,46
2x	1,93	1,52	0,71	0,46	0,39
2z	1,62	1,02	0,60	0,39	0,33
3x	3,46	2,15	1,26	0,81	0,68
3z	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

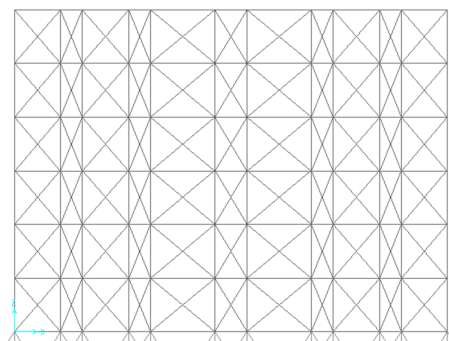


Figura 58 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

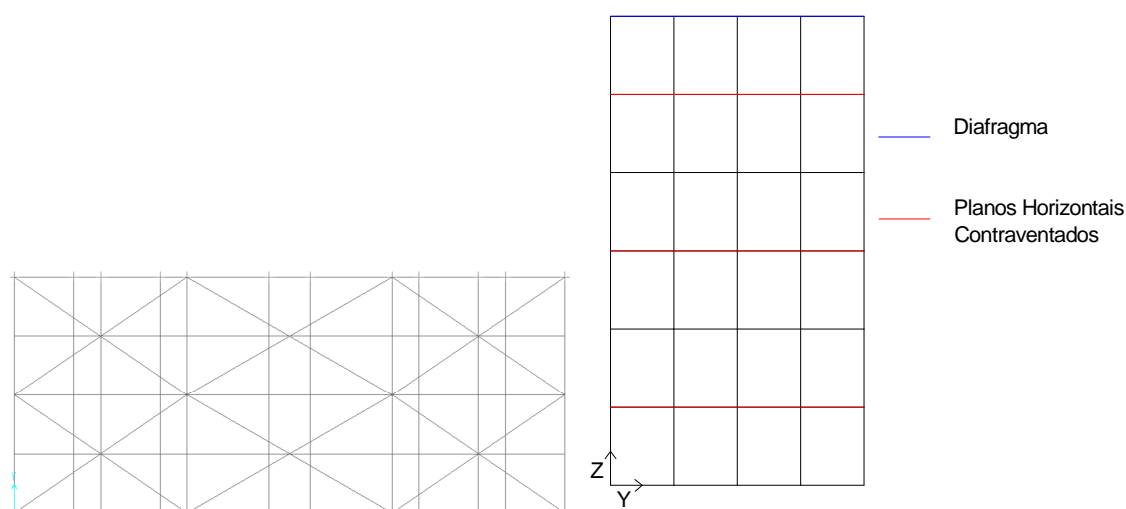


Figura 59 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 39 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	7,052	6,328	13,170	17,215	19,134
2x	0,584	0,448	0,875	1,136	2,448
2z	0,577	0,443	0,867	1,125	2,428
3x	0,613	0,470	0,919	1,192	2,546
3z	0,561	0,431	0,843	1,095	2,380

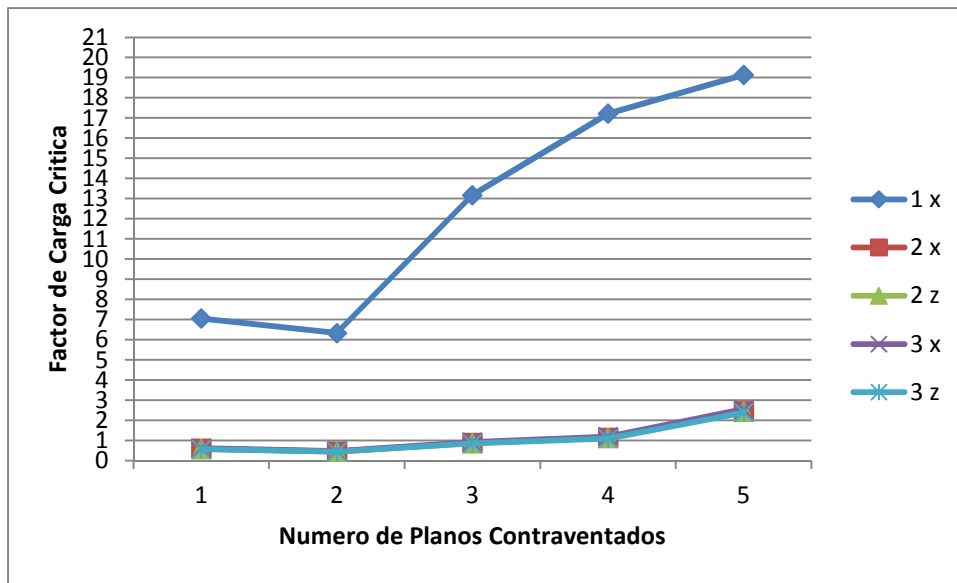


Figura 60 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 40 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	2,42	2,21	0,89	0,56	0,46
2x	1,93	1,82	0,71	0,46	0,39
2z	1,62	1,54	0,60	0,39	0,33
3x	3,46	3,17	1,26	0,82	0,68
3z	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

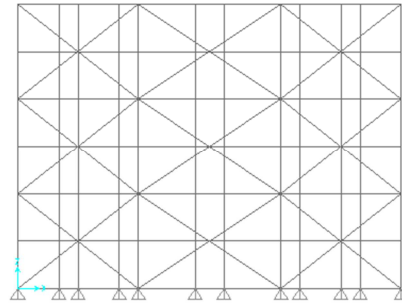


Figura 61 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

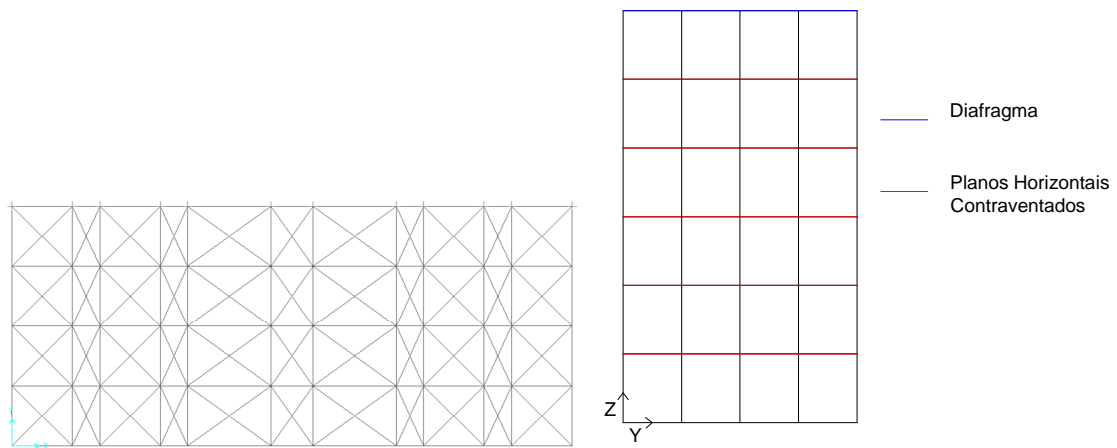


Figura 62 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 41 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	6,780	10,581	11,451	12,815	14,083
2x	2,617	2,650	2,698	2,739	2,772
2z	2,594	2,631	2,715	2,751	2,779
3x	2,201	2,605	2,521	2,601	2,668
3z	2,522	2,568	2,761	2,803	2,819

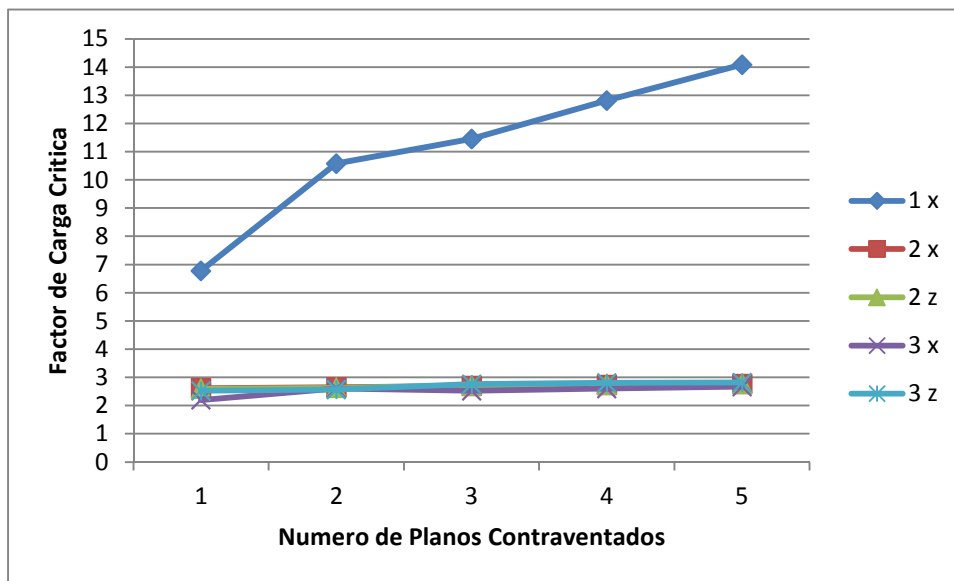


Figura 63 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 42 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	4,27	2,22	1,56	1,21	0,99
2x	2,54	1,32	0,94	0,73	0,61
2z	2,01	1,05	0,74	0,58	0,48
3x	6,10	3,17	2,23	1,73	1,42
3z	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

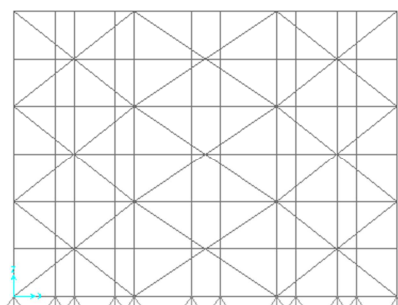


Figura 64 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

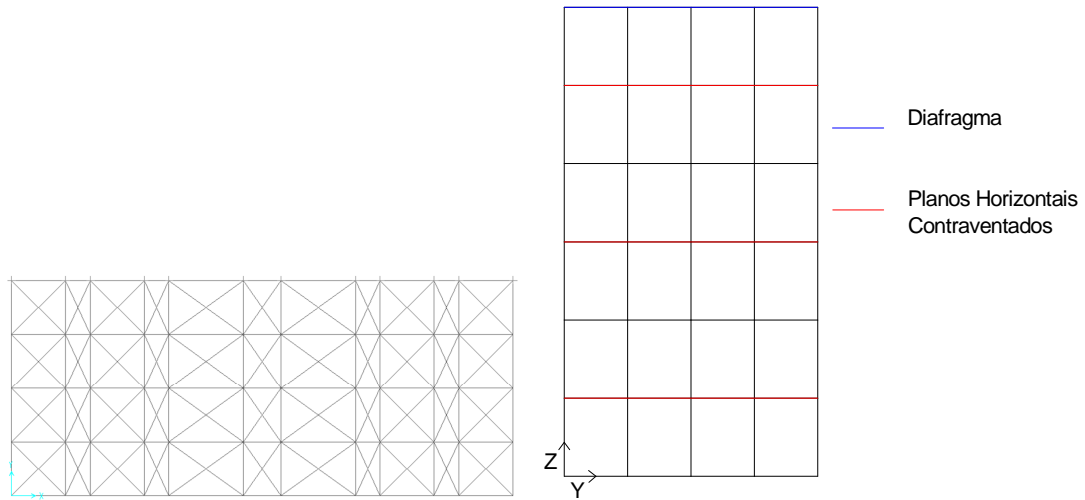


Figura 65 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 43 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	6,723	10,537	11,525	12,888	14,152
2x	1,165	1,248	1,478	1,518	2,735
2z	1,152	1,234	1,462	1,502	2,728
3x	1,228	1,317	1,555	1,596	2,635
3z	1,115	1,195	1,418	1,458	2,658

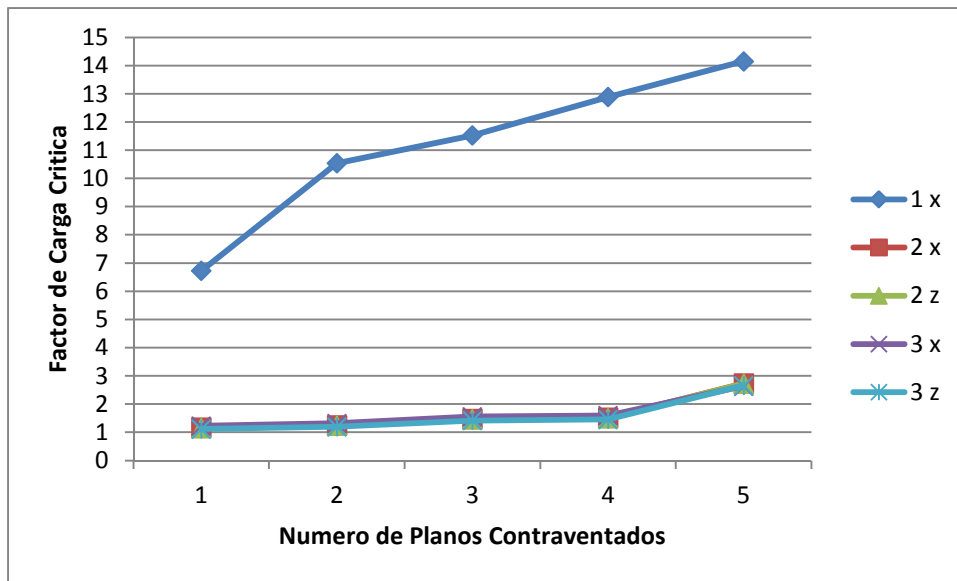


Figura 66 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 44 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	4,28	2,22	1,56	1,21	0,99
2x	2,55	1,33	0,94	0,73	0,61
2z	2,01	1,05	0,74	0,58	0,48
3x	6,11	3,17	2,23	1,73	1,43
3z	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

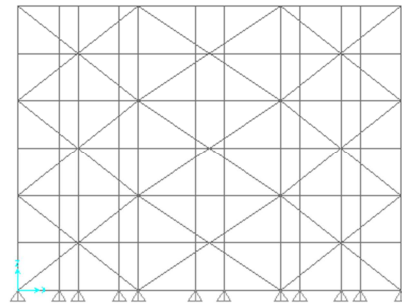


Figura 67 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

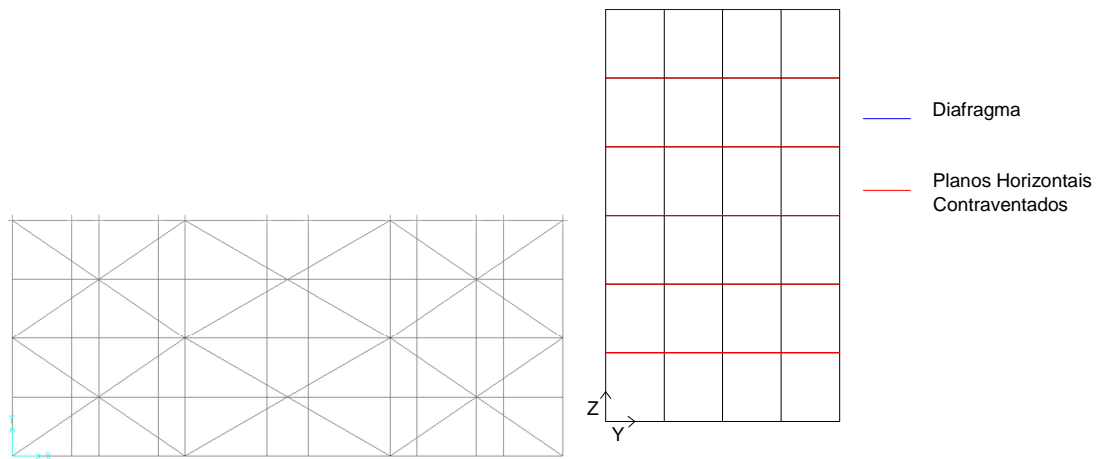


Figura 68 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 45 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	6,207	8,880	9,976	10,846	11,709
2x	1,656	1,678	1,730	1,759	1,786
2z	1,646	1,669	1,726	1,754	1,779
3x	1,663	1,703	1,727	1,762	1,800
3z	1,625	1,653	1,730	1,758	1,777

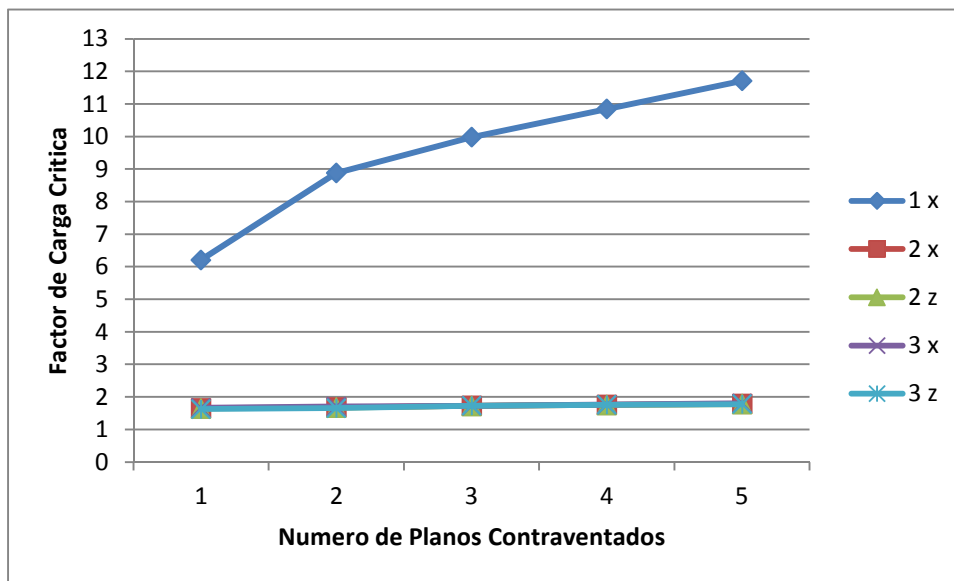


Figura 69 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 46 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	4,34	2,27	1,61	1,26	1,04
2x	3,60	2,20	1,78	1,52	1,33
2z	3,08	1,93	1,60	1,37	1,22
3x	6,73	3,79	2,88	2,36	2,01
3z	0,69	0,71	0,75	0,72	0,68

- VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

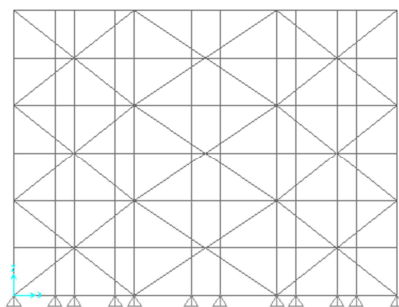


Figura 70 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

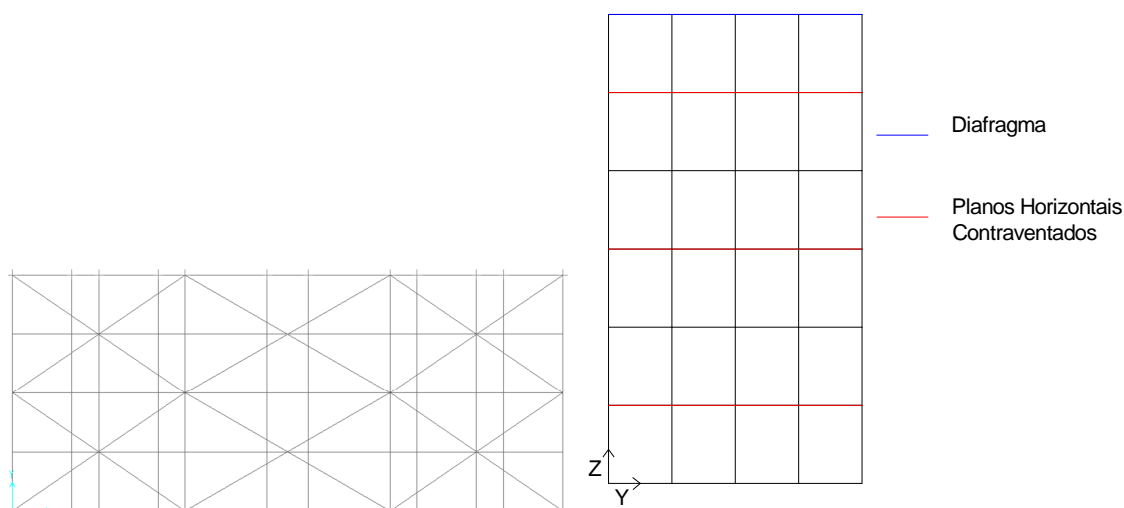


Figura 71 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 47 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	6,171	8,917	9,989	10,871	11,737
2x	0,778	0,841	1,040	1,043	1,780
2z	0,768	0,831	1,028	1,031	1,773
3x	0,822	0,890	1,098	1,100	1,794
3z	0,741	0,802	0,993	0,997	1,771

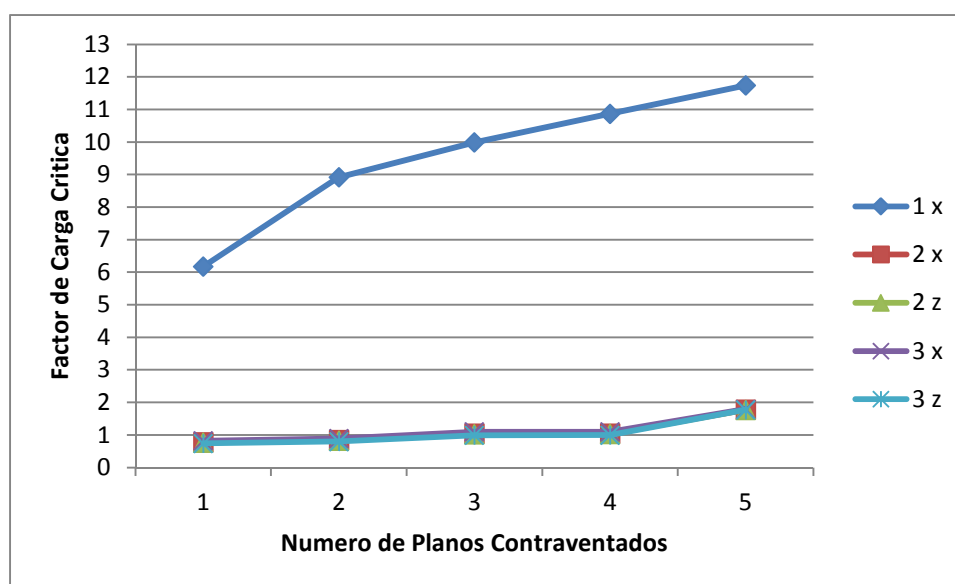


Figura 72 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 48 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	4,34	2,27	1,61	1,26	1,04
2x	3,60	2,20	1,78	1,52	1,33
2z	3,08	1,93	1,60	1,37	1,22
3x	6,73	3,80	2,88	2,36	2,02
3z	0,69	0,71	0,74	0,72	0,68

4. Cimbra ao Solo Contínuo Com 18 m de Altura Para Um Vão de 40 m
 - I. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

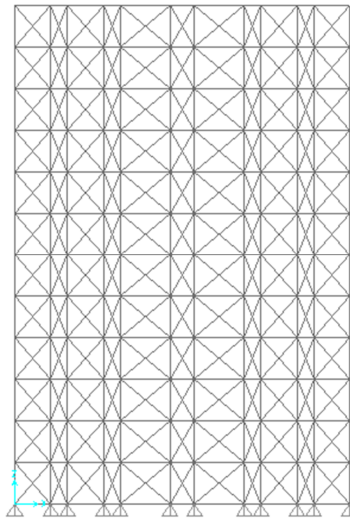


Figura 73 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

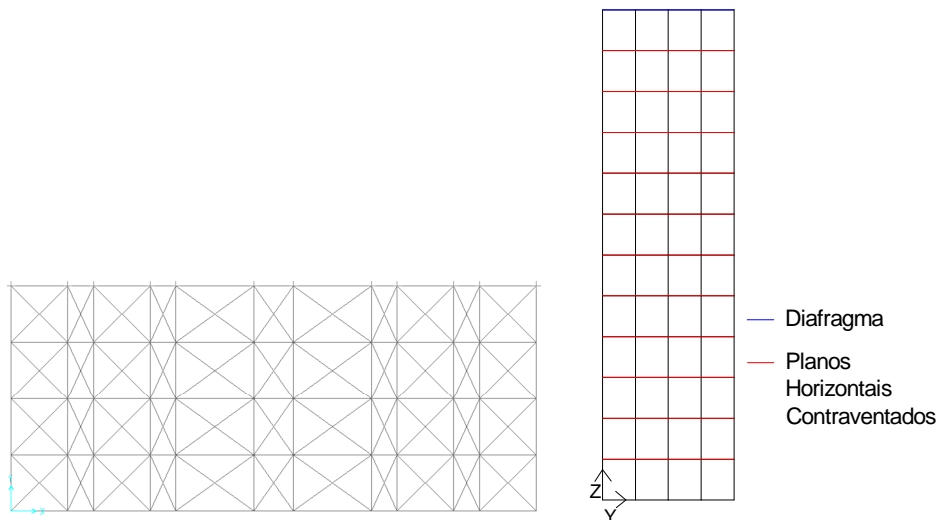


Figura 74 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 49 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	4,596	4,132	8,232	9,354	10,376
2x	1,658	1,312	2,113	2,278	2,402
2z	1,647	1,334	2,133	2,295	2,415
3x	1,471	1,141	1,940	2,116	2,257
3z	1,600	1,463	2,086	2,326	2,515

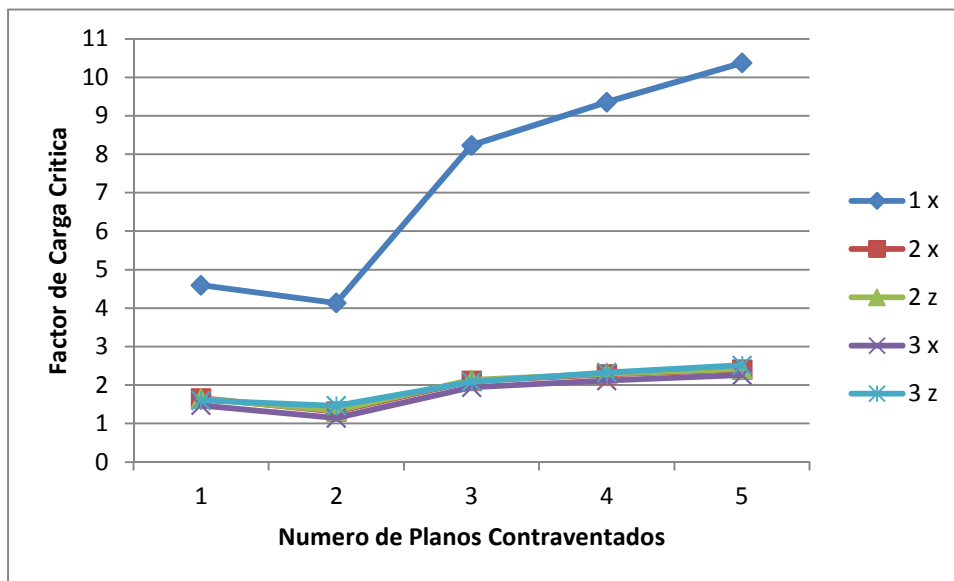


Figura 75 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Critica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 50 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	7,25	4,08	3,02	2,44	2,06
2x	4,73	2,68	1,98	1,62	1,38
2z	3,94	2,24	1,66	1,35	1,16
3x	10,35	5,83	4,30	3,49	2,97
3z	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02

- II. Contraventamento dos planos horizontais e verticais com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3m.

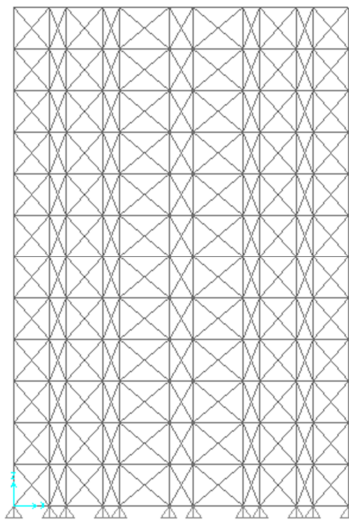


Figura 76 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

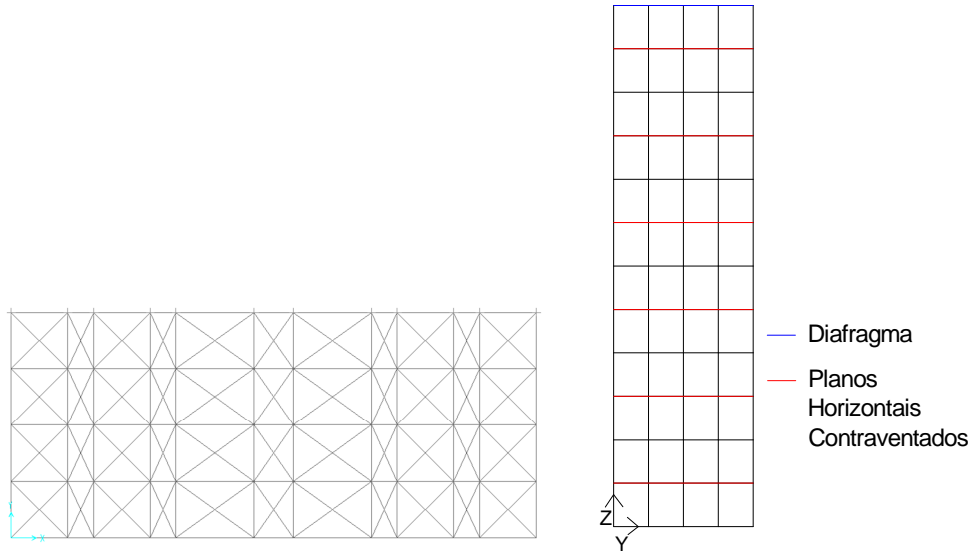


Figura 77 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 51 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	4,555	7,126	8,240	9,358	10,401
2x	0,621	0,749	1,105	1,260	2,351
2z	0,614	0,741	1,094	1,247	2,364
3x	0,652	0,787	1,159	1,321	2,212
3z	0,591	0,713	1,054	1,202	2,458

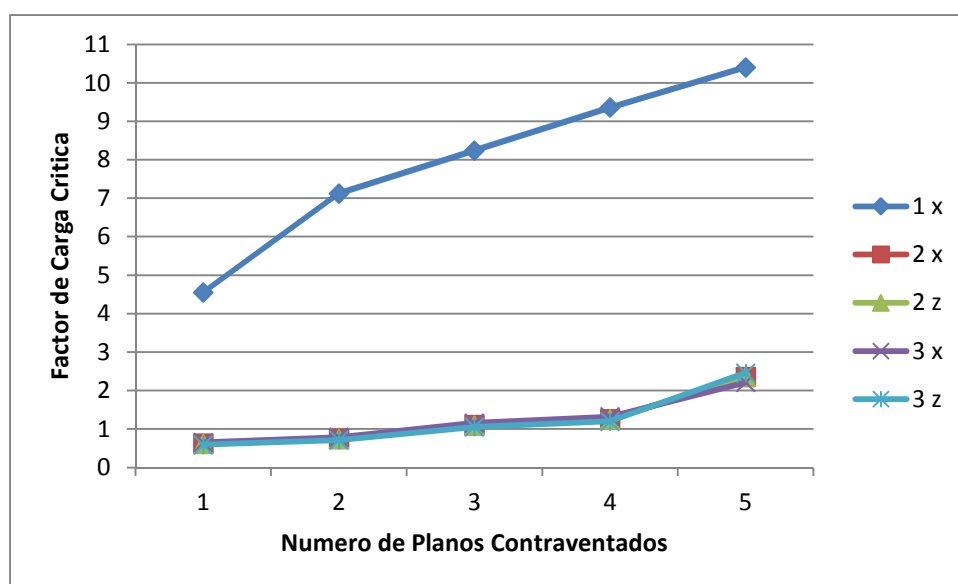


Figura 78 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 52 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	7,28	4,09	3,02	2,45	2,07
2x	4,75	2,69	1,99	1,62	1,39
2z	3,96	2,24	1,66	1,36	1,16
3x	10,40	5,85	4,32	3,50	2,98
3z	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03

- III. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que todos os planos horizontais estão contraventados.

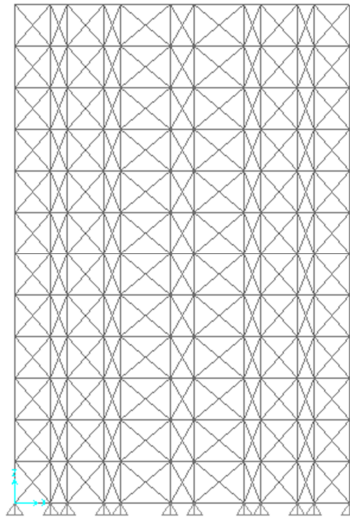


Figura 79 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

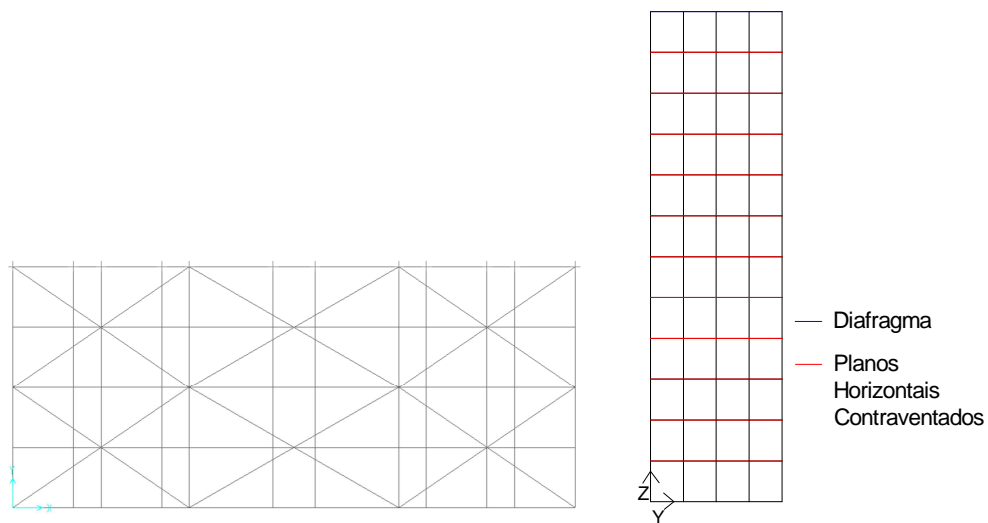


Figura 80 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 53 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	4,422	6,731	8,223	9,130	10,085
2x	1,511	1,720	2,025	2,154	2,300
2z	1,499	1,709	2,010	2,169	2,313
3x	1,455	1,675	1,880	2,007	2,161
3z	1,452	1,662	1,961	2,149	2,336

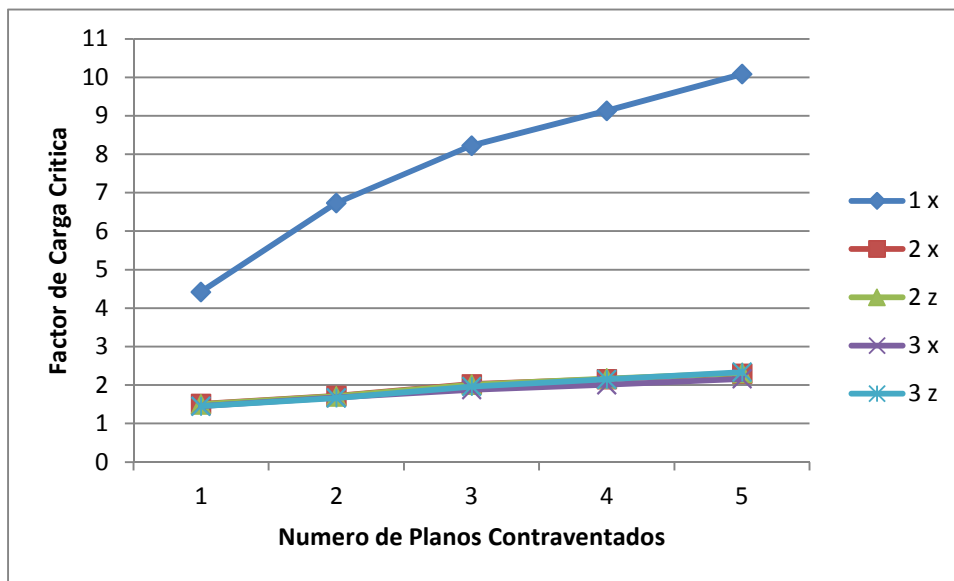


Figura 81 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 54 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	7,27	4,11	3,01	2,45	2,07
2x	4,75	2,70	1,99	1,62	1,38
2z	3,96	2,25	1,66	1,32	1,16
3x	10,39	5,87	4,30	3,50	2,97
3z	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02

- IV. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais grandes e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais pequenas em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

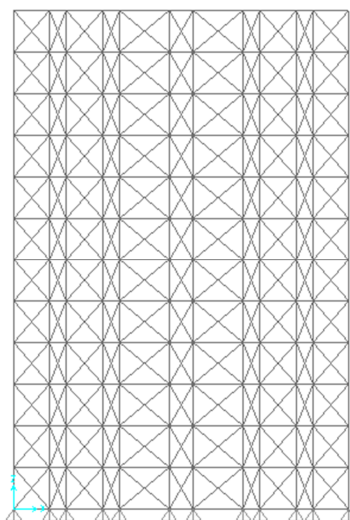


Figura 82 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Pequenos

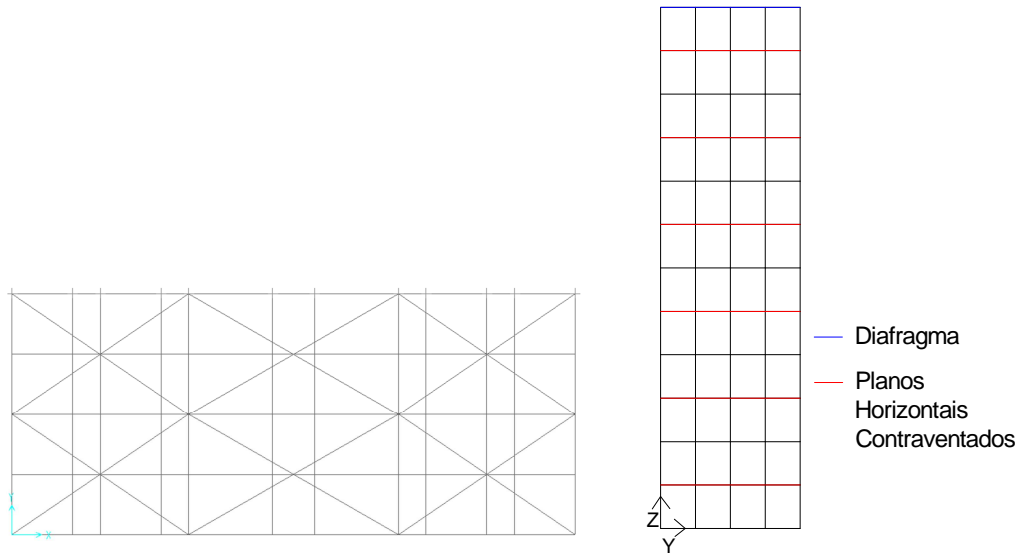


Figura 83 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 55 - Valores de Factores de Carga Critica

Caso de Carga	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	4,350	6,726	8,165	9,114	10,077
2x	0,502	0,616	0,932	0,988	2,268
2z	0,496	0,610	0,922	0,978	2,281
3x	0,527	0,647	0,977	1,036	2,133
3z	0,478	0,587	0,889	0,943	2,318

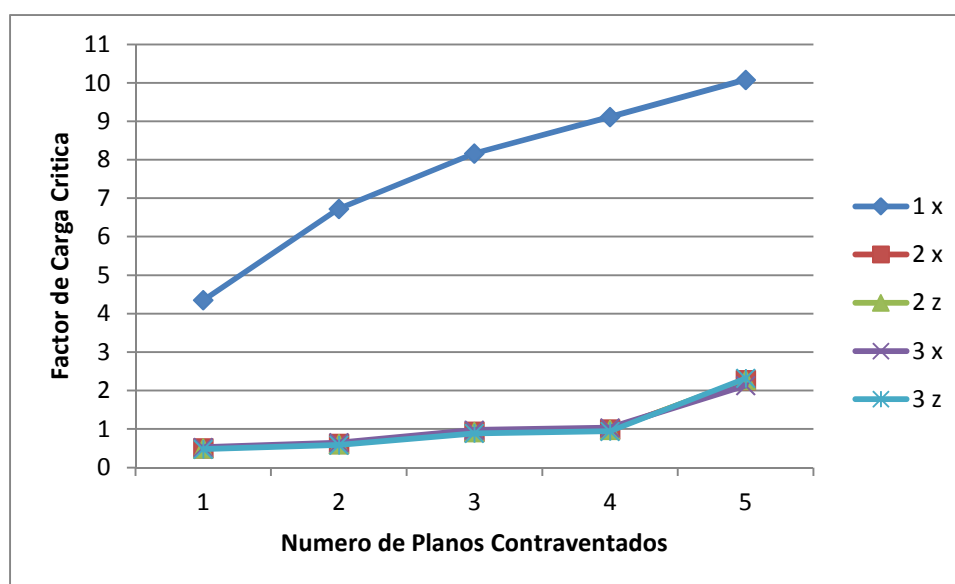


Figura 84 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 56 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	7,29	4,11	3,02	2,45	2,07
2x	4,76	2,70	1,99	1,62	1,39
2z	3,96	2,26	1,66	1,36	1,16
3x	10,41	5,88	4,32	3,51	2,98
3z	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02

- V. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

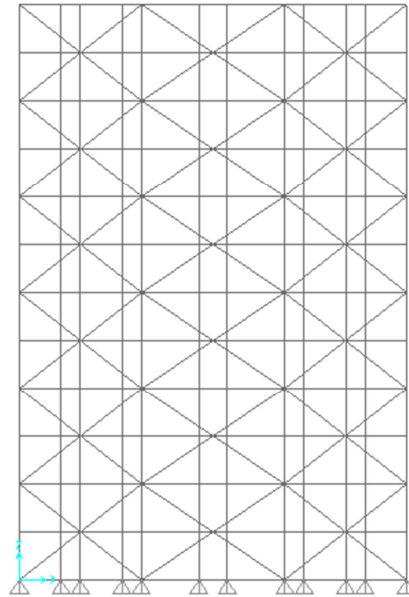


Figura 85 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

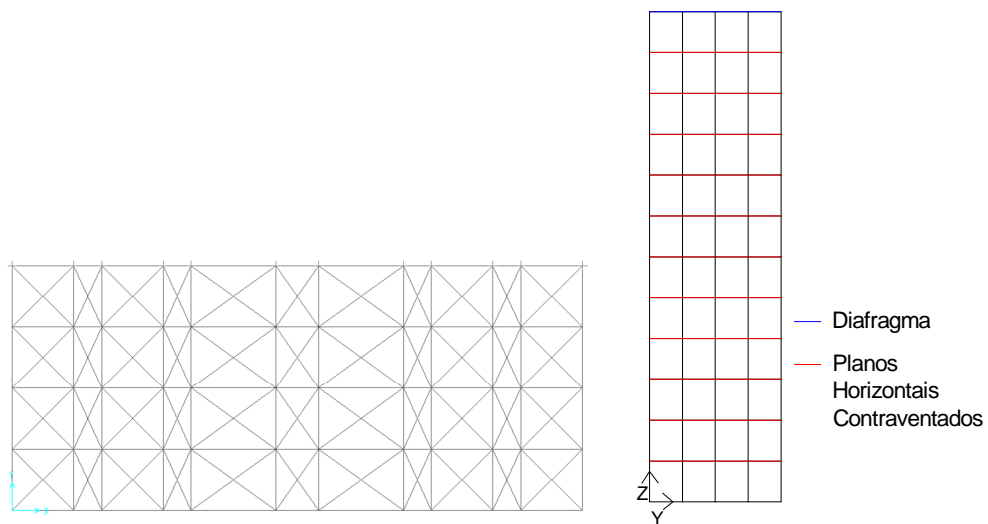


Figura 86 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 57 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,847	6,252	7,141	8,043	8,801
2x	2,468	2,910	2,828	2,872	2,912
2z	2,600	2,985	2,887	2,920	2,952
3x	1,728	2,313	2,375	2,486	2,575
3z	3,045	3,110	3,200	3,181	3,176

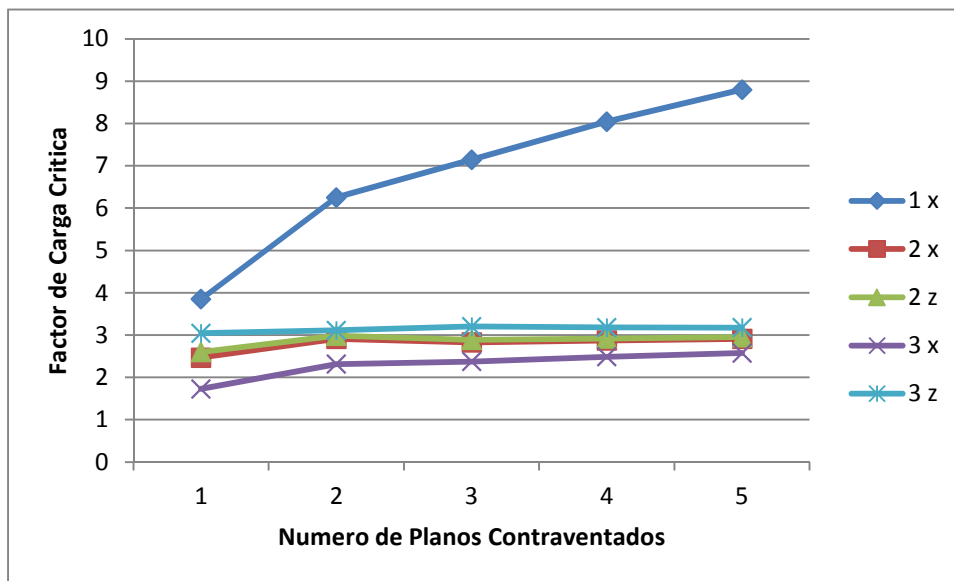


Figura 87 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 58 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	10,49	5,75	4,25	3,45	2,93
2x	6,41	3,53	2,63	2,13	1,82
2z	5,29	2,91	2,17	1,76	1,51
3x	14,98	8,20	6,08	4,92	4,18
3z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- VI. Contraventamento dos planos horizontais executados com diagonais pequenas e contraventamento dos planos verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

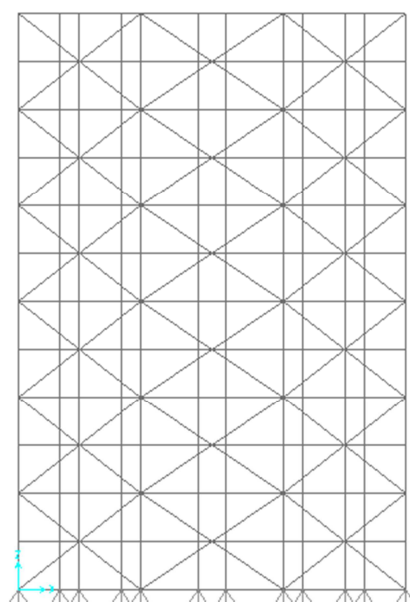


Figura 88 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

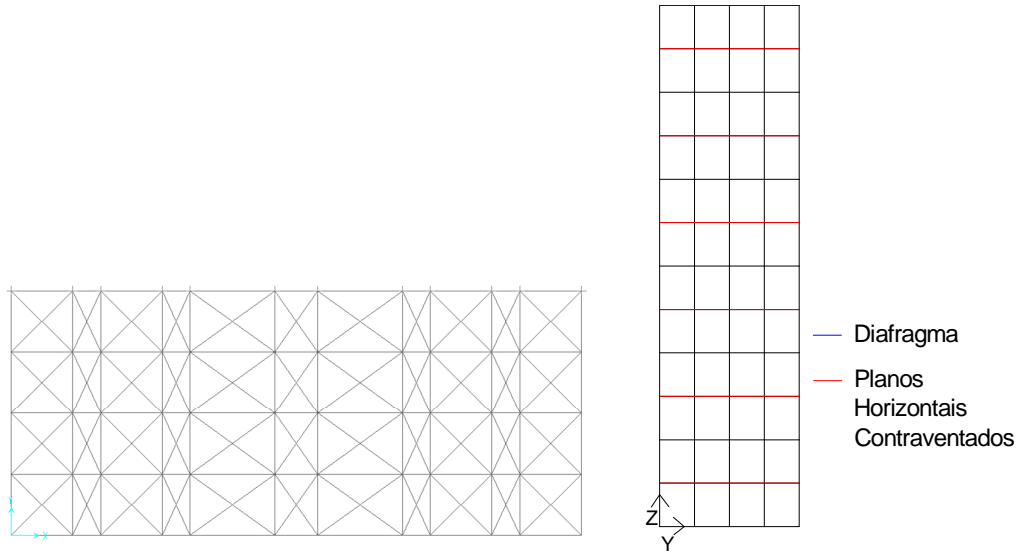


Figura 89 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Pequenos

Tabela 59 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,786	6,212	7,222	8,125	8,866
2x	1,184	1,297	1,544	1,563	2,847
2z	1,172	1,284	1,529	1,547	2,885
3x	1,241	1,360	1,617	1,636	2,524
3z	1,121	1,236	1,475	1,493	3,096

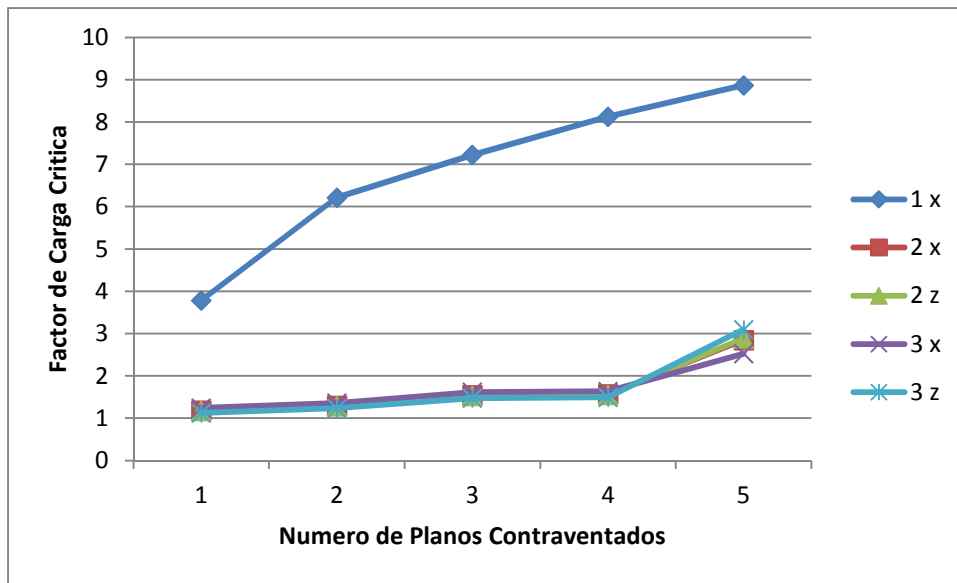


Figura 90 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 60 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	10,56	5,78	4,28	3,46	2,94
2x	6,46	3,55	2,64	2,14	1,83
2z	5,33	2,93	2,18	1,77	1,51
3x	15,09	8,26	6,11	4,93	4,20
3z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

- VII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que todos os planos horizontais estão contraventados.

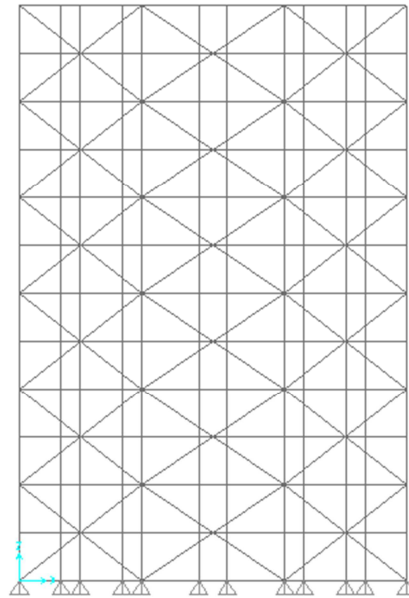


Figura 91 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

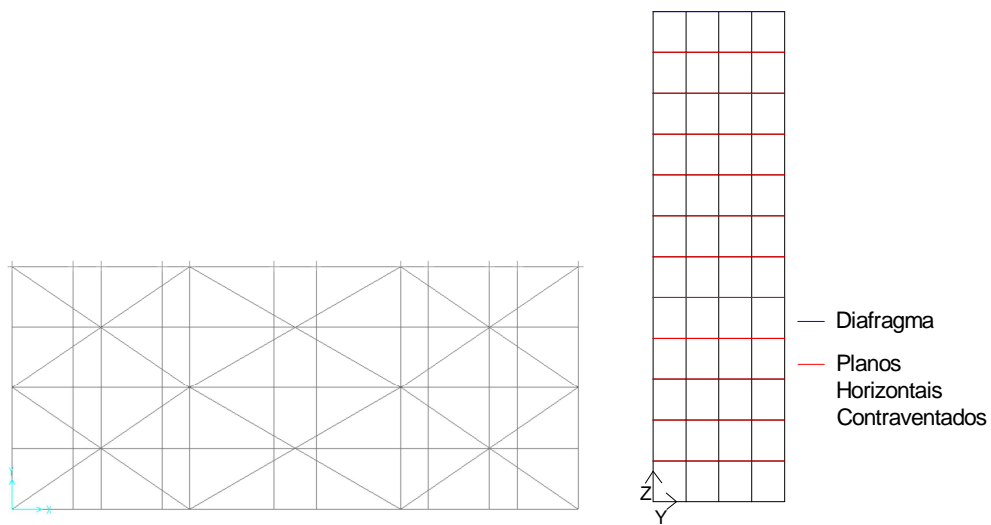


Figura 92 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 61 - Valores de Factores de Carga Crítica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica	Factor de Carga Crítica
1x	3,709	5,754	7,194	7,870	8,468
2x	2,362	2,627	2,728	2,705	2,715
2z	2,485	2,675	2,725	2,747	2,751
3x	1,654	2,094	2,325	2,359	2,407
3z	2,569	2,632	2,676	2,715	2,756

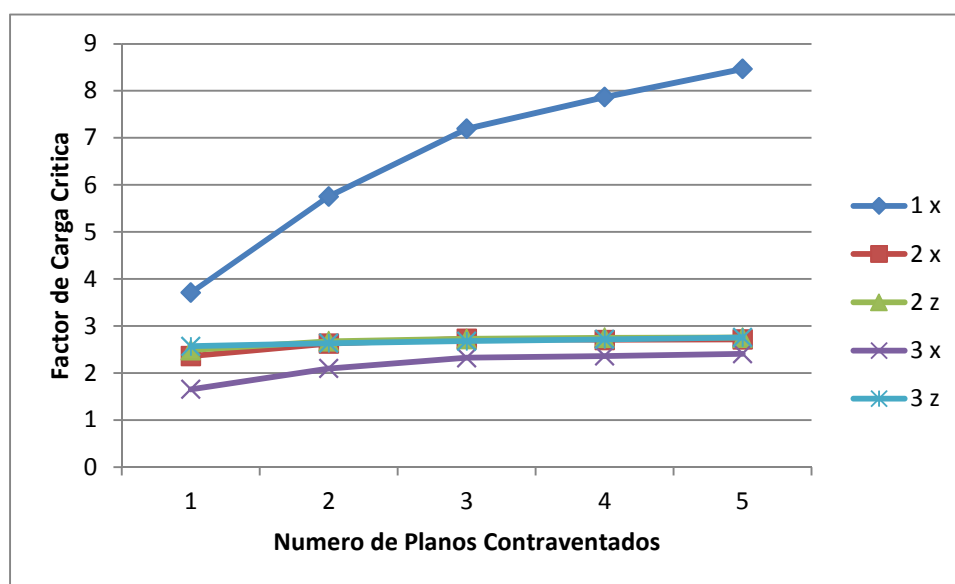


Figura 93 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 62 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	10,59	5,80	4,28	7,86986	2,93
2x	6,47	3,56	2,64	2,70529	1,83
2z	5,34	2,94	2,18	2,74740	1,51
3x	15,12	8,28	6,10	2,35920	4,20
3z	0,00	0,00	0,00	2,71503	0,00

VIII. Contraventamento dos planos horizontais e verticais executados com diagonais grandes em que os planos horizontais estão contraventados alternadamente, 3 m em 3 m.

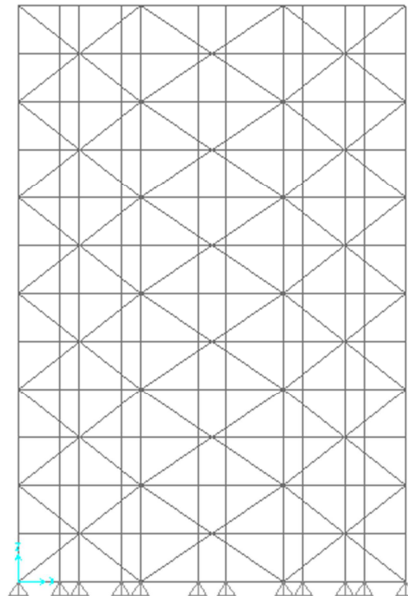


Figura 94 – Configuração dos Planos de Contraventamento Vertical Com Elementos de Contraventamento Grandes

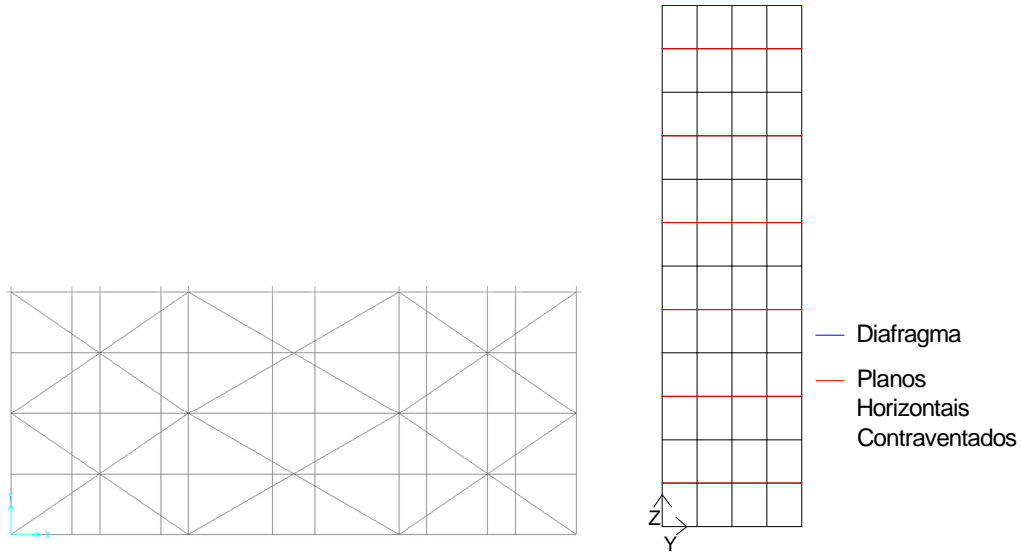


Figura 95 – Configuração dos Planos de Contraventamento Horizontal Com Elementos de Contraventamento Grandes

Tabela 63 - Valores de Factores de Carga Critica

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3.9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica	Factor de Carga Critica
1x	3,675	5,805	7,222	7,935	8,543
2x	0,955	1,071	1,296	1,231	2,703
2z	0,945	1,061	1,283	1,219	2,739
3x	1,001	1,124	1,357	1,290	2,397
3z	0,910	1,021	1,237	1,176	2,752

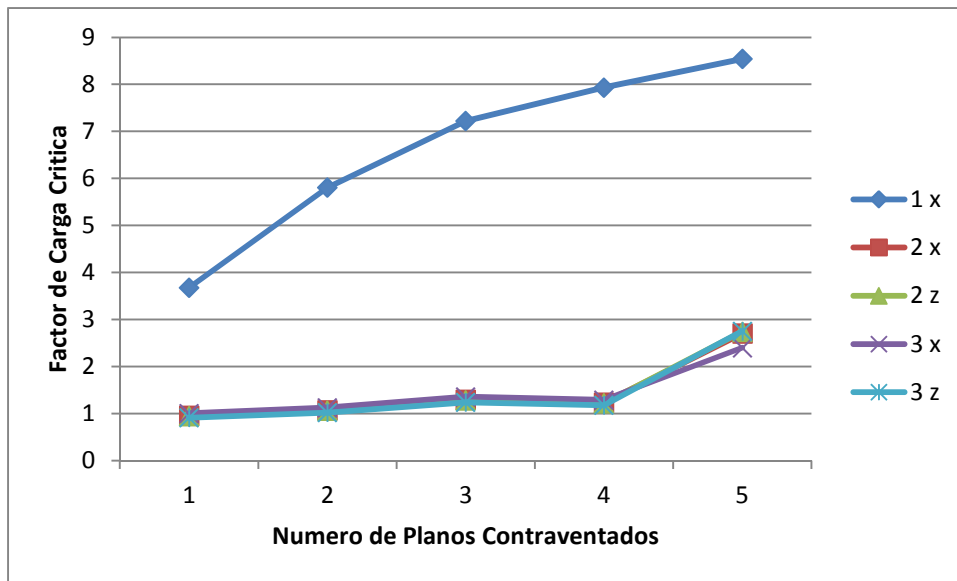


Figura 96 - Evolução dos Valores dos Factores de Carga Crítica em Função do Numero de Planos Verticais Contraventados

Tabela 64 - Deslocamentos Horizontais Máximos (mm)

	1 Plano Vertical de Ctv. Y=2,6 m	2 Planos Verticais de Ctv. Y=1,3 m Y=3,9 m	3 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=2,6 m Y=5,2 m	4 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=3,9 m Y=5,2m	5 Planos Verticais de Ctv. Y=0 Y=1,3 m Y=2,6m Y=3,9 m Y=5,2 m
Caso de Carga	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)	Deslocamento Horizontal Máximo (mm)
1x	10,61	5,80	4,28	3,46	2,94
2x	6,48	3,56	2,64	2,14	1,83
2z	5,35	2,94	2,18	1,77	1,51
3x	15,16	8,28	6,12	4,94	4,20
3z	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00