

**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**REBECA YESICA HEREDIA**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE PÓRTICO PLANO E PÓRTICO  
ESPACIAL**

**FLORIANÓPOLIS, 2020.**

**INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
SANTA CATARINA – CAMPUS FLORIANÓPOLIS  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

**REBECA YESICA HEREDIA**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE PÓRTICO PLANO E PÓRTICO  
ESPACIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção de título de Engenheira Civil.

Orientador:  
Prof. Fernando Toppan Rabello  
Coorientadora:  
Profa. Giovana Collodetti

**FLORIANÓPOLIS, 2020.**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Heredia, Rebeca Yesica  
Análise estrutural de pórtico plano e pórtico espacial  
/ Rebeca Yesica Heredia ; orientação de Fernando Toppan  
Rabello; coorientação de Giovanna Collodetti. - Florianópolis  
SC, 2020.  
157 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.  
Inclui Referências.

1. Análise estrutural. 2. Efeitos de primeira ordem.  
3. Gama-z. 4. Pórtico plano. 5. Pórtico espacial.  
I. Toppan Rabello, Fernando. II. Collodetti, Giovanna.  
III. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento  
Acadêmico de Construção Civil. IV. Título.

# ANÁLISE ESTRUTURAL DE PÓRTICO PLANO E PÓRTICO ESPACIAL

**REBECA YESICA HEREDIA**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

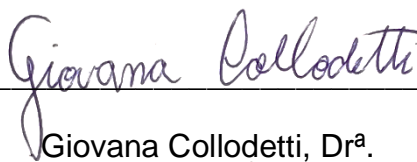
Florianópolis, 6 de novembro de 2020.

Banca Examinadora:



---

Fernando Toppan Rabello, Dr.



---

Giovana Collodetti, Dr<sup>a</sup>.



---

André Puel, Dr.



---

Caio Cesar Veloso Acosta, Me.

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Giovana Collodetti e Fernando Toppan Rabello, que me orientaram no desenvolvimento deste trabalho, dando apoio e passando conhecimento com muita dedicação e paciência perante minhas dúvidas e inseguranças.

Ao Eng°. Adriano Pacheco, instrutor do curso de Eberick, quem me deu apoio com explicações técnicas e teóricas, as quais me ajudaram a desenvolver o trabalho conforme proposto.

Aos professores André Puel e Caio Acosta, pela contribuição para o amadurecimento de ideias, que foram primordiais no desenvolvimento deste trabalho.

Ao senhor Rodrigo Koerich, da empresa AltoQi, quem disponibilizou a licença gratuita do Eberick viabilizando a realização do meu trabalho de conclusão de curso.

À Professora Luciana Calçada, pelo apoio dado no início da faculdade, perante minha dificuldade com os horários de trabalho que dificultavam muitas vezes a presença nas aulas ou a realização das matérias que eram ministradas no período diurno.

A todos meus amigos, amigas e colegas, os quais me acompanharam durante toda a jornada da faculdade. Fazendo parte das noites mal dormidas para conseguir vencer os estudos e de todo o aprendizado adquirido até aqui. Sem eles, com certeza teria sido muito mais difícil!

A todos os professores do curso, os quais me deram a base do conhecimento necessário, para poder chegar até aqui.

À instituição por disponibilizar todos os recursos dos quais os alunos precisam para seguir em frente e alcançar o sonho de ter uma formação de nível superior.

À minha mãe Gilda Nancy Perez e meu pai Miguel Angel Heredia, pelo simples fato de terem escolhido ser meus pais e me dado a chance de realizar meus sonhos.

À minha avó Irma Rosa Oviedo, por ter me dado a base do bom-caráter, honestidade e ter me ensinado desde cedo a importância dos estudos.

## RESUMO

A aplicação de cargas em uma estrutura faz com que ela se deforme, produzindo vários esforços nos componentes que fazem parte dela. O cálculo do valor desses esforços e das deformações causadas é conhecido como análise estrutural. O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise estrutural, pelo modelo de pórtico plano e pórtico espacial, de uma edificação com quatro pavimentos em estrutura de concreto armado, no intuito de facilitar a compreensão do comportamento da estrutura. Os elementos estruturais foram pré-dimensionados utilizando os critérios de anteprojeto da norma ABNT NBR 6118:2014 e área de influência. As cargas aplicadas foram as verticais (permanentes e sobrecarga de utilização) e horizontal (vento). Para a realização da análise foram utilizados os esforços normais obtidos com o método da área de influência e do *software* Eberick. As diferenças percentuais obtidas foram devido aos métodos utilizados na distribuição das cargas verticais para o cálculo das reações de apoio, sendo estes pela divisão das lajes em áreas formadas por triângulos e trapézios para o pórtico plano e utilização do fator  $k$  referente ao tipo de vínculo da laje para o pórtico espacial. Para o desenvolvimento deste trabalho, a análise foi realizada com os esforços obtidos em trechos definidos em cada pavimento ao longo da prumada e análise global de primeira ordem por meio do parâmetro  $\gamma_z$  (Gama-z). Foi possível validar a hipótese de que a utilização de um modelo plano é muito útil para a realização de uma análise estrutural, podendo-se observar também que nos dois modelos de pórtico obteve-se o mesmo comportamento da estrutura.

Plavras-chave: Análise estrutural. Efeitos de primeira ordem. Gama-z. Pórtico plano. Pórtico Espacial.

## **ABSTRACT**

*Applying weight to a structure makes it to deform and different reaction forces are created on the elements that made the structure. The Structural analysis is used to calculate forces and deformations on a structure. This paper will make the structural analysis of a plain and spatial four stories reinforced concrete structure. The initial concept of the structure and its dimensions was made using theoretical calculations. This was made to predict the structural behavior obtained when using the software Eberick. The analysis was made comparing force reactions in same points and in diferent levels of the structure obtained in the plain and spatial analysis. The effects of first order for the global analysis was made through Yz (Gama-z). The plain model analysis showed the same behavior as the one obtained with the spatial model analysis. However, the way used to distribute the vertical and horizontal forces had great impact in the results and how they were validated.*

*Keywords: Structural Analysis. First Order Effects. Gama-z. Spatial Structure. Plain Structure.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Eixos globais, cargas, reações, deslocamentos e rotações de um pórtico plano.....	20
Figura 2 - Eixos locais e esforços internos de uma barra de pórtico plano .....	21
Figura 3 - Exemplificação de barra inextensível em pórtico plano .....	21
Figura 4 - Pórtico espacial.....	22
Figura 5 - Eixos globais, cargas, reações, deslocamentos e rotações de uma grelha .....	23
Figura 6 - Eixos locais e esforços internos de uma barra de grelha .....	23
Figura 7 - Estrutura com três barras articuladas.....	24
Figura 8 - Diagrama tensão-deformação idealizado .....	28
Figura 9 - Diagrama tensão-deformação bilinear de tração.....	29
Figura 10 - Diagrama de tensão-deformação para aços de armaduras passivas. ....	30
Figura 11 - Idealização do comportamento linear da estrutura.....	33
Figura 12 - Idealização do comportamento não-linear da estrutura.....	34
Figura 13 - Isopletas da velocidade básica $V_0$ (m/s) .....	36
Figura 14 - Imperfeições geométricas globais .....	40
Figura 15 - Estrutura simétrica submetida a uma força arbitrária .....	43
Figura 16 - Estados não deformado e deformado da estrutura .....	44
Figura 17 - Reações de apoio de lajes .....	48
Figura 18 - Convenção de estilo de linha para os vínculos de engaste perfeito, apoio simples e borda livre. ....	48
Figura 19 - Situações de vinculação isolada das lajes .....	49
Figura 20 - Coeficientes $k_x$ , $k_y$ , $k'_x$ , $k'_y$ para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (casos 4, 5 e 6). ....	50
Figura 21 - Coeficientes $k_x$ , $k_y$ , $k'_x$ , $k'_y$ para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (casos 7, 8 e 9). ....	51
Figura 22 - Sistemas de coordenadas da viga .....	52
Figura 23 - Viga solicitada por flexão pura .....	53
Figura 24 - Modelo de viga de Euler-Bernoulli.....	53
Figura 25 - Comportamento da viga bi apoiada.....	55
Figura 26 - Comportamento da viga engastada .....	55
Figura 27 - Comportamento da mola linear .....	56

Figura 28 - Configurações deformadas elementares para compor a elástica final de uma barra de pórtico plano isolada .....	57
Figura 29 - Relação matricial de um pórtico plano .....	58
Figura 30 -Graus de liberdade de um elemento de pórtico espacial.....	58
Figura 31 - Relação matricial de um pórtico espacial .....	59
Figura 32 - Quatro níveis de abstração para uma estrutura na análise estrutural.....	59
Figura 33 - Esquema de projeto. ....	61
Figura 34 - Planta de formas térreo.....	63
Figura 35 – Corte A do pórtico plano.....	64
Figura 36 – Corte B do pórtico plano.....	65
Figura 37 - Indicação das coordenadas para cálculo de Fa (força de arrasto do vento) .....	67
Figura 38 - Área de influência dos pilares (medidas em cm) .....	74
Figura 39 - Seção do pilar adotada (cm) .....	76
Figura 40 - Seção adotada das vigas (cm).....	77
Figura 41 - Identificação dos trechos de vigas, lajes e pilares (medidas em cm).....	77
Figura 42 - Áreas definidas conforme apoio da borda da laje.....	78
Figura 43 - Classificação dos casos de apoio para uso do fator k.....	81
Figura 44 - Nomenclatura dos elementos estruturais .....	84
Figura 45 - Planta de formas pavimento tipo (medidas em cm).....	84
Figura 46 - Propriedades da edificação.....	85
Figura 47 - Corte esquemático .....	86
Figura 48 - Classe de concreto utilizado .....	86
Figura 49 - Aplicação da escolha dos materiais .....	87
Figura 50: Carregamento de parede .....	87
Figura 51 - Carregamento distribuído na viga VET1.....	88
Figura 52 - Carregamento distribuído total da viga VET1 .....	88
Figura 53 - Configurações das cargas de vento .....	89
Figura 54 - Força do vento na direção X .....	89
Figura 55 - Força do vento na direção Y .....	90
Figura 56 - Pilar de fundação .....	91
Figura 57 - Configurações para análise global da estrutura .....	92
Figura 58 - Indicação do trecho utilizado para levantamento dos dados quantitativos .....	93

Figura 59 - Esforços axiais do pórtico espacial sujeito a $G1+G2+Q$ .....	95
Figura 60 - Esforços axiais devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano X V2 .....	97
Figura 61 - Esforços axiais devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano Y V5 .....	97
Figura 62 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q$ pórtico espacial .....	99
Figura 63 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VX2 .....	99
Figura 64 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VY5=VY6 .....	100
Figura 65 - Momentos torsões devido a $G1+G2+Q$ pórtico espacial .....	101
Figura 66 - Momentos torsões devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VX2 .....	102
Figura 67 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q$ pórtico espacial .....	103
Figura 68 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VX2 .....	104
Figura 69 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VY5=VY6 .....	104
Figura 70 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q$ pórtico espacial .....	105
Figura 71 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VX2 .....	106
Figura 72 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q$ pórtico plano VY5=VY6 .....	106
Figura 73 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico espacial .....	109
Figura 74 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+VX-$ pórtico espacial .....	109
Figura 75 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico plano VX2 .....	110
Figura 76 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+V-$ pórtico plano VX2 .....	110
Figura 77 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico espacial .....	111
Figura 78 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+VX-$ pórtico espacial .....	112
Figura 79 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico plano VX2 .....	113
Figura 80 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+VX-$ pórtico plano VX2 .....	113
Figura 81 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico espacial .....	115
Figura 82 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX-$ pórtico espacial .....	115
Figura 83 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX+$ pórtico plano VX2 .....	116
Figura 84 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX-$ pórtico plano VX2 .....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das estruturas reticuladas .....	19
Tabela 2 - Propriedades mecânicas dos aços .....	30
Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental (CAA).....	31
Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto .....	32
Tabela 5 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento .....	32
Tabela 6 - Valores do coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$ .....	39
Tabela 7 - Valores do coeficiente $\gamma_{f2}$ .....	39
Tabela 8 - Valores do coeficiente $\gamma_n$ para pilares e pilares-parede .....	47
Tabela 9 - Cargas atuantes na estrutura .....	71
Tabela 10 - Valores referente à rugosidade do terreno .....	72
Tabela 11 - Valores de $l_1$ , $l_2$ e $h$ para as fachadas X e Y. ....	72
Tabela 12 - Coeficiente de arrasto para as fachadas X e Y .....	72
Tabela 13 - Força de arrasto incidente na fachada X.....	73
Tabela 14 - Força de arrasto incidente na fachada Y.....	73
Tabela 15 - Classificação do pilar quanto a sua posição e área de influência .....	74
Tabela 16 - Área de concreto.....	75
Tabela 17 - Seção das vigas.....	76
Tabela 18 - Valores resultantes do cálculo de reações de apoio para o carregamento devido ao peso próprio e carga sobrecarga do pórtico plano .....	79
Tabela 19 - Reação de apoio por trecho de viga do pórtico plano.....	80
Tabela 20 - Valores resultantes do cálculo de reações de apoio para o carregamento devido ao peso próprio e carga sobrecarga do pórtico espacial.....	82
Tabela 21 - Reação de apoio por trecho de viga do pórtico espacial .....	83
Tabela 22 - Fa pórticos planos .....	90
Tabela 23 - Esforços axiais devido a $G1+G2+Q$ .....	94
Tabela 24 - Esforços axiais devido a $G1+G2+Q$ .....	96
Tabela 25 - Momentos Fletores $G1+G2+Q$ .....	97
Tabela 26 - Momentos torsores devido a $G1+G2+Q$ .....	97
Tabela 27 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q$ .....	103
Tabela 28 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+VX+$ .....	108

Tabela 29 - Momentos fletores devido a $G1+G2+Q+VX-$ .....	108
Tabela 30 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+V+$ .....	111
Tabela 31 - Esforços cortantes devido a $G1+G2+Q+VX-$ .....	111
Tabela 32 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX+$ .....	114
Tabela 33 - Deslocamentos devido a $G1+G2+Q+VX-$ .....	114
Tabela 34 - $\gamma z$ para $G1+G2+Q$ .....	117
Tabela 35 - $\gamma z$ para $G1+G2+Q+VX$ .....	117
Tabela 36 - $\gamma z$ para $G1+G2+Q+VY$ .....	118

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 Definição do problema</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>18</b>
1.3.1 Objetivo geral .....	18
1.3.2 Objetivos específicos .....	18
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Análise estrutural</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Pórtico Plano.....	20
2.1.2 Pórtico espacial.....	22
2.1.3 Grelhas .....	22
<b>2.2 Condições básicas de análise estrutural</b> .....	<b>23</b>
2.2.1 Condições de equilíbrio.....	24
2.2.2 Condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações.....	26
2.2.3 Leis constitutivas dos materiais .....	26
2.2.4 Características do concreto.....	28
2.2.5 Características do aço.....	29
2.2.6 Definição das propriedades dos materiais .....	31
<b>2.3 Análise linear</b> .....	<b>33</b>
<b>2.4 Análise não-linear</b> .....	<b>33</b>
2.4.1 Não-linearidade física.....	34
2.4.2 Não-linearidade geométrica .....	34
<b>2.5 Estados-limites</b> .....	<b>35</b>
<b>2.6 Ações</b> .....	<b>35</b>
2.6.1 Ações permanentes .....	35
2.6.2 Ações Variáveis .....	36

2.6.3 Ações excepcionais.....	38
2.6.4 Combinação das ações .....	38
<b>2.7 Condições de equilíbrio de uma estrutura .....</b>	<b>40</b>
2.7.1 Parâmetro de instabilidade $\alpha$ .....	42
2.7.2 Coeficiente $\gamma_z$ .....	43
2.7.3 Processo P-Delta .....	44
<b>2.8 Método de pré-dimensionamento .....</b>	<b>45</b>
2.8.1 Área de influência .....	45
2.8.2 Pré-dimensionamento das vigas .....	47
<b>2.9 Método para cálculo das reações de apoio das lajes nas vigas.....</b>	<b>48</b>
<b>2.10 Métodos de análise estrutural .....</b>	<b>52</b>
2.10.1 Modelo de viga de Euler-Bernoulli.....	52
2.10.1.1 Deflexão da viga.....	54
2.10.2 Método dos deslocamentos.....	56
<b>2.11 Ferramenta computacional.....</b>	<b>59</b>
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>62</b>
<b>3.1 Definições gerais .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Escolha e propriedades dos materiais .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 Ações atuantes na estrutura .....</b>	<b>66</b>
3.3.1 Ações permanentes .....	66
3.3.2 Ações variáveis .....	66
3.3.3 Combinação das ações.....	67
<b>3.4 Pré-dimensionamento dos pilares .....</b>	<b>68</b>
<b>3.5 Pré-dimensionamento das vigas.....</b>	<b>68</b>
<b>3.6 Reações de apoio de lajes.....</b>	<b>68</b>
<b>3.7 Lançamento, processamento e análise da estrutura no Eberick.....</b>	<b>69</b>
<b>4 MÉTODOS APLICADOS .....</b>	<b>70</b>

<b>4.1 Materiais escolhidos .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2 Cálculo das ações atuantes .....</b>	<b>70</b>
4.2.1 Ações permanentes e variáveis .....	70
4.2.2 Ações variáveis diretas .....	71
4.2.3 Combinação das ações atuantes .....	73
<b>4.3 Pré-dimensionamento dos pilares .....</b>	<b>73</b>
<b>4.4 Pré-dimensionamento das vigas.....</b>	<b>76</b>
<b>4.5 Cálculo das reações de apoio das lajes .....</b>	<b>77</b>
<b>4.6 Lançamento da estrutura no Eberick .....</b>	<b>83</b>
4.6.1 Configurações iniciais .....	85
4.6.1.1 Lançamento das cargas típicas.....	86
4.6.1.2 Lançamento das cargas de vento no pórtico espacial .....	88
4.6.1.3 Lançamento das cargas de vento no pórtico plano .....	90
4.6.1.4 Fundação .....	91
4.6.1.5 Configurações de análise.....	91
<b>5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>92</b>
<b>5.1 Análise dos esforços devido à carga permanente e sobrecarga de utilização .....</b>	<b>93</b>
5.1.1 Análise dos esforços axiais .....	93
5.1.1.1 Área de influência versus pórtico espacial.....	94
5.1.1.2 Pórtico plano versus pórtico espacial .....	95
5.1.2 Momentos fletores devido ao carregamento $G_1+G_2+Q$ .....	98
5.1.2 Momentos torsores devido ao carregamento $G_1+G_2+Q$ .....	100
5.1.3 Esforços cortantes devido ao carregamento $G_1+G_2+Q$ .....	102
5.1.4 Deslocamentos devido ao carregamento $G_1+G_2+Q$ .....	105
<b>5.2 Análise dos esforços devido à carga permanente, sobrecarga de utilização e vento .....</b>	<b>107</b>

5.2.1 Momento fletores devido ao carregamento $G_1+G_2+Q+VX$ .....	107
5.2.2 Esforços cortantes devido ao carregamento $G_1+G_2+Q+VX$ .....	111
5.2.3 Deslocamentos devido ao carregamento $G_1+G_2+Q+VX$ .....	114
<b>5.3 Análise global da estrutura .....</b>	<b>117</b>
<b>5.4 Análise e discussão dos resultados.....</b>	<b>118</b>
5.4.1 Cálculo das reações de apoio das lajes .....	118
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>121</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE A – Esforços dos pilares.....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE B – Diagramas das vigas.....</b>	<b>145</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A análise estrutural determina os esforços aos quais uma estrutura está sujeita devido às ações externas. Essas ações geram deslocamentos, deformações, tensões, esforços internos e reações de apoio. As ações mais usuais, consideradas na análise, são provenientes de cargas como peso próprio da estrutura, sobrecarga e carga de vento. (MARTHA, 2017).

A análise de um modelo estrutural pode atingir diferentes níveis de complexidade, dependendo das hipóteses estabelecidas. Entre eles, o modelo estrutural plano é muito útil como análise inicial, principalmente no caso de estruturas mais complexas. Pois, possibilita prever e compreender os resultados obtidos na realização da análise estrutural de uma mesma estrutura com o seu modelo espacial. (ELLWANGER, 2005).

No caso de pórticos, a análise dos modelos estruturais planos fica restrita na dimensão que os contém. Nos modelos estruturais espaciais é possível considerar todos os efeitos provocados pelos esforços aos quais estão impostos em três dimensões. (MARTHA, 2017).

Esses efeitos são classificados como efeitos de primeira ordem e de segunda ordem. A importância dos efeitos de segunda ordem depende da análise inicial de projeto, do arranjo e do tamanho da estrutura analisada, podendo em muitos casos ser desprezada. (ABNT NBR 6118:2014).

Nesse contexto, o presente trabalho traz a análise do modelo estrutural de um pórtico plano e de um pórtico espacial, com o auxílio do *software* Eberick, no intuito de simplificar o estudo de uma edificação com quatro pavimentos e elementos estruturais em concreto armado. Tendo como objetivo a comparação dos esforços obtidos em cada modelo estrutural com o uso de cálculos teóricos e o processamento da estrutura na ferramenta computacional.

### 1.1 Justificativa

Segundo Martha (2007), a análise estrutural é a fase do projeto em que é feita a idealização da estrutura. Realizar o estudo do comportamento de uma estrutura com o modelo de pórtico plano torna a análise mais simplificada, facilitando a compreensão de como o modelo de pórtico espacial se comporta. (ELLWANGER, 2005).

## 1.2 Definição do problema

A análise estrutural de um pórtico plano pode muito bem servir para facilitar a compreensão do comportamento do pórtico espacial de uma mesma estrutura. No entanto, é válido comparar os resultados dos esforços obtidos com a análise estrutural de um pórtico plano com o pórtico espacial da mesma estrutura?

## 1.3 Objetivos

A seguir serão abordados os objetivos do presente trabalho.

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar a análise estrutural, utilizando o modelo de pórtico plano e de pórtico espacial, de uma edificação com quatro pavimentos e elementos estruturais em concreto armado, para comparar os resultados encontrados.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Utilizar o *software* Excel para calcular os esforços, o carregamento e pré-dimensionar a estrutura;
- b) Utilizar o *software* Eberick para o processamento da estrutura e obtenção de esforços;
- c) Calcular os esforços normais, com o método da área de influência, para compará-los com os obtidos do processamento da estrutura com o Eberick;
- d) Determinar os esforços da estrutura com a análise dos deslocamentos horizontais e o parâmetro de estabilidade Gama-z, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014;
- e) Analisar o comportamento da estrutura através dos esforços obtidos com o pórtico plano;
- f) Analisar o comportamento da estrutura através dos esforços obtidos com o pórtico espacial;
- g) Fazer uma comparação entre os resultados obtidos através dos dois modelos estruturais.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção será abordada a fundamentação teórica sobre análise estrutural e seus métodos de cálculo.

### 2.1 Análise estrutural

A análise estrutural tem como objetivo entregar um projeto que atenda às necessidades da construção, de forma a garantir a segurança, economia, condições de utilização, estética e restrições ambientais. (MARTHA, 2017).

Essa análise se desenvolveu inicialmente para estruturas reticuladas, ou seja, estruturas formadas por barras. Os eixos das barras definem os elementos do modelo estrutural, no caso de estruturas reticuladas, a informação tridimensional das barras fica representada por propriedades globais de suas seções transversais, tais como área e momento de inércia. (MARTHA, 2017).

Ainda segundo o autor, uma estrutura reticulada é uma estrutura cuja configuração tem nós definidos no encontro das barras, diferente das estruturas contínuas, onde seus nós são definidos através da discretização de elementos finitos.

As estruturas reticuladas podem ser classificadas conforme seu arranjo espacial e aplicação de cargas. Dessa forma são definidos sistemas de eixos globais da estrutura e de eixos locais das barras (SORIANO, 2005). De acordo com os esforços seccionais desenvolvidos nas barras, obtém-se a classificação apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 - Classificação das estruturas reticuladas**

<b>Estrutura</b>	<b>Modelo estrutural</b>
Pórtico	Plano
	Espacial
Treliça	Plana
	Espacial
Grelha	-
Estrutura com escoras, tirantes e/ou cabos	-

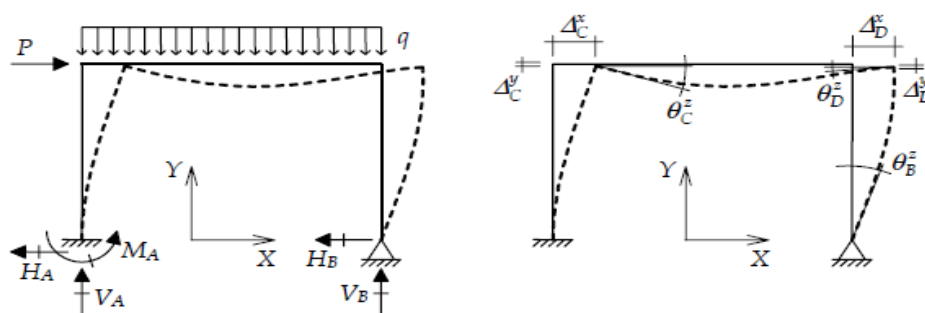
Fonte: Adaptado de Soriano (2005).

### 2.1.1 Pórtico Plano

Os pórticos planos são modelos de estruturas em barras retas ou curvas, os quais podem ser uma simplificação de uma estrutura tridimensional. (SORIANO,2005). Ficam contidos em um mesmo plano assim como as cargas, incluindo forças com componentes nas direções dos eixos X e Y e momentos em torno do eixo Z saindo do plano.

As ligações entre as barras deste modelo são consideradas perfeitas (ligações rígidas), as quais provocam a deformação por flexão destas, a menos que algum tipo de liberação, tal como uma articulação, seja indicada. Isto significa que duas barras que se ligam em um nó têm deslocamentos e rotação compatíveis na ligação. (MARTHA, 2017). A Figura 1 apresenta um pórtico plano submetido a uma força horizontal P (na direção de X) e uma carga uniformemente distribuída vertical q (na direção de Y). Essas solicitações geram reações de apoio, compostas de forças horizontais e verticais, e um momento em torno do eixo Z.

**Figura 1 - Eixos globais, cargas, reações, deslocamentos e rotações de um pórtico plano**



Fonte: Martha (2017).

Nos pórticos planos não existem deslocamentos na direção transversal ao plano (direção Z) e rotações em torno de eixos do plano da estrutura. Apresentando somente os seguintes componentes de deslocamentos e rotação (MARTHA, 2017):

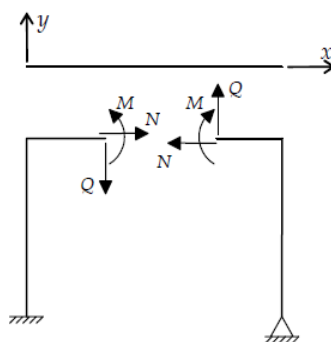
- $\Delta^X$  deslocamento na direção do eixo global X;
- $\Delta^Y$  deslocamento na direção do eixo global Y;
- $\theta^Z$  rotação em torno do eixo global Z.

Também estão presentes no pórtico plano os esforços internos, os quais caracterizam as ligações internas de tensões, representando o efeito de forças e

momentos entre duas porções de uma estrutura reticulada resultantes de um corte em uma seção transversal. Os esforços internos correspondentes de cada lado da seção seccionada são iguais e contrários, pois correspondem a uma ação e reação. (MARTHA, 2017).

Os esforços internos presentes nos pórticos planos são definidos nas direções dos eixos locais de uma barra, conforme apresentado no Figura 2:

**Figura 2 - Eixos locais e esforços internos de uma barra de pórtico plano**



Fonte: Martha (2017).

Dos quais:

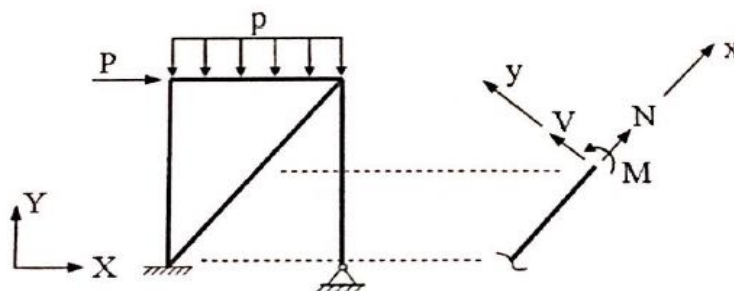
$N$  = esforço normal (esforço interno axial) na direção do eixo local  $x$ ;

$Q = Q_y \rightarrow$  esforço cortante (esforço interno transversal) na direção do eixo local  $y$ ;

$M = M_z \rightarrow$  momento fletor (esforço interno de flexão) em torno do eixo local  $z$ .

Um pórtico plano pode também ser constituído de barras inextensíveis, utilizadas para contraventar a estrutura. (MARTHA, 2017). Conforme exemplificado na Figura 3.

**Figura 3 - Exemplificação de barra inextensível em pórtico plano**



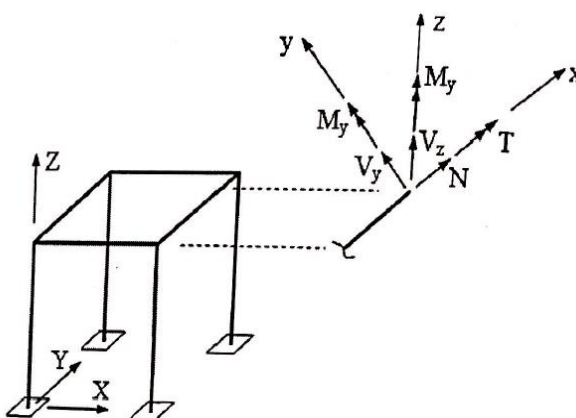
Fonte: Soriano (2005).

### 2.1.2 Pórtico espacial

Os pórticos espaciais são modelos estruturais formados por barras retas ou curvas, treliças plana e espacial. O pórtico plano e as grelhas são casos particulares de pórtico espacial, os quais alguns esforços seccionais são nulos. (SORIANO. 2005).

Nos pórticos espaciais podem ser desenvolvidos os esforços normais (N) e momento torçor (T) no eixo X, esforço cortante (V) em Y e Z, e momento fletor (M) nos eixos Y e Z (SORIANO, 2005). Conforme representado na Figura 4.

Figura 4 - Pórtico espacial



Fonte: Soriano (2005).

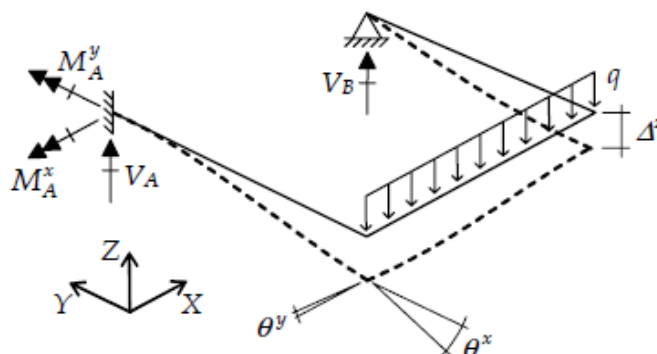
### 2.1.3 Grelhas

As grelhas são estruturas planas que recebem as cargas apenas na direção perpendicular ao seu plano usualmente horizontal, o que gera a hipótese de que seu deslocamento não ocorra dentro deste plano. (MARTHA, 2017).

Na Figura 5 é apresentada uma grelha submetida a um esforço uniformemente distribuído e sua configuração deformada, gerando os seguintes componentes de deslocamento e rotações:

- $\Delta^z$  deslocamento na direção do eixo global z;
- $\theta^x$  rotação em torno do eixo global X;
- $\theta^y$  rotação em torno do eixo global Y.

**Figura 5 - Eixos globais, cargas, reações, deslocamentos e rotações de uma grelha**

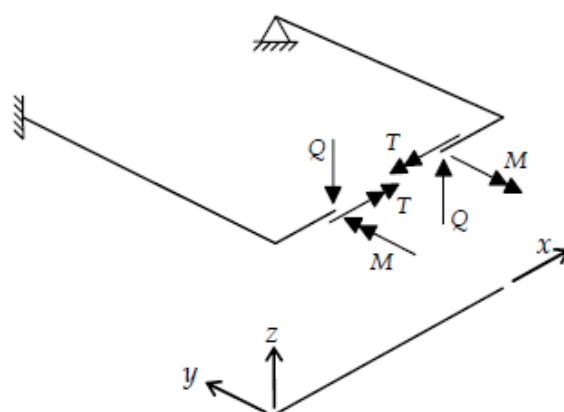


Fonte: Martha (2017).

Para a grelha são também considerados os esforços internos existentes nos eixos locais, conforme apresentado na Figura 6, dos quais:

- $Q = Q^z \rightarrow$  esforço cortante (esforço interno transversal) na direção do eixo local  $z$ ;
- $M = M^y \rightarrow$  momento fletor (esforço interno de flexão) em torno do eixo local  $y$ ;
- $T = T^x \rightarrow$  momento torçor (esforço interno de flexão) em torno do eixo local  $x$ .

**Figura 6 - Eixos locais e esforços internos de uma barra de grelha**



Fonte: Martha (2017).

## 2.2 Condições básicas de análise estrutural

Segundo Martha (2017), uma vez feitas as considerações sobre a geometria da estrutura; cargas e solicitações; condições de suporte ou ligação com outros sistemas; e sobre as leis constitutivas dos materiais, a análise estrutural passa

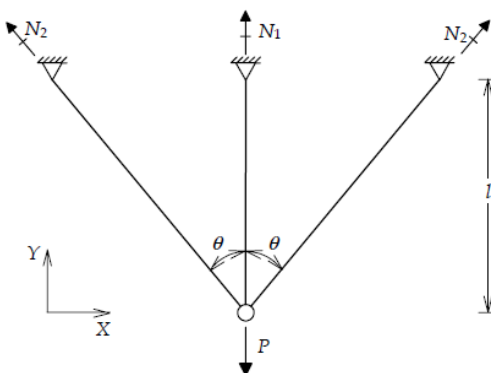
a ser um procedimento matemático de cálculo que só se altera se as hipóteses e simplificações adotadas forem revistas ou reformuladas.

As condições matemáticas que o modelo estrutural tem que satisfazer para representar adequadamente o comportamento da estrutura real podem ser divididas nos seguintes grupos (MARTHA, 2017):

- Condições de equilíbrio;
- Condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações;
- Condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura (leis constitutivas dos materiais).

A Figura 7 exemplifica as condições básicas que o modelo estrutural tem que atender com um modelo simples de três barras articuladas, onde existe uma força externa  $P$  aplicada no nó da estrutura que conecta as três barras. As barras são feitas de um material com módulo de elasticidade  $E$  e têm seções transversais com área  $A$ . Com ela será possível entender melhor a divisão dos grupos citados.

**Figura 7 - Estrutura com três barras articuladas**



Fonte: Martha (2017).

### 2.2.1 Condições de equilíbrio

As condições de equilíbrio são condições que garantem o equilíbrio estático de qualquer porção isolada da estrutura ou da estrutura como um todo, levando em conta problemas de vibrações ou de dinâmica de estruturas (MARTHA, 2017).

A Figura 9 apresenta as reações referente aos esforços internos axiais nas barras (forças normais), essas três reações de apoio nos nós superiores convergem em um ponto: o nó inferior. A simetria da estrutura impõe que os esforços normais nas

barras inclinadas sejam iguais (isto é, na verdade, uma imposição de equilíbrio de forças na direção horizontal X). Dessa forma, o equilíbrio do nó inferior na direção vertical Y garante o equilíbrio global da estrutura. Desse comportamento obtém-se a Equação 1:

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow N_1 + 2 * N_2 * \cos \theta = P \quad (1)$$

Onde:

$N_1$  = esforço normal na barra vertical;

$N_2$  = esforço normal nas barras inclinadas.

A condição de equilíbrio representada na Figura 7, se dá na direção vertical do nó inferior da estrutura e esta foi escrita considerando a geometria original (indeformada). Isto só é válido quando os deslocamentos que a estrutura vai sofrer são muito pequenos em relação às dimensões da mesma (MARTHA, 2017).

Essa hipótese, denominada de hipótese de pequenos deslocamentos, é conhecida como análise de primeira ordem (MARTHA, 2017).

Porém, quando os deslocamentos de uma estrutura não podem ser desprezíveis na imposição das condições de equilíbrio, exige-se que se faça uma análise de segunda ordem, pelo menos de uma maneira aproximada. (MARTHA, 2017). Os efeitos de segunda ordem são aqueles que se somam à análise de primeira ordem, quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada da estrutura (CECCON; LEOPOLDO; FRANÇA, 2020).

Ainda analisando a equação 1 é possível observar que existem duas incógnitas ( $N_1$  e  $N_2$ ) em termos de esforços e apenas uma equação de equilíbrio. Ou seja, nessas condições seria possível encontrar o valor de apenas uma incógnita. As estruturas que não podem ter seus esforços determinados apenas pelas equações de equilíbrio são chamadas de estruturas hiperestáticas. Quando for possível determinar seus esforços internos e externos (reações de apoio) pelas condições de equilíbrio, as estruturas são chamadas de isostáticas ((MARTHA, 2017).

Em geral, as equações de equilíbrio fornecem condições necessárias, mas não suficientes, para a determinação dos esforços no modelo estrutural. Para a determinação dos esforços em estruturas hiperestáticas, é necessário fazer uso das

condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações; e das condições sobre o comportamento dos materiais que compõem a estrutura (leis constitutivas dos materiais) (MARTHA, 2017).

### 2.2.2 Condições de compatibilidade entre deslocamentos e deformações

Segundo Martha (2017), neste grupo são consideradas e analisadas as condições geométricas que devem ser satisfeitas para garantir que a estrutura, ao se deformar, permaneça contínua (sem vazios ou sobreposição de pontos) e compatível com seus vínculos externos, para garantir a continuidade no domínio da estrutura real. Não tendo relação alguma com as propriedades de resistência dos materiais da estrutura.

Ainda segundo o autor, as condições de compatibilidade podem ser divididas em dois grupos:

- a) Condições de compatibilidade externa: referem-se aos vínculos externos da estrutura e garantem que os deslocamentos e deformações sejam compatíveis com as hipóteses adotadas com respeito aos suportes ou ligações com outras estruturas.
- b) Condições de compatibilidade interna: garantem que a estrutura permaneça, ao se deformar, contínua no interior dos elementos estruturais (barras) e nas fronteiras entre os elementos estruturais, isto é, que as barras permaneçam ligadas pelos nós que as conectam (incluindo ligação por rotação no caso de não haver articulação entre barras).

### 2.2.3 Leis constitutivas dos materiais

Segundo Martha (2017), as leis constitutivas dos materiais são representadas por um modelo matemático do comportamento dos materiais, em um nível macroscópico, sendo expresso por um conjunto de relações matemáticas entre tensões e deformações.

A Teoria da Elasticidade estabelece que as relações da lei constitutiva são equações lineares com parâmetros constantes. Ou seja, o material trabalha em regime elástico-linear, em que tensões e deformações são proporcionais (MARTHA, 2017).

Quando considerado que um material tem um comportamento elástico-linear, este segue a lei constitutiva que relaciona tensões normais e deformações normais, é a conhecida Lei de Hooke. (MARTHA, 2017). A qual, segundo Beer et al. (2013) é representada pela Equação 2:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão atuante

$E$  = módulo de elasticidade do material envolvido ou módulo de Young

$\varepsilon$  = deformação específica longitudinal

Há casos de materiais que trabalham também em regime elástico-linear, em que são solicitados ao efeito de cisalhamento (BEER et al., 2013). Relacionando-se as tensões cisalhantes com distorções de cisalhamento, conforme Equação 3:

$$\tau = G \gamma \quad (3)$$

Onde:

$\tau$  = tensão de cisalhamento;

$G$  = módulo de cisalhamento (propriedade do material);

$\gamma$  = distorção de cisalhamento.

No caso do concreto, segundo a ABNT NBR 6118:2014, o módulo de elasticidade ( $E_{ci}$ ) deve ser obtido segundo o método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, mas quando não forem realizados ensaios, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando a Equação 4:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (4)$$

Onde:

$\alpha_E$  é dado pela ABNT NBR 6118:2014 conforme o tipo de agregado graúdo utilizado.

$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto aos 28 dias de idade.

$E_{ci}$  e  $f_{ck}$  são dados em megapascal (Mpa).

O módulo de deformação secante ( $E_{cs}$ ), pode ser obtido segundo o método de ensaio estabelecido ou estimado através da Expressão 5.

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (5)$$

Onde:

$$\alpha_i \text{ é dado por } \alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0.$$

Os valores para o módulo de elasticidade, em função da resistência característica à compressão do concreto, podem ser calculados com as expressões acima apresentadas ou consultados na tabela 8.1 da ABNT NBR 6118:2014, a qual apresenta esses valores arredondados.

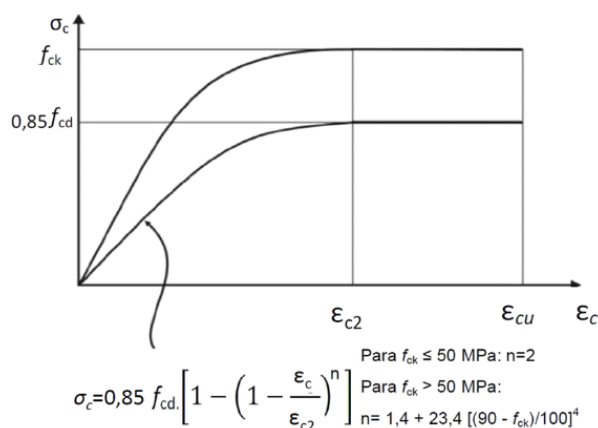
#### 2.2.4 Características do concreto

As principais características de interesse no concreto endurecido são as mecânicas, devido à resistência à compressão e à tração. Ainda não existe uma lei única para determinar a resistência dos materiais que seja válida para todo tipo de solicitações possíveis, no caso do concreto, não é possível deduzir diretamente da resistência encontrada em um ensaio relativo a uma determinada solicitação. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

A ABNT NBR 6118:2014, define que para tensões de compressão menores que  $0,5 f_c$ , pode-se admitir uma relação linear entre tensões e deformações, adotando para o módulo de elasticidade o valor secante dados pela expressão (5).

A Figura 8, apresenta o gráfico de tensão x deformação idealizado pela ABNT NBR 6118:2014 para análise no estado-limite último do concreto armado.

**Figura 8 - Diagrama tensão-deformação idealizado**



Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Os valores a serem adotados para concretos de classe até C50 são:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰ e } \epsilon_c = 3,5 \text{ ‰}$$

Já para concreto de classes C55 até C90, são:

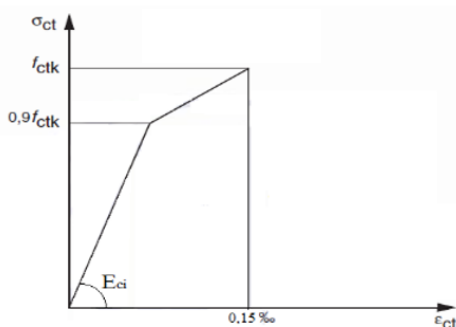
$$\varepsilon_{c2} = 2,0 \text{ ‰} + 0,085 \text{ ‰} \times (f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\varepsilon_{cu} = 2,6 \text{ ‰} + 35 \text{ ‰} \times [(90 - f_{ck})/100]^4.$$

Sendo os parâmetros  $\varepsilon_{c2}$  a deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico e  $\varepsilon_{cu}$  a deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura.

Já para o concreto não fissurado, submetido a tensões de tração, pode ser adotado o diagrama de tensão-deformação bilinear, apresentado na Figura 9:

**Figura 9 - Diagrama tensão-deformação bilinear de tração**



Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

### 2.2.5 Características do aço

As principais características mecânicas do aço obtidas com ensaios, são a resistência característica de escoamento, limite de resistência e alongamento na ruptura. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

Carvalho e Figueiredo Filho (2015), explicam que a resistência característica de escoamento do aço à tração ( $f_{yk}$ ) é a máxima tensão que a barra deve suportar, pois a partir dela o aço sofre deformações permanentes.

O limite de resistência ( $f_{stk}$ ) é a força máxima suportada pelo material, sendo o ponto máximo de resistência da barra, valor no qual ocorre a ruptura. A tensão máxima é determinada pela relação entre a força de ruptura e a área da seção transversal. O alongamento e ruptura, é o aumento do comprimento do corpo de prova correspondente à ruptura, expresso em porcentagem (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

Ainda segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), nos aços com patamar de escoamento definido, a deformação específica de cálculo ( $\varepsilon_{yd}$ ), é obtida pela Expressão 6.

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (6)$$

Onde:

$E_s$  = módulo de elasticidade do aço, admitido igual a 210.000 Mpa.

$f_{yd}$  = tensão (resistência) de escoamento de cálculo do aço, igual a  $f_{yk}/1,15$ .

$f_{yk}$  = resistência característica do aço à tração.

Com esses dados é possível obter as propriedades mecânicas dos aços, apresentadas na Tabela 2.

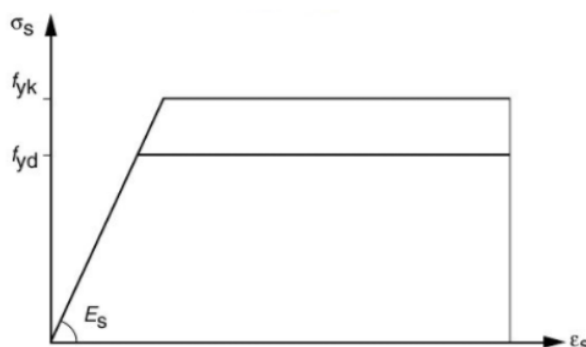
**Tabela 2 - Propriedades mecânicas dos aços**

Aço	$f_{yk}$ (Mpa)	$f_{yd}$ (Mpa)	$\varepsilon_{yd}$ (%)
CA25	250	217	0,104
CA50	500	435	0,207
CA60	600	522	0,248

Fonte: Adaptação de Carvalho e Figueiredo Filho (2015)

O aço CA60 não tem patamar definido, sendo o valor de  $f_{yk}$  definido pela tensão correspondente a uma deformação específica permanente de 0,002. A norma ABNT NBR 6118:2014 permite que, para este tipo de aço, seja utilizado o diagrama simplificado da Figura 10, para os cálculos nos estados limites de serviço e último. Sendo este válido para os intervalos com temperatura entre -20 °C e 150 °C, podendo ser aplicado para tração e compressão.

**Figura 10 - Diagrama de tensão-deformação para aços de armaduras passivas**



Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

### 2.2.6 Definição das propriedades dos materiais

A ABNT NBR 6118 leva em consideração para execução de um projeto às ações mecânicas, sendo estas movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação, assim como as diversas ações que atuam sobre a estrutura.

Para isso, a norma define a agressividade do ambiente conforme classificação do local do projeto. Esta agressividade está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto, conforme apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Classes de agressividade ambiental (CAA)**

<b>Classe de agressividade ambiental</b>	<b>Agressividade</b>	<b>Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto</b>	<b>Risco de deterioração da estrutura</b>
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

A durabilidade da estrutura depende das características do concreto, da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura. Na falta da possibilidade de realização de ensaios, a norma permite que sejam adotados os requisitos mínimos para escolha do tipo de concreto, apresentados nas Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b,c</sup>	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 125655.

<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

<sup>c</sup> CP Corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

Tabela 5 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/ pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/ pilar	30	35	45	55

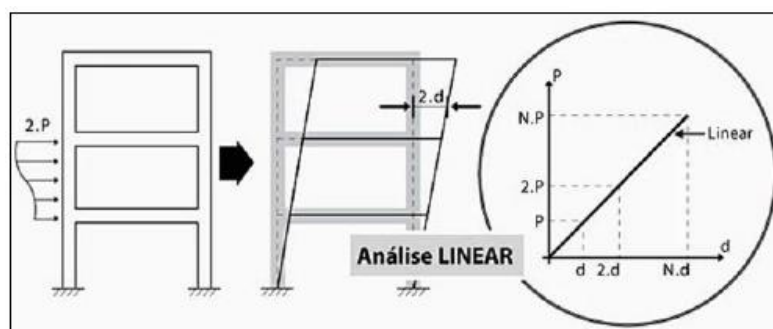
Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

Já para os aços, segundo Araújo (2014), a escolha fica limitada à sua disponibilidade comercial, levando em conta esse fato, emprega-se o aço CA-50 nos elementos estruturais que exigem barras de maiores diâmetros como armaduras longitudinais de vigas, pilares, escadas e fundações e CA-60 para estribos e armaduras de lajes.

### 2.3 Análise linear

Quando um material ou estrutura consegue voltar à sua configuração inicial após ter sofrido deformações decorrentes de ações externas, com posterior alívio de carregamento, é dito que o material trabalha em regime elástico, podendo-se fazer uma análise linear. (FONTES, 2005). Esse comportamento é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Idealização do comportamento linear da estrutura



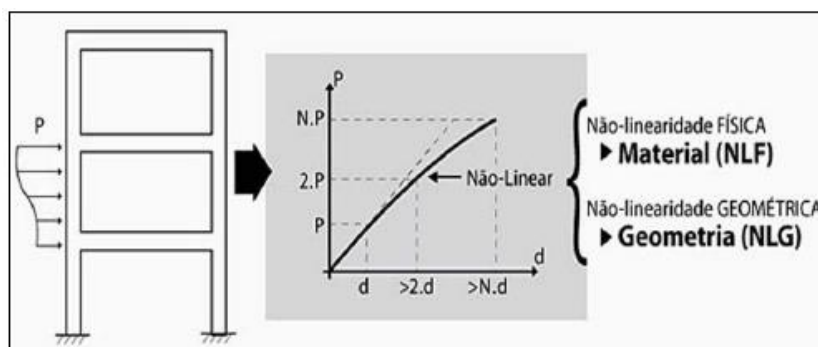
Fonte: França Junior (2015).

Entretanto, nem sempre é possível adotar um comportamento tão simplificado para os materiais. Por exemplo, procedimentos modernos de projeto de estruturas metálicas ou de concreto armado são baseados no estado de limite último, quando o material não tem mais um comportamento elástico. (MARTHA, 2017).

### 2.4 Análise não-linear

A análise não-linear é realizada em materiais ou estruturas, cuja relação entre a tensão e deformação não é proporcional. Esse tipo de análise é dividido em não linearidade física (NFL), a qual considera a relação não-linear entre tensões e deformações e a não-linearidade geométrica (NGL) que considera a relação não-linear entre deformações e deslocamentos, assim como o equilíbrio na posição deformada da estrutura (FONTES, 2005), a Figura 12 mostra esse comportamento.

**Figura 12 - Idealização do comportamento não-linear da estrutura**



Fonte: França Junior (2015)

#### 2.4.1 Não-linearidade física

A NLF desenvolve-se a partir da fissuração, fluência, deformação plástica do concreto, escoamento das armaduras, entre outros fatores associados ao comportamento do material. São levados em consideração a determinação da rigidez de elemento estrutural, para cada seção transversal com variação da quantidade e da disposição de armadura, assim como o grau de solitação, a partir das relações constitutivas dos materiais. (FONTES, p. 41, 2005).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, sendo o concreto armado um material altamente heterogêneo, cujo comportamento não obedece à lei de Hooke. Para a avaliação dos efeitos de 2ª ordem na estrutura, é necessário fazer uma redução na rigidez dos elementos estruturais. Isso é válido para estruturas reticuladas com no mínimo quatro andares.

#### 2.4.2 Não-linearidade geométrica

A NLG é decorrente da consideração dos efeitos de segunda ordem, provenientes da análise da estrutura em sua posição deformada, devendo ser somados aos efeitos de primeira ordem. Um exemplo simples de efeito de segunda ordem é o aumento de momentos fletores nos pilares de edifícios, resultando da combinação das ações verticais com deslocamentos horizontais provocados pelo vento. Essa análise de segunda ordem pode ser global (edifício como um todo) ou local (elementos isolados como tramos de pilares). (FONTES, p. 41, 2005).

A consideração da NLG, assim como na NLF, deve ser feita por meio de uma análise incremental-iterativa, a partir da qual se tem a atualização da geometria deformada para cada passo de carga ou iteração. (FONTES, p. 41, 2005).

## **2.5 Estados-limites**

Segundo Alves (p. 41, 2014), uma estrutura ou parte dela atinge um estado limite quando, de modo efetivo ou convencional, se torna inutilizável ou quando deixa de satisfazer às condições previstas para sua utilização. O método dos estados limites é fundamentado em análises estatísticas com relação às ações e às resistências.

Com estes métodos é possível garantir a segurança fazendo com que as solicitações correspondentes às cargas majoradas (solicitações de cálculo) sejam menores que as solicitações últimas, as quais levariam à ruptura ao atingir um estado de limite último, para isso a resistência característica dos materiais é minorada por coeficientes de ponderação. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), os estados limites considerados no cálculo das estruturas de concreto são os estados limites últimos e estados limite de serviço.

O estado limite último é aquele relacionado ao colapso ou qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralização, no todo ou em parte, do uso da estrutura CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

O estado limite de serviço é aquele relacionado ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários, às máquinas ou aos equipamentos suportados por esta. (ABNT NBR 6118:2014).

## **2.6 Ações**

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), ações são qualquer influência ou conjunto de influências capazes de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura. As ações classificam-se em permanentes, variáveis e excepcionais.

### **2.6.1 Ações permanentes**

As ações permanentes são as que ocorrem com valores constantes durante toda a vida da construção e aquelas cujos valores aumentam com o tempo. São classificadas em diretas aquelas constituídas pelo peso próprio da estrutura,

pesos dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes. São consideradas indiretas aquelas constituídas pelas deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e protensão. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

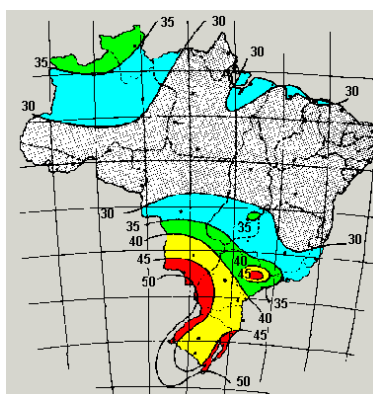
Segundo a ABNT NBR 6118:2014, os valores dessas ações devem ser extraídos da ABNT NBR 6120, a qual define as ações para cálculo de estruturas de edificações.

### 2.6.2 Ações Variáveis

As ações variáveis são também classificadas em diretas e indiretas. As ações diretas são constituídas pelas cargas acidentais previstas para o uso da construção, como ação do vento e da água. As indiretas são causadas por variações uniformes e não uniformes de temperatura e ações dinâmicas como choques ou vibrações. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

A determinação das ações variáveis provocadas pelo vento, deve feita com base na ABNT NBR 6123:1988, a qual fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações. As forças estáticas devidas ao vento são obtidas através da velocidade básica do vento  $V_0$ , conforme local onde a estrutura será construída. A velocidade básica do vento,  $V_0$ , é a velocidade de uma rajada de 3 s, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m acima do terreno, em campo aberto e plano de cada região, a qual é obtida com o gráfico das isopletras, apresentado na Figura 13.

**Figura 13 - Isopletras da velocidade básica  $V_0$  (m/s)**



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

Juntando a informação de  $V_0$  com as características do terreno classificadas na ABNT NBR 6123:1988, é possível obter a velocidade característica  $V_k$  do vento, conforme Expressão 10:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (10)$$

Onde:

$S_1$  = referente ao fator topográfico.

$S_2$  = referente à rugosidade do terreno.

$S_3$  = o fator estatístico.

O fator  $S_2$  é calculado considerando a altura da edificação para cada parcela da mesma (pé direito), conforme Expressão 11:

$$S_2 = b \cdot (z/10)^p \quad (11)$$

Onde:

$z$  = referente à altura.

$b$  e  $p$  são os valores definidos na Tabela 1 da ABNT NBR 6123:2019.

Após calcular  $V_k$ , é possível obter a pressão dinâmica do vento, através da Expressão 12:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (12)$$

Onde:

$q$  e  $V_k$  em  $N/m^2$  e  $m/s$  respectivamente.

Na sequência é necessário calcular o coeficiente de força, segundo ABNT NBR 6123:1988, a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela  $F_g$ , é obtida pela soma vetorial das forças do vento que aí atuam. A componente da força global na direção do vento, chamada de força de arrasto  $F_a$  é obtida pela Expressão 13.

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (13)$$

Onde:

$C_a$  é o coeficiente de arrasto, obtido através do ábaco apresentado na Figura 4 da ABNT NBR 6123:1988.

$A_e$  é a área frontal efetiva da projeção ortogonal da edificação.

### 2.6.3 Ações excepcionais

As ações excepcionais são aquelas cujos efeitos não possam ser controlados, ligados ao carregamento da estrutura. Estas podem ser provocadas por explosões, choque de veículos, incêndio, enchentes, abalo sísmico, entre outros. (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2015).

### 2.6.4 Combinação das ações

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), as combinações de ações são feitas para obtenção dos valores de cálculo  $F_d$ , a partir de valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação  $\gamma_p$ , esse coeficiente de ponderação serve para majorar as ações e é obtido pelo produto de outros três, conforme apresentado na Expressão 14.

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot \gamma_{f3} \quad (14)$$

Onde:

$\gamma_{f1}$ : considera a variabilidade das ações.

$\gamma_{f2}$ : considera a simultaneidade de atuação das ações.

$\gamma_{f3}$ : considera os possíveis desvios gerados nas construções e as aproximações feitas em projetos do ponto de vista das solicitações.

Ainda segundo o autor, as solicitações de cálculo devem ser determinadas a partir de combinações das ações consideradas, de acordo com a análise estrutural, a qual irá permitir estabelecer as distribuições de esforços internos, as tensões, deformações e deslocamentos. Para assim, poder verificar os estados limites últimos e de serviço.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, uma combinação última pode ser classificada como normal, especial ou de construção excepcional. As combinações normais referentes ao concreto armado são dadas pela Expressão 15:

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_{\epsilon g} \cdot F_{\epsilon gk} + \gamma_q \cdot (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qjk}) + \gamma_{\epsilon q} \cdot \psi_{0\epsilon} \cdot F_{\epsilon qk} \quad (15)$$

Onde:

$F_d$  é o valor de cálculo das ações para combinação última.

$F_{gk}$  representa as ações permanentes diretas.

$F_{\varepsilon k}$  representa as ações indiretas permanentes como a de retração  $F_{\varepsilon gk}$  e de temperatura  $F_{\varepsilon qk}$ .

$F_{qk}$  representa as ações variáveis diretas das quais  $F_{q1k}$  é escolhida principal.

Os coeficientes de ponderação  $\gamma_g$ ,  $\gamma_{\varepsilon g}$ ,  $\gamma_q$ ,  $\gamma_{\varepsilon}$ ,  $\psi_{0j}$  e  $\psi_{0\varepsilon}$  são tabelados pela ABNT NBR 6118:2014. Devendo ser definidos conforme uso da edificação, conforme apresentado nas Tabelas 6 e 7 a seguir:

**Tabela 6 - Valores do coeficiente  $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$**

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalque de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 <sup>a</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	0	1,2	1,2	0,9	0	0

Onde,

D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.

<sup>a</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

**Tabela 7 - Valores do coeficiente  $\gamma_{f2}$**

Ações	$\gamma_{f2}$			
	$\psi_0$	$\psi_1^a$	$\psi_2$	
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

<sup>a</sup> Para os valores de  $\psi_1$  relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga.

<sup>b</sup> Edifícios residenciais.

<sup>c</sup> Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

## 2.7 Condições de equilíbrio de uma estrutura

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, as equações de equilíbrio podem ser estabelecidas com base na geometria indeformada da estrutura, que seria a configuração geométrica inicial desta, sendo feita a análise dos efeitos de 1ª primeira ordem. Quando passa a se considerar a configuração deformada da estrutura, são analisados os efeitos de 2ª ordem.

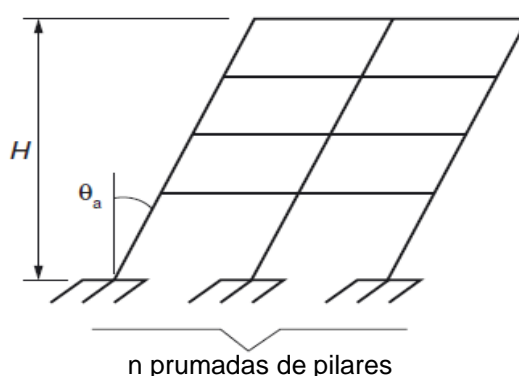
Quando os eixos da barra de uma estrutura não se mantêm retilíneos, afetando os esforços solicitantes ao longo dela, surgem os efeitos de 2ª ordem local.

Já quando surge uma região na barra, com uma deformação maior, ocorrem os efeitos de 2ª ordem localizados. Estes, além de aumentar a flexão longitudinal, aumentam a flexão transversal havendo a necessidade de aumentar a armadura transversal nessas regiões.

É considerando as imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais que se verifica o estado de limite-último. Essas imperfeições podem ser divididas em dois grupos: imperfeições globais e imperfeições locais. (ABNT NBR 6118:2014).

Na análise global, é considerado um desaprumo dos elementos verticais, seja a estrutura contraventada ou não, conforme Figura 14.

**Figura 14 - Imperfeições geométricas globais**



Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

Da configuração apresentada, tem-se as Equações 5 e 6:

$$\theta_1 = \frac{1}{100\sqrt{H}} \quad (5)$$

$$\theta_a = \theta_1 \sqrt{\frac{1 + \frac{1}{n}}{2}} \quad (6)$$

Onde:

$\theta_{1\text{min}} = 1/300$  para estruturas reticuladas e imperfeições locais.

$\theta_{1\text{máx}} = 1/200$ .

$H$  = a altura total da edificação, expressa em metros (m).

$n$  = o número de prumadas de pilares no pórtico plano.

Além do desaprumo, são também consideradas as ações de vento. Quando 30% da ação do vento for maior que a ação do desaprumo, considera-se somente a ação do vento. Quando a ação do vento for inferior a 30% da ação do desaprumo, considera-se somente o desaprumo, respeitando o valor de  $\theta_{1\text{mín}}$ . Nos demais casos, combina-se a ação do vento e desaprumo, sem necessidade da consideração do  $\theta_{1\text{mín}}$ , admitindo-se ambas as ações atuantes na mesma direção e sentido como equivalentes a uma ação do vento. (ABNT NBR 6118:2014).

Na análise das imperfeições locais, é levado em consideração o efeito do desaprumo ou da falta de retilineidade do eixo do pilar tracionado ou comprimido. (ABNT NBR 6118:2014).

Ainda segundo a norma, o efeito das imperfeições locais nos pilares e pilares-parede pode ser substituído, em estruturas reticuladas, pela consideração do momento mínimo de 1ª ordem, apresentado na expressão 7.

$$M_{1d,\text{mín}} = Nd (0,015 + 0,03h) \quad (7)$$

Onde:

$Nd$  = a força normal de cálculo

$h$  = a altura total da seção transversal na direção considerada, expressa em metros (m).

Para os efeitos de 2ª ordem, deve ser considerado o comportamento não linear dos materiais, os quais podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10% nas reações e nas solicitações relevantes na estrutura. (ABNT NBR 6118:2014).

Para efeito de cálculo, as estruturas são classificadas pela ABNT NBR 6118:2014 em nós fixos quando os efeitos de 2ª ordem forem 10% menores do que os esforços de 1ª ordem, podendo considerar apenas os efeitos locais e localizados

de 2ª ordem; e em nós móveis, quando em decorrência do deslocamento os efeitos globais forem superiores a 10% dos respectivos esforços de 1ª ordem, deve-se considerar os esforços de 2ª ordem globais, locais e localizados.

É possível avaliar a estabilidade global dos edifícios e classificá-la conforme os efeitos sofridos com o cálculo do parâmetro de instabilidade  $\alpha$  (alfa), coeficiente  $\gamma_z$  (gama-z) e processo P-Delta. (MONCAYO, 2011).

### 2.7.1 Parâmetro de instabilidade $\alpha$

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, estruturas reticuladas simétricas, podem ser consideradas de nós fixos sempre que  $\alpha$  for menor que  $\alpha_1$ , usando-se a expressão 8.

$$\alpha = H_{tot} \sqrt{N_k / (E_{cs} I_c)} \quad (8)$$

Onde:

$$\alpha_1 = 0,2 + 0,1n \quad \text{se: } n \leq 3$$

$$\alpha_1 = 0,6 \quad \text{se: } n \geq 4$$

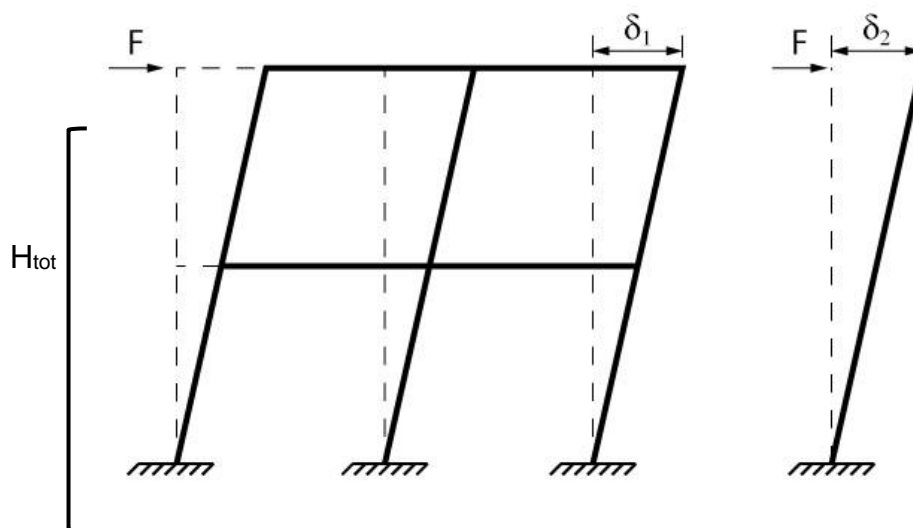
$n$  = número de níveis de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo.

$H_{tot}$  = a altura total da estrutura, medida a partir do topo da fundação ou de um nível pouco deslocável do subsolo.

$N_k$  = o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de  $H_{tot}$ ), com seu valor característico.

$E_{cs} I_c$  = representa o somatório dos valores de rigidez de todos os pilares na direção considerada. Constante para estruturas de pórticos ou com pilares de rigidez variável.

A Figura 15 apresenta a configuração da expressão 8, onde  $n \leq 3$ ,  $N_k$  é representado por  $F$  e o somatório dos valores de rigidez igual a 3 vezes  $E_{cs} I_c$ .



Fonte: Adaptado de Moura (2020)

### 2.7.2 Coeficiente $\gamma_z$

A ABNT NBR 6118:2014 define que a avaliação de segunda ordem global é válida para estruturas reticuladas de, no mínimo, quatro andares. O coeficiente  $\gamma_z$  (gama z) é determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem. Para cada caso de carregamento deve-se adotar o valor de redução de rigidez simplificada do material, definido pela norma, considerando o comportamento não linear do concreto (KOERICH; PACHECO, 2019).

Os valores de redução de rigidez recomendados pela norma são:

- a) 0,3 para lajes
- b) 0,8 para pilares
- c) 0,4 para vigas

$\gamma_z$ , calcula-se conforme Expressão 9.

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (9)$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$  é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura.

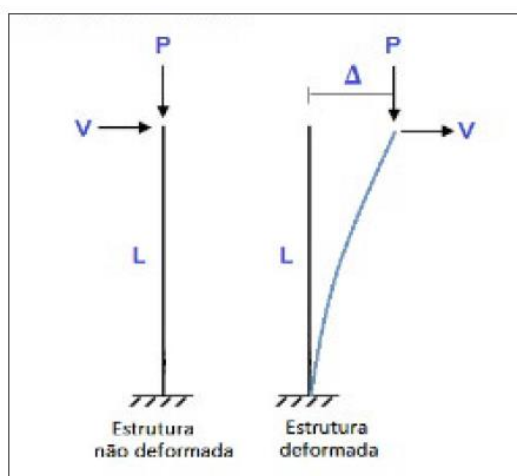
$M_{tot,d}$  é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Considera-se que a estrutura é de nós fixos se for obedecida a condição  $\gamma_z \leq 1,1$ .

### 2.7.3 Processo P-Delta

Segundo Moncayo (2011), o processo P-Delta não é um parâmetro de estabilidade, mas a partir dele é possível obter os esforços de 1ª e 2ª ordem global, fazendo uma análise não-linear geométrica. Este processo relaciona a carga axial (P) à qual a estrutura está submetida com o deslocamento horizontal ( $\Delta$ ), conforme Figura 16.

**Figura 16 - Estados não deformado e deformado da estrutura**



Fonte: Iglesia (2016).

Conforme mostra a Figura 16, para uma estrutura submetida a uma força lateral V e uma carga vertical P, o momento de 1ª ordem será igual a Equação 10:

$$M_{1ª} = V.L \quad (10)$$

Onde:

L é o comprimento ou altura do elemento.

Visto que P não produz momento fletor na base, seu deslocamento lateral e o momento de 1ª ordem são representados pelas Equações 11 e 12.

$$\Delta = \frac{VL^3}{3EI} \quad (11)$$

$$\Delta = \frac{ML^2}{3EI} \quad (12)$$

Observando a configuração deformada do elemento, tem-se o momento de 1ª ordem somado ao deslocamento lateral vezes a carga vertical, resultando no momento de 2ª ordem, apresentada na expressão 13.

$$M = (V \cdot L) + (P \cdot \Delta) \quad (13)$$

E deslocamento lateral, apresentada na expressão 14.

$$\Delta = \frac{ML^2}{3EI} = \frac{VL^3}{3EI} + \frac{P\Delta L^2}{3EI} = \frac{VL^3}{3EI - PL^2} \quad (14)$$

E assim sucessivamente, para cada deslocamento provocado pela força lateral. Segundo Iglesia (2016), o processo de interação pode ser repetido até que o deslocamento encontrado tenha uma diferença muito pequena com o deslocamento anterior, ou seja, até que se encontre o equilíbrio da estrutura.

## 2.8 Método de pré-dimensionamento

Fazer o pré-dimensionamento de uma estrutura de concreto armado possibilita ter uma estimativa inicial das dimensões das seções transversais dos elementos estruturais, obtendo assim dados mais precisos para o lançamento destes. Para fazer o pré-dimensionamento, podem ser utilizados modelos de cálculos simplificados, conforme será apresentado nos tópicos a seguir. (COLUCCI, 2019).

### 2.8.1 Área de influência

Segundo McCormac (2014), as áreas de influência são aquelas que, quando carregadas, influem nas forças de projeto de um determinado elemento da estrutura.

Bastos (2017) sugere a necessidade de ter um valor que represente a carga total por metro quadrado de laje, levando-se em conta todos os carregamentos permanentes e variáveis. Para edifícios de pequena altura, com fins residenciais e de escritórios, pode-se estimar a carga total de 10 kN/m<sup>2</sup>. Edifícios com outros fins de utilização podem ter cargas superiores e em edifícios onde a ação do vento é significativa, a carga por metro quadrado deve ser majorada.

Ainda segundo o autor, esta carga estimada serve apenas para pré-dimensionar a seção transversal dos pilares.

Segundo McCormac (2014), a área de influência pode ser obtida através da seguinte Expressão 15:

$$A_i = K_{LL} \cdot A_T \quad (15)$$

Onde:

$K_{LL}$  o fator de redução conforme classificação referente ao local do pilar.

$A_T$  a área definida multiplicando o fator de redução pelo comprimento efetivo da viga, limitando assim a região onde o carregamento está sendo distribuído.

Bastos (2017) sugere um processo simplificado para obtenção da área de influência, utilizando os seguintes valores para  $K_{LL}$ :

- a) 0,4 para pilares de canto
- b) 0,5 para pilares intermediários e
- c) 0,6 para pilares de extremidades

Ainda segundo Bastos (2017), é possível realizar o pré-dimensionamento dos pilares, através do processo apresentado, com as seguintes expressões:

- a) Pilares intermediários

$$A_c = \frac{N_d}{0,5 f_{ck} + 0,4} \quad (16)$$

- b) Pilares de Extremidade e de Canto

$$A_c = \frac{1,5 N_d}{0,5 f_{ck} + 0,4} \quad (17)$$

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do pilar (cm<sup>2</sup>).

$N_d$  = força de cálculo (kN).

$F_{ck}$  = resistência característica do concreto (kN/cm<sup>2</sup>).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, a seção transversal dos pilares não pode apresentar dimensão menor que 19 cm. Em casos especiais, admite-se dimensão entre 14 cm e 19 cm desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo por um coeficiente de majoração  $\gamma_n$ , não sendo permitido pilares com seção transversal de área de concreto inferior a 360 cm<sup>2</sup>. A Tabela 8 apresenta os valores de  $\gamma_n$ , definidos pela norma.

**Tabela 8 - Valores do coeficiente  $\gamma_n$  para pilares e pilares-parede**

<b>b (cm)</b>	$\geq 19$	18	17	16	15	14
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Onde:

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$$

b é a menor dimensão da seção transversal, expressa em cm.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6118:2014

A força normal de cálculo deve ser calculada através da Equação 18:

$$N_d = N_k * \gamma_f * \gamma_n \quad (18)$$

Onde:

$N_k$  é o valor da área de influência vezes o carregamento ao qual a área está imposta.

$\gamma_f$  é o coeficiente de ponderação igual a 1,4.

### 2.8.2 Pré-dimensionamento das vigas

A seção transversal das vigas não pode apresentar largura  $b_w$  menor que 12 cm e no caso de vigas-parede  $b_w$  não pode ser menor que 15 cm. (ABNT NBR 6118:2014).

Para fixação da altura da viga, pode-se adotar um critério de anteprojeto, utilizando a seguinte relação:

- a)  $L/12$  para vãos internos
- b)  $L/10$  para vãos externos ou viga biapoiada
- c)  $L/5$  para vigas em balanço

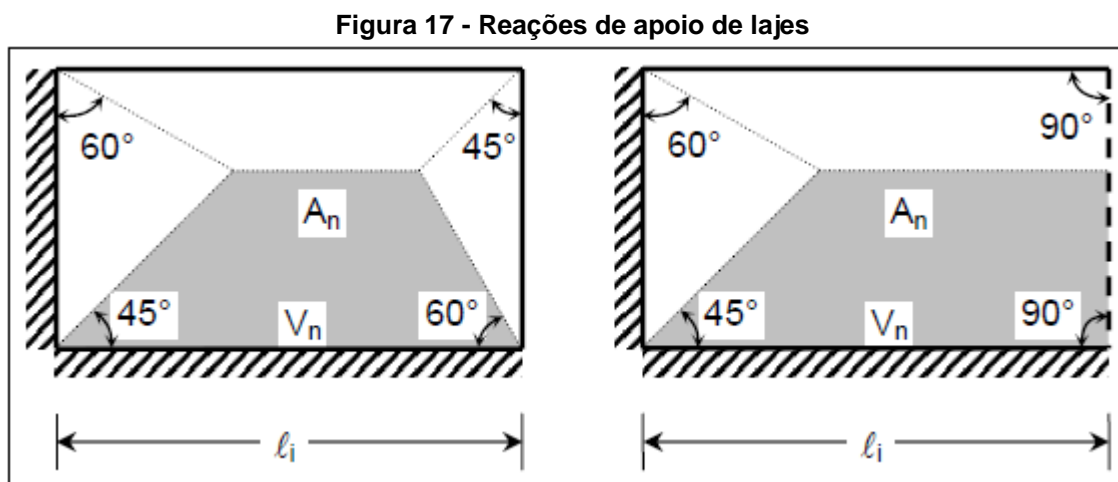
Segundo Alves (2014), deve-se ainda verificar adequadamente as condições de alojamento das armaduras, interferência com as armaduras de outros elementos estruturais, o correto lançamento e vibração do concreto.

## 2.9 Método para cálculo das reações de apoio das lajes nas vigas

A ABNT NBR 6118:2014 define que as reações de apoio das lajes maciças retangulares com carga uniformemente distribuída em cada apoio podem ser calculadas considerando as cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados por retas inclinadas, a partir dos vértices com os seguintes ângulos:

- 45° entre dois apoios do mesmo tipo;
- 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado;
- 90° a partir do apoio, quando a borda vizinha for livre.

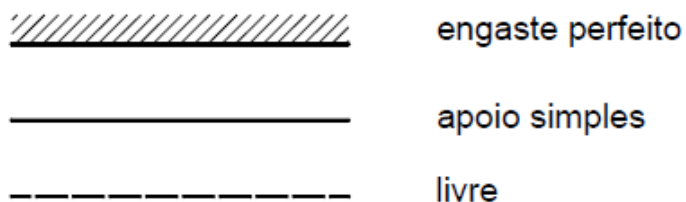
O desenho esquemático para cálculo das reações de apoio é apresentado na Figura 17.



Fonte: Marino (2005)

Da Figura 17, as linhas das bordas representadas fazem referência aos seguintes tipos de vínculos apresentados na Figura 18.

**Figura 18 - Convenção de estilo de linha para os vínculos de engaste perfeito, apoio simples e borda livre**



Fonte: Bastos (2015).

Segundo Marino (2005), para a viga  $V_n$  apresentada na Figura 19, sobre a qual as lajes estão apoiadas, a reação de apoio é dada pela Equação 19:

$$r_{Vn} = \frac{p_k * A_n}{l_i} \quad (19)$$

Onde:

$r_{Vn}$  é a reação de apoio na viga  $V_n$ .

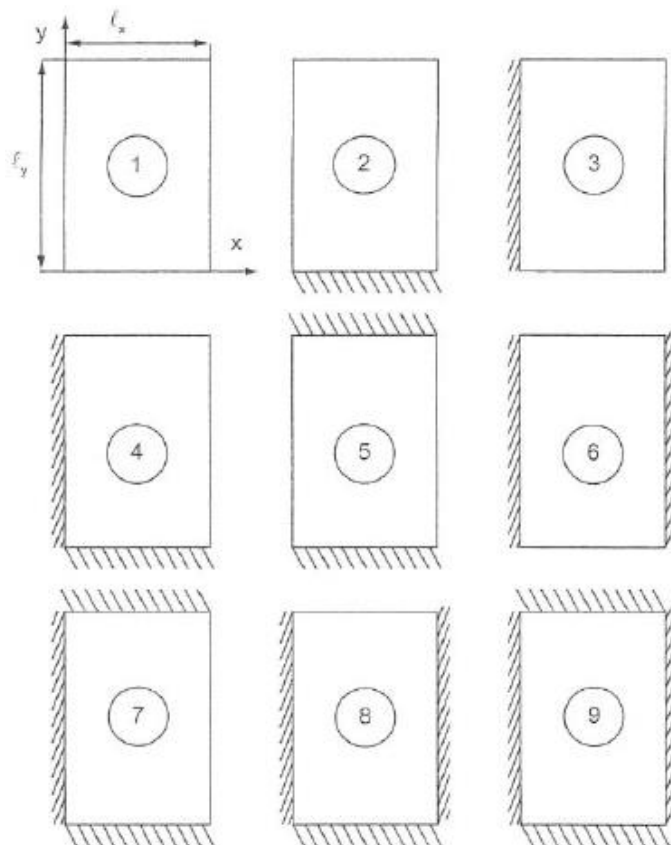
$p_k$  é o valor característico da carga uniformemente distribuída na laje.

$A_n$  é a área  $n$  definida pelo trapézio de base  $l_i$ .

$l_i$  é o vão da laje e da viga  $V_n$  correspondente a base do trapézio.

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2015), pode-se ainda chegar às reações de apoio das lajes nas vigas utilizando o coeficiente  $k$ , o qual é tabelado para os diversos casos de apoio de lajes. A Figura 19 apresenta as situações de vinculação (apoio) das lajes.

**Figura 19 - Situações de vinculação isolada das lajes**



Para encontrar o coeficiente  $k$ , primeiro é necessário calcular o parâmetro  $\lambda$ , o qual reflete a geometria da laje, dado pela Equação 20:

$$\lambda = \frac{l_y}{l_x} \quad (20)$$

Onde:

$l_x$  é a menor das dimensões da superfície da placa (laje) e

$l_y$  é a maior dimensão.

Na sequência, basta procurar o valor de  $k_n$  e  $k'_n$  nos quadros 7.8 a 7.10 apresentadas por Carvalho e Figueiredo Filho (2015). Nas Figuras 20 e 21, é possível conferir alguns desses valores, os quais serão utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

**Figura 20 - Coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k'_x$ ,  $k'_y$  para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (casos 4, 5 e 6)**

$\lambda$	Caso 4				Caso 5		Caso 6	
	$k_x$	$k'_x$	$k_y$	$k'_y$	$k_x$	$k'_y$	$k'_x$	$k_y$
1,00	1,83	3,17	1,83	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44
1,05	1,92	3,32	1,83	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44
1,10	2,00	3,46	1,83	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44
1,15	2,07	3,58	1,83	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44
1,20	2,14	3,70	1,83	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44
1,25	2,20	3,80	1,83	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44
1,30	2,25	3,90	1,83	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44
1,35	2,30	3,99	1,83	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44
1,40	2,35	4,08	1,83	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44
1,45	2,40	4,15	1,83	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44
1,50	2,44	4,23	1,83	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44
1,55	2,48	4,29	1,83	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44
1,60	2,52	4,36	1,83	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2015).

**Figura 21 - Coeficientes  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k'_x$ ,  $k'_y$  para o cálculo das reações nas vigas de apoio de lajes retangulares uniformemente carregadas (casos 7, 8 e 9)**

$\lambda$	Caso 7			Caso 8			Caso 9	
	$k_x$	$k_y$	$k'_y$	$k'_x$	$k_y$	$k'_y$	$k'_x$	$k'_y$
1,00	1,44	2,50	3,03	3,03	1,44	2,50	2,50	2,50
1,05	1,52	2,63	3,08	3,12	1,44	2,50	2,62	2,50
1,10	1,59	2,75	3,11	3,21	1,44	2,50	2,73	2,50
1,15	1,66	2,88	3,14	3,29	1,44	2,50	2,83	2,50
1,20	1,73	3,00	3,16	3,36	1,44	2,50	2,92	2,50
1,25	1,80	3,13	3,17	3,42	1,44	2,50	3,00	2,50
1,30	1,88	3,25	3,17	3,48	1,44	2,50	3,08	2,50
1,35	1,94	3,36	3,17	3,54	1,44	2,50	3,15	2,50
1,40	2,00	3,47	3,17	3,59	1,44	2,50	3,21	2,50
1,45	2,06	3,57	3,17	3,64	1,44	2,50	3,28	2,50
1,50	2,11	3,66	3,17	3,69	1,44	2,50	3,33	2,50
1,55	2,16	3,75	3,17	3,73	1,44	2,50	3,39	2,50
1,60	2,21	3,83	3,17	3,77	1,44	2,50	3,44	2,50
1,65	2,25	3,90	3,17	3,81	1,44	2,50	3,48	2,50

Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2015).

De modo geral, Carvalho e Figueiredo Filho (2015) calcula as reações de apoio levando em consideração a direção x e y das vigas assim como o tipo de apoio.

Dessa maneira, as reações nas direções x e y nas vigas em bordas simplesmente apoiadas são definidas pelas Expressões 21, 22, 23 e 24:

$$r_{Vnx} = k_x * p * \frac{l_i}{10} \quad (21)$$

$$r_{Vny} = k_y * p * \frac{l_i}{10} \quad (22)$$

E para vigas em bordas engastadas:

$$r_{Vnx} = k'_x * p * \frac{l_i}{10} \quad (23)$$

$$r_{Vny} = k'_y * p * \frac{l_i}{10} \quad (24)$$

Onde:

$r_{Vn}$  é a reação de apoio na viga  $V_n$ .

$p$  é o valor característico da carga uniformemente distribuída na laje.

$k$  é o coeficiente definido pelo tipo de apoio da laje.

$l_i$  é o vão da laje e da viga  $V_n$  correspondente.

Segundo os autores, a ação das lajes nas vigas, no estado elástico, ocorre por meio de um carregamento com intensidade variável ao longo do seu comprimento, e não uniforme, o que não é simples de determinar, dificultando o cálculo das vigas. Por este motivo, de modo simplificado, pode-se considerar que a ação das lajes maciças nas vigas é uniformemente distribuída.

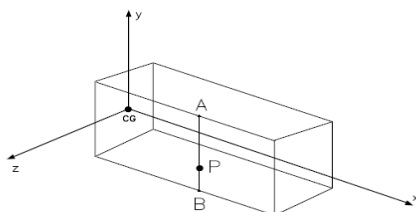
## 2.10 Métodos de análise estrutural

Segundo Martha (2017) no contexto da análise estrutural, o cálculo corresponde à determinação dos esforços internos na estrutura, das reações de apoios, dos deslocamentos, rotações, tensões e deformações. As metodologias de cálculo são procedimentos matemáticos que resultam das hipóteses adotadas na concepção do modelo estrutural. O modelo de viga de Euler-Bernoulli e o método dos deslocamentos, possibilitam ter uma melhor compressão de como *softwares* analisam a estrutura.

### 2.10.1 Modelo de viga de Euler-Bernoulli

A viga, sendo um elemento unidimensional, tem o seu comprimento bem maior que as dimensões da seção transversal. O sistema cartesiano de referência empregado, passa pelo centro de gravidade de sua seção, conforme apresentado na Figura 22. A teoria de Euler-Bernoulli, ou de flexão pura, é a mais simples e comumente utilizada na prática, adotando-se um campo de deslocamentos, implica nas hipóteses de que uma linha reta e normal à superfície neutra permanecerá reta e normal após a deformação da peça. (CRUZ; SOUZA, 2018).

**Figura 22 - Sistemas de coordenadas da viga**

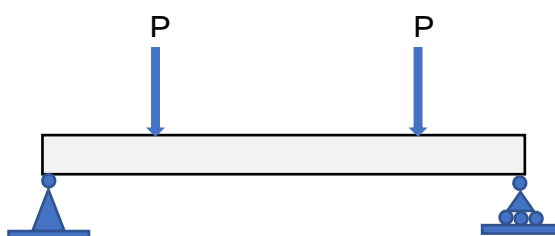


Fonte: Cruz e Souza (2018).

Quando um elemento estiver submetido a momentos fletores  $M$  e  $M'$  iguais e opostos, atuando no mesmo plano longitudinal, dizemos que estão em flexão pura. (BEER et al., 2013).

Por exemplo, a parte central de uma viga submetida a duas cargas  $P$ , conforme apresenta a Figura 23, está solicitada por flexão pura.

**Figura 23 - Viga solicitada por flexão pura**



Fonte: Adaptação Beer et al. (2013).

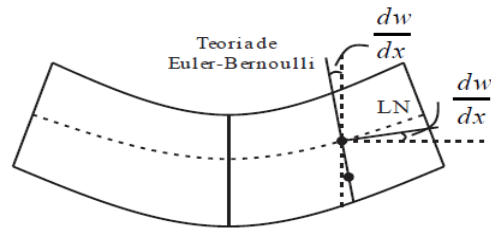
É por conveniência imaginar que a viga seja formada por um número infinito de fibras longitudinais, dessa forma a viga será submetida à flexão curvando-se para baixo, sofrendo assim as tensões de tração e compressão.

A viga contém uma superfície neutra, formada por um conjunto de fibras que formam uma superfície plana, a qual não sofre os esforços de tração nem de compressão. A essa superfície se dá o nome de plano neutro. A interseção do plano neutro com a seção transversal considerada, recebe o nome de eixo neutro.

Todas as fibras que se situam na seção transversal, do mesmo lado, em relação à linha, estão submetidas à tração e as que estão no lado oposto, estão submetidas à compressão. (BEER et al., 2013).

A teoria de Euler-Bernoulli assume que o deslocamento lateral é nulo, bem como as deformações verticais em todos os pontos da mesma seção transversal são pequenos e iguais ao eixo da viga (CRUZ; SOUZA, 2018), conforme apresentado na Figura 24.

**Figura 24 - Modelo de viga de Euler-Bernoulli.**



Fonte: Cruz e Souza (2018).

Para o comportamento ilustrado acima, a viga assume as características apresentadas nas Equações 25, 26 e 27.

$$M = -EI * \frac{d^2v}{dx^2} \quad (25)$$

$$V = \frac{dM}{dx} = -EI * \frac{d^3v}{dx^3} \quad (26)$$

$$q = \frac{d^2M}{dx^2} = -EI * \frac{d^4v}{dx^4} \quad (27)$$

Onde:

M é o momento fletor.

V é o esforço cortante.

q é a taxa de carga atuante na viga.

E o módulo de elasticidade.

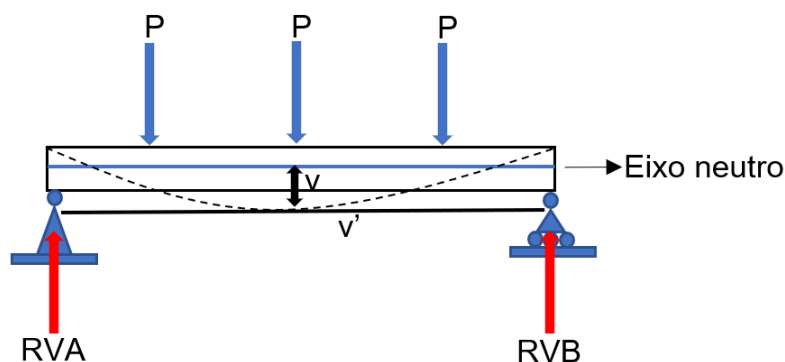
I o momento de inércia.

w a deflexão ao longo do eixo x.

#### 2.10.1.1 Deflexão da viga

A deflexão da viga é a deformação do eixo neutro quando aplicada uma carga à viga. A Figura 25 mostra essa deflexão ocorrendo em uma viga bi apoiada, submetida a três cargas pontuais P. (BEER et al., 2013).

Figura 25 - Comportamento da viga bi apoiada



Fonte: Elaboração própria (2019).

Na Figura 25, a linha tracejada representa a deflexão  $v$ , e  $v'$  é a pente em qualquer ponto, ou seja, a derivada de primeira ordem.

Para poder calcular a deflexão da viga, primeiramente deve-se ter conhecimento das condições de contorno desta, definidas pelos apoios. (BEER et al., 2013).

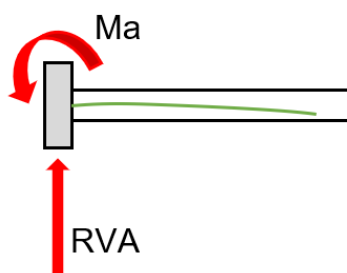
Neste caso no ponto A tem-se uma reação vertical  $RVA$  definida pelo apoio de 1º gênero, no ponto B temos uma reação vertical  $RVB$  definida pelo apoio de 2º gênero. (BEER et al., 2013).

Conhecidas as condições de contorno, é possível afirmar que:

- No ponto no ponto A,  $v=0$  e  $v' \neq 0$  quando  $x = 0$ .
- No ponto B,  $v = 0$  e  $v' \neq 0$  quando  $x = L$ .

Para o caso de vigas engastadas, ou seja, com apoio de 3º gênero, o qual restringe tanto as reações verticais, horizontais como o giro do elemento, tem-se que no ponto A,  $v = 0$  e  $v' = 0$  quando  $x = 0$ , isto acontece porque no ponto de origem não há deflexões, conforme mostra a Figura 26. (BEER et al., 2013).

Figura 26 - Comportamento da viga engastada



Fonte: Elaboração própria (2019)

### 2.10.2 Método dos deslocamentos

Segundo Martha (2017), o método dos deslocamentos tem o objetivo de determinar, dentro do conjunto de soluções, as condições de compatibilidade, onde as condições de equilíbrio sejam satisfeitas. Nesse método, as incógnitas principais do problema são deslocamentos e rotações.

Para análise e solução de um modelo estrutural, o método dos deslocamentos leva em consideração as condições de compatibilidade; leis constitutivas dos materiais e condições de equilíbrio.

Ainda segundo o autor, no caso geral de uma estrutura com  $n$  deslocabilidade, pode-se escrever conforme apresentado na Expressão 28.

$$\{\beta_0\} + [K]\{D\} = \{0\} \quad (28)$$

Onde:

$\{\beta_0\}$  é vetor dos termos de carga.

$[K]$  é a matriz de rigidez global.

$\{D\}$  é o vetor das deslocabilidades.

O número de equações de equilíbrio na Equação matricial 28 é igual ao número de deslocabilidades, a qual corresponde a uma deslocabilidade genérica  $D_i$ .

A deslocabilidade  $D_i$  é a componente de deslocamento ou rotação livre, não restrita por apoio, em um nó da estrutura. (MARTHA, 2017).

O coeficiente de rigidez  $K$  é a constante da mola definida pela força (ou momento) exigida para produzir um deslocamento unitário ou rotação  $D_i$  (MCCORMAC, 2014), conforme comportamento mostrado na Figura 27.

**Figura 27 - Comportamento da mola linear**

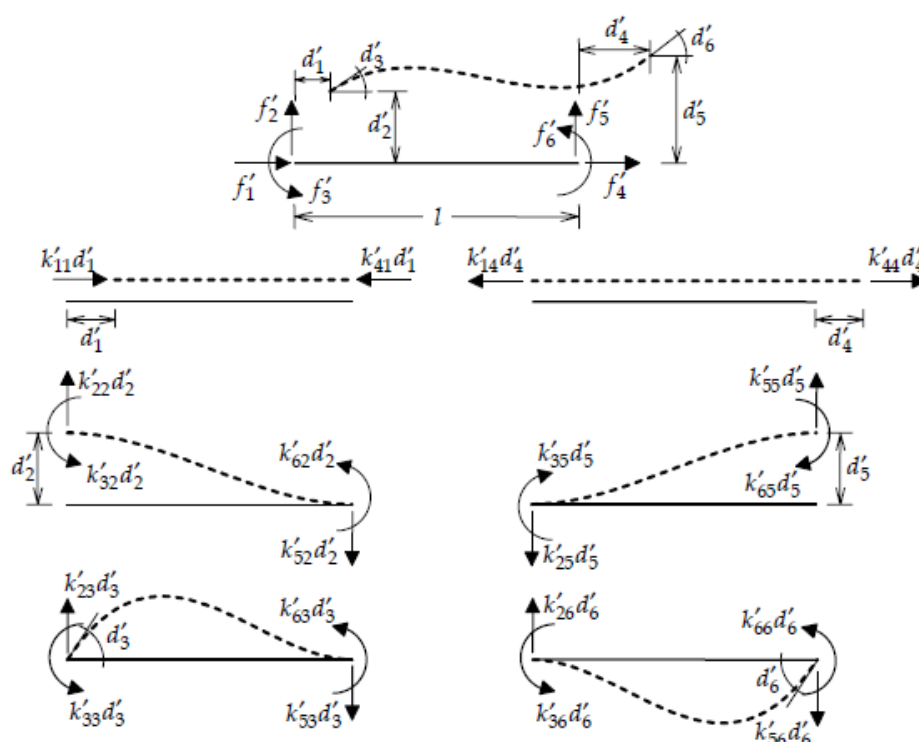


Fonte: McCormac (2014).

Os coeficientes de rigidez de uma barra isolada de pórtico plano são forças e momentos que atuam nas extremidades destas, paralelamente aos seus eixos

locais, para mantê-la em equilíbrio quando um deslocamento ou rotação é imposto. Dessa forma, a configuração deformada de uma barra pode ser decomposta e as forças generalizadas da barra podem ser obtidas pela soma das forças e momentos que equilibram a mesma (MARTHA, 2017) por meio da superposição destas, conforme apresenta a Figura 28.

**Figura 28 - Configurações deformadas elementares para compor a elástica final de uma barra de pórtico plano isolada**



Fonte: Martha (2017).

Segundo o autor, a superposição de configurações deformadas, apresentada na Figura 29, resulta em uma relação entre cada força nodal generalizada  $f_i'$  e as deslocabilidades da barra. Sendo  $f_1'$  a soma das forças axiais na extremidade da barra, onde  $f_1' = k'_{11}d_1' + k'_{14}d_4'$ ; e  $f_2'$  a soma das forças transversais na extremidade esquerda da barra, onde  $f_2' = k'_{22}d_2' + k'_{23}d_3' + k'_{25}d_5' + k'_{26}d_6'$ . Assim, generalizando o conceito para todas as forças e momentos que atuam nas extremidades da barra, chega-se a relação matricial apresentada na Figura 29.

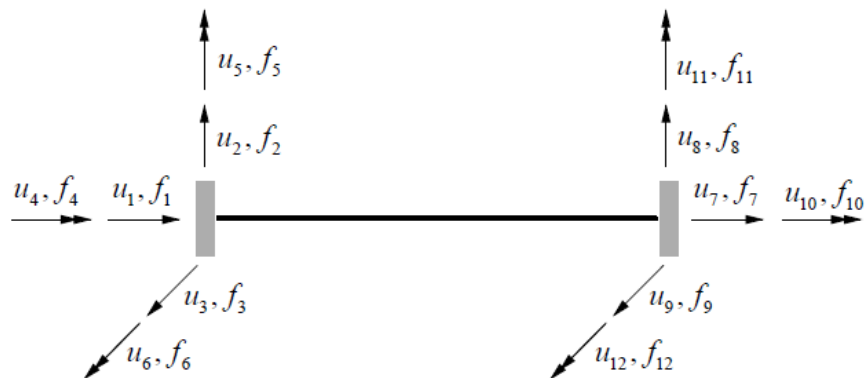
**Figura 29 - Relação matricial de um pórtico plano**

$$\begin{Bmatrix} f'_1 \\ f'_2 \\ f'_3 \\ f'_4 \\ f'_5 \\ f'_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k'_{11} & 0 & 0 & k'_{14} & 0 & 0 \\ 0 & k'_{22} & k'_{23} & 0 & k'_{25} & k'_{26} \\ 0 & k'_{32} & k'_{33} & 0 & k'_{35} & k'_{36} \\ k'_{41} & 0 & 0 & k'_{44} & 0 & 0 \\ 0 & k'_{52} & k'_{53} & 0 & k'_{55} & k'_{56} \\ 0 & k'_{62} & k'_{63} & 0 & k'_{65} & k'_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d'_1 \\ d'_2 \\ d'_3 \\ d'_4 \\ d'_5 \\ d'_6 \end{Bmatrix}$$

Fonte: Martha (2017).

Conforme descrito, os pórticos planos têm, em cada ponto nodal de uma barra isolada, três componentes de deslocamentos, chamados também de graus de liberdade. Os pórticos espaciais têm, em cada ponto nodal de uma barra isolada, seis componentes de deslocamentos, sendo estes lineares e de rotação. (RIBEIRO et al., 2014). A Figura 30 apresenta essa configuração.

**Figura 30 -Graus de liberdade de um elemento de pórtico espacial**



Fonte: Ribeiro et al. (2014)

Obtendo-se a relação matricial apresentada na Figura 31, para o pórtico espacial.

Figura 31 - Relação matricial de um pórtico espacial

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix}
 \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\
 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \\
 -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\
 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_x}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_x}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\
 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L}
 \end{bmatrix}$$

Fonte: Ribeiro et al. (2014)

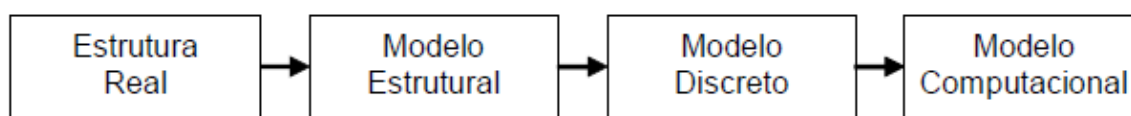
Na relação matricial apresentada acima,  $I_y$  e  $I_z$  são os momentos principais de inércia;  $I_x$  é a constante torcional ou momento de inércia à torção pura; e  $A$  a área da seção transversal do elemento. (RIBEIRO et al., 2014).

## 2.11 Ferramenta computacional

Segundo Martha (2017), todas as teorias físicas e matemáticas resultantes da engenharia estrutural como ciência são utilizadas na análise estrutural.

Ainda segundo o autor, a análise estrutural moderna trabalha com quatro níveis de abstração, conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Quatro níveis de abstração para uma estrutura na análise estrutural



Fonte: Martha (2017).

Conforme apresentado na Figura 32, os quatro níveis de abstração para uma estrutura na análise estrutural são:

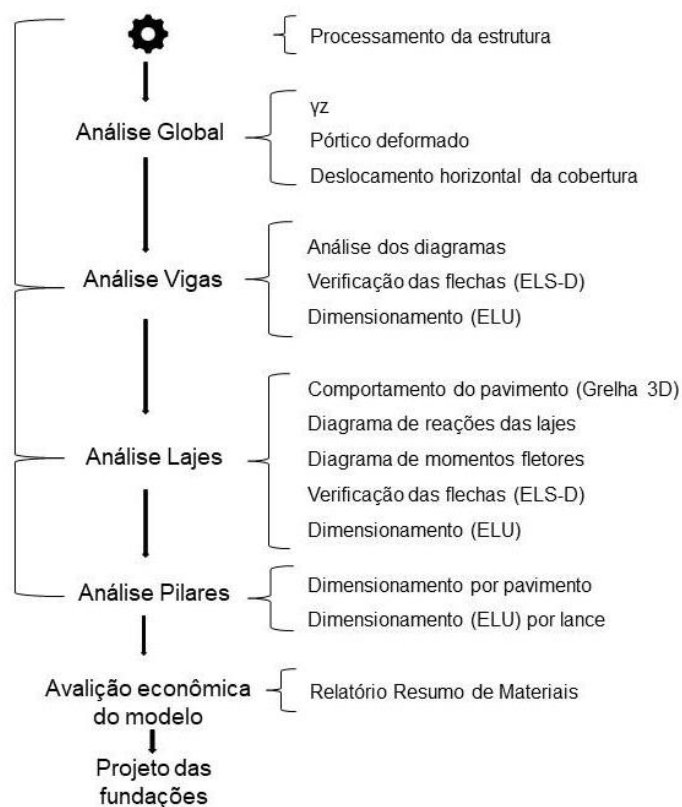
- a) O primeiro nível de abstração é o do mundo físico, o qual representa a estrutura real, tal como é construída;
- b) O segundo nível da análise estrutural é o modelo analítico que é utilizado para representar matematicamente a estrutura que está sendo analisada;
- c) O terceiro nível é onde soluções analíticas são representadas pelos valores discretos dos parâmetros adotados, ou seja, o método utilizado. Essa passagem do modelo matemático para o modelo discreto é denominada discretização;
- d) O quarto e último nível de abstração é o nível em que a estrutura é processada e o seu comportamento é analisado com o uso de um software.

Desde a década de 1960 o computador tem sido utilizado na análise estrutural, embora inicialmente somente nos institutos de pesquisa e universidades. Nos anos setenta, essa utilização passou a ser comum, surgindo nos anos seguintes a criação de programas gráficos interativos. Dessa forma, a análise estrutural passou a ser feita com o uso de computador em praticamente todos os escritórios de cálculo estrutural e empresas de consultoria. (MARTHA, 2017).

Dentre os vários softwares existentes no mercado, temos o Eberick, que utiliza para a realização da análise estrutural a análise estática linear. Essa opção básica do processamento tem como objetivo determinar os esforços presentes em cada um dos elementos. Nesse processo também são determinadas as flechas elásticas dos elementos, de modo que os resultados aqui obtidos permitem uma avaliação prévia do comportamento da estrutura. (QISUPORTE, 2018).

A Figura 33 apresenta a sequência lógica de como o software trabalha para realizar a análise e dimensionamento de uma estrutura.

**Figura 33 - Esquema de projeto**



Fonte: Adaptado de Koerich e Pacheco (2019).

O Eberick verifica os elementos para o Estado Limite Último e de Serviço (ELU e ELS), de acordo com as normas brasileiras. Fornecendo resultados de dimensionamento, esforços e os resultados de armadura. (ALTOQI, 2020).

### 3 METODOLOGIA

Foram utilizados dois modelos estruturais de uma mesma edificação, sendo estes, plano e espacial, com dimensões que possibilitem a análise atendendo aos critérios das normas vigentes.

Todos os cálculos para pré-dimensionamento dos elementos estruturais do pórtico, ações permanentes, variáveis, combinações de cálculos, assim como reações de apoio, foram feitos com o *software* Excel.

O *layout* da edificação foi primeiramente desenhado no *software* AutoCad 2017 versão estudantil, para depois ser exportado para o *software* Eberick *Next Basic* 2019, cuja licença do Eberick foi fornecida pela empresa AltoQi, exclusivamente para o desenvolvimento deste trabalho.

A seguir, será apresentado o passo a passo utilizado, para que os resultados fossem atingidos.

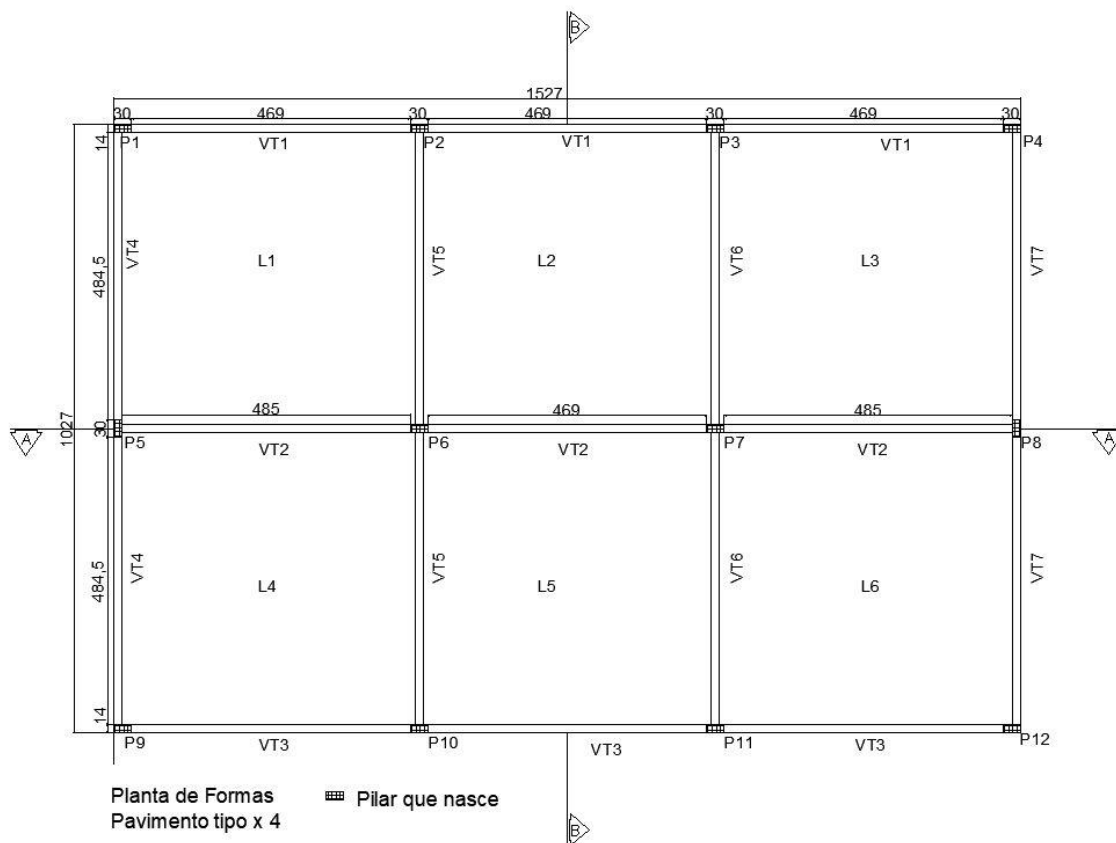
#### 3.1 Definições gerais

O modelo estrutural utilizado é um pórtico desenhado exclusivamente para o estudo em questão, sua estrutura é do tipo convencional formada por vigas, pilares e fundação composta por sapatas. Todos os elementos são em concreto armado, a consideração da laje e alvenaria será representada pela carga distribuída nas vigas. A edificação é de quatro pavimentos, com as seguintes dimensões iniciais:

- a) Fachada: 1027 x 1527 cm
- b) Altura do pórtico: 1120 cm
- c) Pé direito: 280 cm
- d) Seção dos pilares: 14 x 30 cm
- e) Seção das vigas: 14 cm x H, onde H será definido no pré-dimensionamento do elemento.

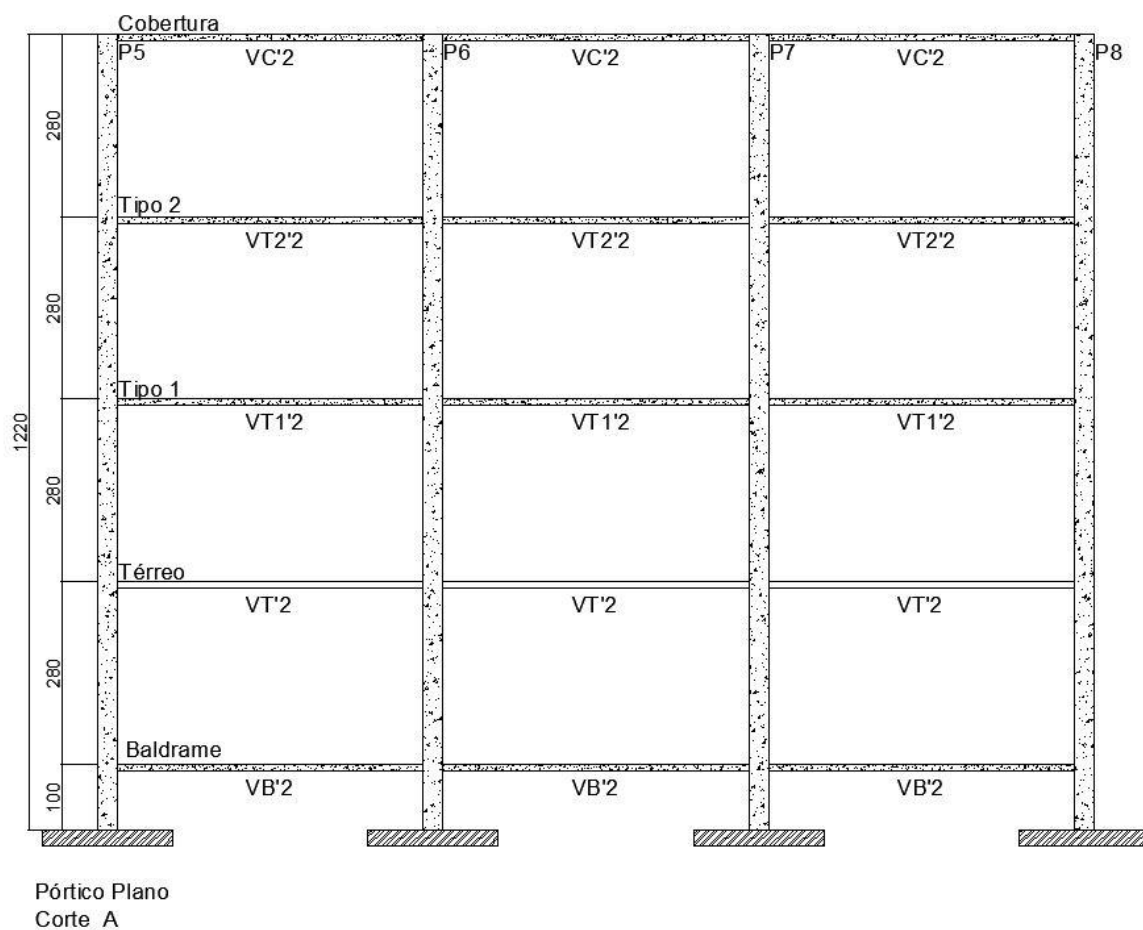
As Figuras 34, 35 e 36 a seguir, apresentam o *layout* do objeto de estudo:

**Figura 34 - Planta de formas térreo**



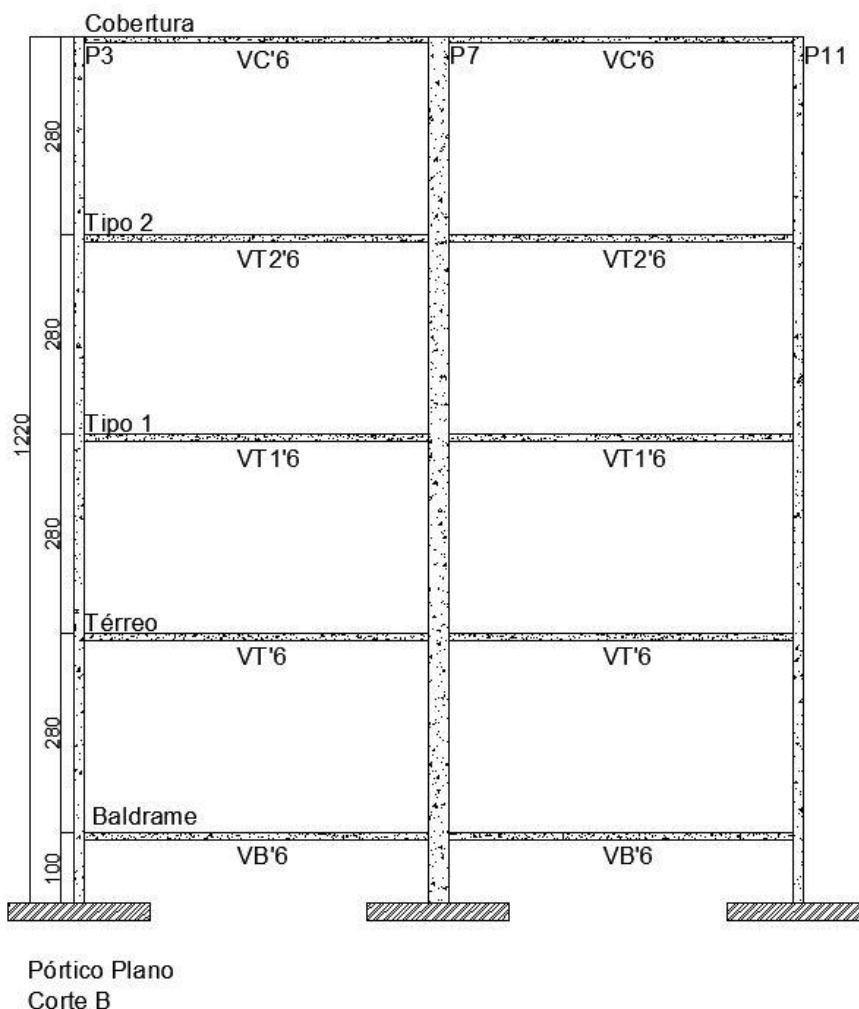
Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 35 – Corte A do pórtico plano



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 36 – Corte B do pórtico plano



Fonte: Elaboração própria (2019).

### 3.2 Escolha e propriedades dos materiais

Segundo Araújo (2014), antes de iniciar os cálculos, é necessário definir as resistências dos materiais a serem utilizados na estrutura.

Para isso, definido o sistema de construção do projeto, sendo este em concreto armado, é necessário definir o local de construção para a simulação e análise, e assim aplicar os critérios da ABNT NBR 6118:2014. A escolha do concreto foi feita conforme Quadros 3 e 4 da seção 2.6.7 e dos aços seguindo os conceitos de Araújo (2014).

### **3.3 Ações atuantes na estrutura**

Para definir as forças solicitantes da estrutura, foram consideradas as ações permanentes e variáveis.

#### **3.3.1 Ações permanentes**

Para as ações permanentes, foi considerado o peso próprio da estrutura conforme definido pela ABNT NBR 6120:2019.

No peso próprio da estrutura foi considerado o peso da laje de concreto armado; revestimento de contrapiso nas lajes composto por argamassa e areia; revestimento de teto nas lajes composto por argamassa de cal, cimento e areia; revestimento de piso e impermeabilizações de edifícios residenciais e comerciais; peso da parede composta por alvenaria de vedação (bloco cerâmico vazado).

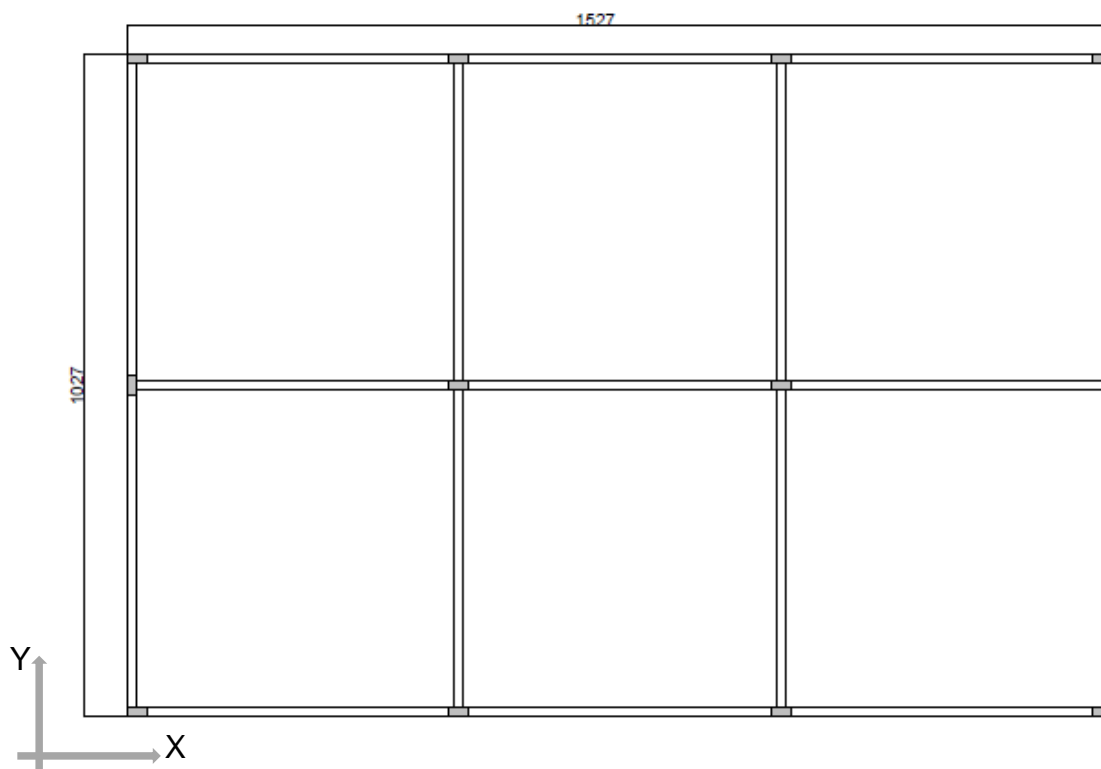
#### **3.3.2 Ações variáveis**

Para determinação das ações variáveis diretas foram consideradas a carga vertical de uso da construção e carga de vento conforme ABNT NBR 6118:2014 e 6123:1988.

Para cálculo da carga de vento foi considerada a escolha de localização do terreno, a qual foi calculada para cada fase da edificação seguindo o roteiro de cálculo apresentado na seção 2.6.2.

As fachadas do pórtico estão identificadas na Figura 37, com indicação dos eixos X e Y.

Figura 37 - Indicação das coordenadas para cálculo de Fa (força de arrasto do vento)



Fonte: Elaboração própria (2019).

### 3.3.3 Combinação das ações

A edificação foi analisada considerando a análise de estado-limite último. Sendo assim, a expressão 15 foi reduzida para o estudo em questão, chegando na Expressão 29:

$$F_d = \gamma_g \cdot F_{gk} + \gamma_q \cdot (F_{qk} + \sum \psi_{0j} \cdot F_{qk}) \quad (29)$$

Onde:

$F_d$  é o valor de cálculo das ações para combinação última.

$F_{gk}$  representa as ações permanentes diretas (peso próprio).

$F_{qk}$  representa as ações variáveis diretas das quais  $F_{qk}$  é escolhida principal (carga acidental e vento)

Os coeficientes de ponderação  $\gamma_g$ ,  $\gamma_q$ , e  $\psi_{0j}$  foram definidos pelos Quadros 6 e 7.

### 3.4 Pré-dimensionamento dos pilares

Para o dimensionamento dos pilares, primeiramente foi realizado o levantamento das áreas de influência de cada pilar, seguindo o processo simplificado de Bastos (2017), chegando-se à área de concreto através das equações 16 e 17.

Foi necessário realizar mais de uma verificação para atender a ABNT NBR 6118:2014, quanto à seção transversal dos pilares e área de concreto final.

### 3.5 Pré-dimensionamento das vigas

Considerando que todas as vigas do pórtico são bi-apoiadas, a altura  $h$  foi definida dividindo-se o vão livre por 10 ( $L/10$ ), seguindo assim os critérios de anteprojeto. A largura  $b_w$  definida com base na ABNT NBR 6118:2014 e seção transversal dos pilares.

### 3.6 Reações de apoio de lajes

Para o cálculo teórico das reações de apoio das lajes nas vigas foi considerada a carga permanente da laje e carga accidental. O carregamento de parede foi inserido durante o lançamento das cargas dentro do *software* Eberick nos pavimentos baldrame e tipo, sendo conseqüentemente somada ao carregamento distribuído nas vigas para obtenção dos esforços. No intuito de simplificar os cálculos, não foram consideradas aberturas como janelas e portas na edificação. Na cobertura não foi considerado fechamento com alvenaria.

Para o pórtico plano foi utilizado o método onde se consideram as cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados por retas inclinadas, a partir dos vértices com os ângulos de  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $90^\circ$ . Na sequência a reação de apoio em cada viga, foi obtida através da equação 19.

Já para o pórtico espacial, a reação de apoio das lajes nas vigas, foi calculada utilizando o parâmetro  $k$  para cada caso de vinculação e equações 20 a 24.

Em um primeiro momento, estes dois métodos de cálculo para reações de apoio das lajes foram utilizados no intuito de confirmar os valores obtidos.

### 3.7 Lançamento, processamento e análise da estrutura no Eberick

Após realizar o pré-dimensionamento dos pilares e vigas, assim como o cálculo das reações de apoio das lajes nas vigas, o desenho do pórtico foi refeito com as novas dimensões definidas dos elementos estruturais e o modelo exportado do *software* AutoCad para o Eberick.

A partir desse ponto, depois de feitas as configurações iniciais e lançamento da estrutura, foram lançados os carregamentos obtidos das reações de apoio das lajes nas vigas, carregamento de parede nos pavimentos baldrame e tipo, e cargas devido ao vento.

A análise da estrutura foi dividida em duas etapas: na primeira foram consideradas apenas o carregamento devido ao peso da parede, carregamento adicional referente à laje e carga acidental; e na segunda etapa foram aplicadas as cargas de parede, laje, acidental e vento. Nesta etapa, o vento foi considerado como ação principal.

Em ambas as etapas, foram utilizadas para a análise do comportamento da estrutura, os valores de esforços paralelos ao trecho rígido da viga nos pilares de cada pavimento, conforme será apresentado na metodologia aplicada.

A análise linear de primeira ordem global da estrutura foi obtida através do coeficiente  $\gamma_z$  (gama-z), adotando o valor de redução de rigidez simplificada do material, definido pela norma.

## 4 MÉTODOS APLICADOS

O presente trabalho envolve pesquisa bibliográfica, para a aplicação da teoria e a utilização dos *softwares* Excel, AutoCad e Eberick os quais auxiliaram no desenvolvimento e análise dos resultados. Sendo assim classifica-se em pesquisa quantitativa do tipo exploratória.

Já dadas as definições gerais do trabalho, a seguir será apresentada a metodologia aplicada, partindo dos cálculos realizados e dados coletados para discussão dos resultados.

### 4.1 Materiais escolhidos

Definido o local para simular a execução do projeto, sendo este o bairro centro da cidade de Florianópolis, a ABNT NBR 6118:2014 define que a classe de agressividade ambiental é forte, classificada como CAA III, com base nessa informação, a classe de concreto escolhida foi C30, concreto com resistência característica  $f_{ck} = 30$  MPa aos 28 dias de idade. Sendo considerado  $\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaiss, agregado do concreto.

Com esses dados foram calculados os valores de  $E_{ci}$  e  $E_{cs}$ , através das expressões 4 e 5:

a)  $E_{ci} = 30.672$  Mpa

b)  $E_{cs} = 26.991$  Mpa

Para os aços, foi escolhido o CA-50 e CA-60, levando em considerando o usualmente utilizado.

### 4.2 Cálculo das ações atuantes

A seguir serão apresentados os cálculos realizados para obter os valores das ações atuantes, sendo elas referentes ao carregamento permanente, sobrecarga de utilização e vento. Assim como a situação mais desfavorável para a estrutura devido ao carregamento.

#### 4.2.1 Ações permanentes e variáveis

Os valores obtidos da ABNT NBR 6120:2019 para o peso próprio da estrutura e sobrecarga de utilização, são apresentados na Tabela 9:

Tabela 9 - Cargas atuantes na estrutura

Item	Material	Peso específico (kN/m <sup>3</sup> )	Espessura	Peso total (kN/m <sup>2</sup> )
Laje	Concreto armado	25,00	0,10	2,50
Revestimento de contrapiso nas lajes	Argamassa de cimento e areia	21,00	0,03	0,63
Peso próprio do revestimento de piso e impermeabilizações de edifícios residenciais e comerciais	Definição genérica	20,00	0,05	1,00
Peso próprio do revestimento de teto nas lajes	Argamassa de cal, cimento e areia	19,00	0,01	0,19
<b>Carga total da laje</b>				<b>4,32</b>
Peso da parede de alvenaria	Bloco cerâmico vazado (14 cm)			1,10
<b>Cargas permanentes</b>				<b>5,42</b>
<b>Sobrecarga de utilização</b>				<b>1,50</b>
<b>Carregamento total</b>				<b>6,92</b>

Fonte: Elaboração própria (2020).

O peso total de cada item foi obtido com o produto entre o peso específico do material e a espessura adotada. O peso da parede de alvenaria e sobrecarga de utilização foram extraídos das Tabelas 2 e 10 da ABNT NBR 6120:2019.

#### 4.2.2 Ações variáveis diretas

As ações variáveis diretas devidas ao vento foram calculadas após definição do terreno. Para o terreno escolhido, localizado no bairro centro de Florianópolis/SC, se obteve, com o mapa das isopleias, a velocidade básica inicial  $V_0$  igual a 43 m/s. O local é considerado como terreno plano ou fracamente acidentado, tendo terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada na categoria IV; e é classificado na Classe A, a qual considera toda edificação com sua maior dimensão horizontal ou vertical menor a 20 m.

Para calcular a força de arrasto  $F_a$ , primeiramente foram definidos os fatores referentes à topografia, rugosidade do terreno e fator estatístico, com base na

classificação dada, para cálculo da velocidade característica e pressão dinâmica do vento, assim como o coeficiente de arrasto, obtendo os valores apresentados a seguir:

- Fator topográfico  $S_1 = 1$
- O fator  $S_2$ , foi calculado através da expressão 11, obtendo os valores correspondentes à altura da base da edificação ao topo de cada pavimento, identificada como  $h_n$ , apresentados na Tabela 10:

**Tabela 10 - Valores referente à rugosidade do terreno**

h (m)		$S_2$
$h_4$	11,20	0,87
$h_3$	8,40	0,84
$h_2$	5,60	0,80
$h_1$	2,80	0,74

Fonte: Elaboração própria (2020).

- Fator estatístico  $S_3 = 1$

Para encontrar o coeficiente de arrasto  $C_a$ , foi calculado o valor de  $l_1/l_2$  e  $h/l_1$ , conforme indicado no ábaco da figura 4 da ABNT NBR 6123:1988. As fachadas para a definição de  $C_a$ , são as indicadas na Figura 39. Chegando-se aos valores apresentados nas Tabelas 11 e 12:

**Tabela 11 - Valores de  $l_1$ ,  $l_2$  e  $h$  para as fachadas X e Y.**

Dimensões das fachadas		
	X	Y
$l_1$ (m)	15,27	10,27
$l_2$ (m)	10,27	15,27
$h$ (m)	11,2	11,2

Fonte: Elaboração própria (2020).

**Tabela 12 - Coeficiente de arrasto para as fachadas X e Y**

Coeficiente de arrasto		
	X	Y
$l_1/l_2$	1,49	0,67
$h/l_1$	0,73	1,09
$C_a$	1,18	0,99

Fonte: Elaboração própria (2020).

Na sequência, foram utilizadas as equações 10 para encontrar o vento característico  $V_k$ , 12 para encontrar a pressão dinâmica do vento e 13 para encontrar o valor da força de arrasto final, apresentada nas Tabelas 13 e 14:

Tabela 13 - Força de arrasto incidente na fachada X

Força estática no eixo Y – Incidente sobre a fachada X					
	h (m)	A <sub>e</sub> X (m <sup>2</sup> )	V <sub>k</sub> (m/s)	q (N/m <sup>2</sup> )	F <sub>a</sub> (kN)
<b>h<sub>4</sub></b>	11,20	42,76	37,49	861,40	43,46
<b>h<sub>3</sub></b>	8,40	42,76	36,21	803,94	40,56
<b>h<sub>2</sub></b>	5,60	42,76	34,49	729,39	36,80
<b>h<sub>1</sub></b>	2,80	42,76	31,74	617,61	31,16

Fonte: Elaboração própria (2020).

Tabela 14 - Força de arrasto incidente na fachada Y

Força estática no eixo X – Incidente sobre a fachada Y					
	h (m)	A <sub>e</sub> Y (m <sup>2</sup> )	V <sub>k</sub> (m/s)	q (N/m <sup>2</sup> )	F <sub>a</sub> (kN)
<b>h<sub>4</sub></b>	11,20	28,76	37,49	861,40	24,52
<b>h<sub>3</sub></b>	8,40	28,76	36,21	803,94	22,89
<b>h<sub>2</sub></b>	5,60	28,76	34,49	729,39	20,76
<b>h<sub>1</sub></b>	2,80	28,76	31,74	617,61	17,58

Fonte: Elaboração própria (2020).

Os valores obtidos para Fa foram calculados no intuito de verificar os valores fornecidos pelo Eberick.

#### 4.2.3 Combinação das ações atuantes

A combinação das ações atuantes foi definida dentro do Eberick, onde verificou-se que os maiores valores de esforços foram obtidos considerando a ação do vento como principal.

Para isso, foram estabelecidos os coeficientes de ponderação no programa, conforme diretrizes da ABNT NBR 6118:2014. Utilizando a relação:

$$1,4G_1+1,4G_2+0,7Q+1,4V$$

Onde:

G1 e G2, correspondem respectivamente ao carregamento de parede e adicional da laje;

Q corresponde à carga acidental reduzida, onde aplicou-se 0,5\*1,4 e

V é a carga de vento.

#### 4.3 Pré-dimensionamento dos pilares

Para determinação da área de influência foi utilizado o carregamento do peso próprio mais sobrecarga de utilização. Os pilares foram classificados quanto a

posição de cada um. Na sequência, as áreas foram definidas através da expressão 15 chegando aos valores apresentados na Tabela 15.

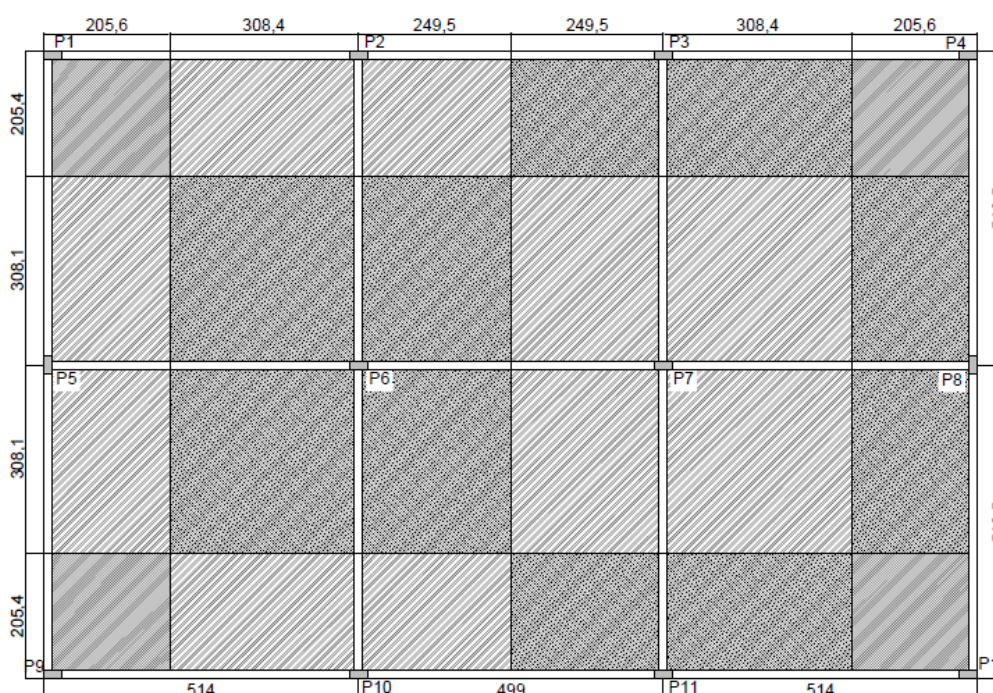
**Tabela 15 - Classificação do pilar quanto a sua posição e área de influência**

Pilar	Posição do pilar	$K_{LL}$	$L_a$ (cm)	$L_b$ (cm)	Área de influência (cm <sup>2</sup> )
P1	Canto	0,4	205,4	205,6	42230,24
P2	Extremidade	0,6	205,4	557,9	114592,66
P3	Extremidade	0,6	205,4	557,9	114592,66
P4	Canto	0,4	205,4	205,6	42230,24
P5	Extremidade	0,6	616,2	205,6	126690,72
P6	Intermediário	0,5	616,2	557,9	343777,98
P7	Intermediário	0,5	616,2	557,9	343777,98
P8	Extremidade	0,6	616,2	205,6	126690,72
P9	Canto	0,4	205,4	205,6	42230,24
P10	Extremidade	0,6	205,4	557,9	114592,66
P11	Extremidade	0,6	205,4	557,9	114592,66
P12	Canto	0,4	205,4	205,6	42230,24

Fonte: Elaboração própria (2020).

O desenho esquemático da Figura 38, mostra como a área de influência ficou delimitada para cada pilar.

**Figura 38 - Área de influência dos pilares (medidas em cm)**



Fonte: Elaboração própria (2019).

Definida a configuração da área de influência, obteve-se o  $N_k$  com o produto entre a área de influência de cada pilar e a carga total, apresentada na Tabela 9, para na sequência calcular a área de concreto do elemento.

Em um primeiro momento, a área de concreto necessária para resistir ao carregamento imposto foi verificado junto à área de pilar pré-definida igual a 420 cm<sup>2</sup>, onde verificou-se que alguns pilares não atenderam. Sendo assim, foi realizada uma segunda verificação aumentando a seção dos pilares e conseqüentemente a área de concreto, para isso foram seguidos os seguintes passos:

- 1) Cálculo de  $N_d$  para pavimento isolado utilizando a expressão 18
- 2) Cálculo de  $N_d$  para a prumada do pilar, multiplicando o valor  $N_d$  do pavimento isolado por 3, sendo que a carga de laje da cobertura foi reduzida em 30%  
Conforme relação matemática a seguir:

$$N_{d \text{ prumada}} = (N_{d \text{ pav isolado}} * 3) + (N_{d \text{ pav isolado}} * 0,7);$$

- 3)  $N_{d \text{ prumada}}$  aplicado nas expressões 16 e 17, para encontrar a área de concreto;
- 4) Verificação da área de concreto em relação a área inicial de 420 cm<sup>2</sup>;
- 5) Alteração da seção do pilar;
- 6) Verificação da área de concreto;
- 7) Definição da nova seção do pilar.

Os valores obtidos a partir do passo a passo acima indicado, é apresentado na Tabela 16:

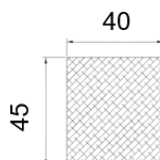
**Tabela 16 - Área de concreto**

Pilar	$N_k$ (kN)	$N_d$ (Kn/cm <sup>2</sup> )	$N_d$ prumada (kN/cm <sup>2</sup> )	Área de concreto necessária para a prumada (cm <sup>2</sup> )	Área de concreto mínima atende?	Nova seção do pilar (cm)		Nova área de concreto (cm <sup>2</sup> )	Área de concreto mínima atende?
						Menor lado	Maior lado		
P1	29,14	50,99	188,67	148,95	Sim	14	30	420	Sim
P2	79,07	110,70	409,58	323,35	Sim	25	35	875	Sim
P3	79,07	110,70	409,58	323,35	Sim	25	35	875	Sim
P4	29,14	50,99	188,67	148,95	Sim	14	30	420	Sim
P5	87,42	122,38	452,82	357,49	Sim	30	35	1050	Sim
P6	237,21	332,09	1228,73	970,05	Não	30	35	1050	Sim
P7	237,21	332,09	1228,73	970,05	Não	30	35	1050	Sim
P8	87,42	122,38	452,82	357,49	Sim	30	35	1050	Sim
P9	29,14	50,99	188,67	148,95	Sim	14	30	420	Sim
P10	79,07	110,70	409,58	323,35	Sim	25	35	875	Sim
P11	79,07	110,70	409,58	323,35	Sim	25	35	875	Sim
P12	29,14	50,99	188,67	148,95	Sim	14	30	420	Sim

Fonte: Elaboração própria (2020).

Visto que a seção dos pilares variou conforme carregamento ao qual cada um está imposto, para simplificar o desenvolvimento do presente trabalho, a seção adotada levou em consideração os pilares mais solicitados, ficando todos com seção igual a 40 cm x 45 cm e área de concreto igual a 18000 cm<sup>2</sup>. Conforme ilustrado na Figura 39.

**Figura 39 - Seção do pilar adotada (cm)**



Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.4 Pré-dimensionamento das vigas

Utilizando os critérios de anteprojeto, a altura das vigas foi definida dividindo o vão livre de cada trecho considerando fase a fase dos pilares de apoio, a largura foi definida levando em consideração os critérios da norma assim com a seção adotada dos pilares ficando com as dimensões apresentadas na Tabela 17.

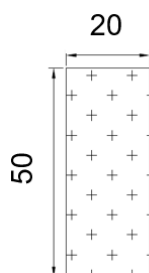
**Tabela 17 - Seção das vigas**

Vigas	Trecho	Comprimento (cm)	$h_d$	$h_u$ (cm)	$b_w$ adotada (cm)
V1	1	469,00	46,90	50,00	20,00
V1	2	469,00	46,90	50,00	20,00
V1	3	469,00	46,90	50,00	20,00
V2	1	485,00	48,50	50,00	20,00
V2	2	469,00	46,90	50,00	20,00
V2	3	485,00	48,50	50,00	20,00
V3	1	469,00	46,90	50,00	20,00
V3	2	469,00	46,90	50,00	20,00
V3	3	469,00	46,90	50,00	20,00
V4	1	484,50	48,45	50,00	20,00
V4	2	484,50	48,45	50,00	20,00
V5	1	492,50	49,25	50,00	20,00
V5	2	492,50	49,25	50,00	20,00
V6	1	492,50	49,25	50,00	20,00
V6	2	492,50	49,25	50,00	20,00
V7	1	484,50	48,45	50,00	20,00
V7	2	484,50	48,45	50,00	20,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

Na tabela 17  $h_d$  e  $h_u$ , referem-se à altura de cálculo e altura utilizada, respectivamente. A seção adotada para as vigas é apresentada na Figura 40.

**Figura 40 - Seção adotada das vigas (cm)**

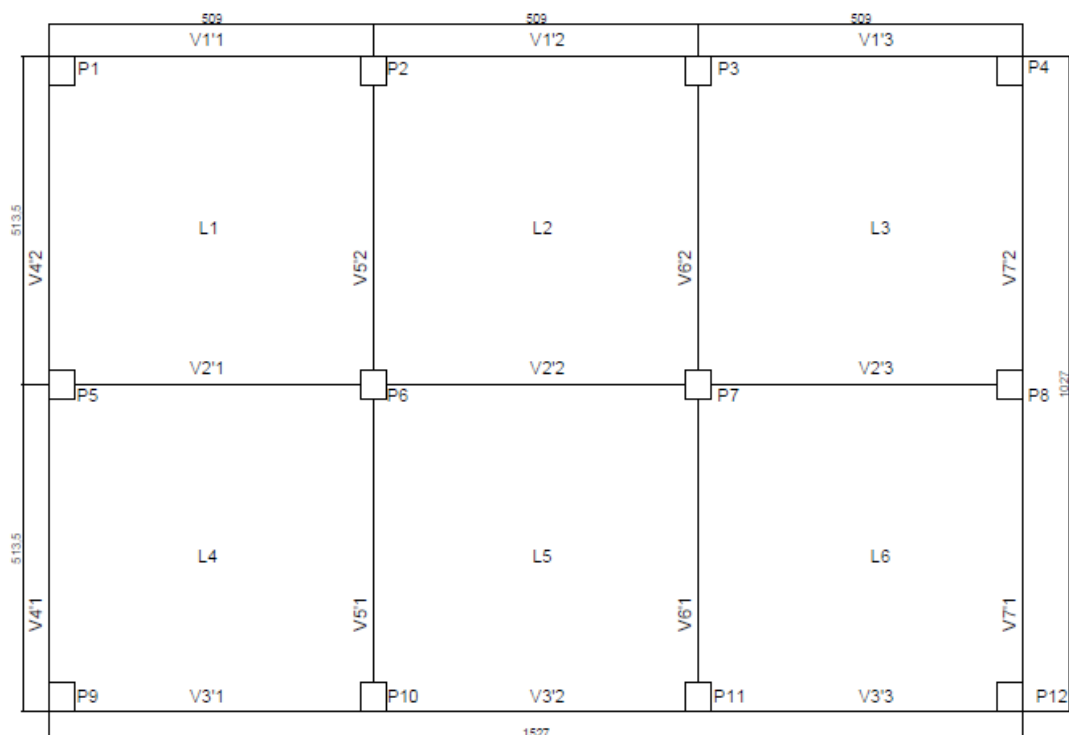


Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.5 Cálculo das reações de apoio das lajes

O cálculo das reações de apoio das lajes foi realizado considerando as novas dimensões dos pilares e preservando as dimensões das fachadas. A Figura 41 apresenta o desenho esquemático com a indicação de trecho de cada viga, respectivo comprimento  $l_i$ , identificação das lajes e pilares.

**Figura 41 - Identificação dos trechos de vigas, lajes e pilares (medidas em cm)**

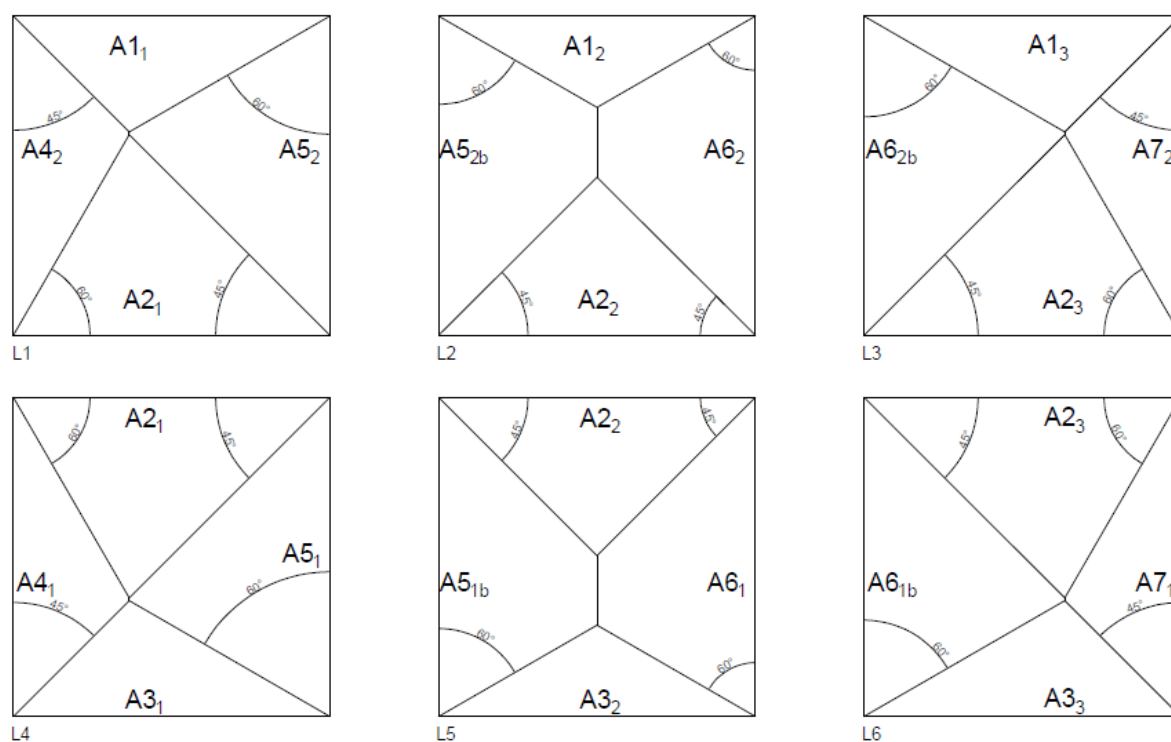


Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.5.1 Reações de apoio das lajes do pórtico plano

Definidas as dimensões do vão das lajes e vigas, estas foram divididas em áreas com desenhos de trapézios e triângulos, conforme critérios da ABNT NBR 6118:2014, apresentados na Figura 42:

**Figura 42 - Áreas definidas conforme apoio da borda da laje**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Pode-se observar nas Figuras 41 e 42 que há somente dois casos de apoio para as lajes, engastada (bordas internas) e simplesmente apoiada (bordas externas). Dessa forma, foram utilizados para o desenho das áreas os ângulos de  $45^\circ$  e  $60^\circ$ .

Na sequência, foi feito o levantamento do valor de cada área utilizando o *software* AutoCad, para aplicar na equação 19 e obter os valores das respectivas reações de apoio. Os valores de carregamento utilizados foram  $4,3 \text{ kN/m}^2$  e  $1,5 \text{ kN/m}^2$ , sendo, respectivamente, o peso próprio da laje e a sobrecarga de uso da edificação. A Tabela 18 apresenta os valores obtidos:

**Tabela 18 - Valores resultantes do cálculo de reações de apoio para o carregamento devido ao peso próprio e carga sobrecarga do pórtico plano**

Laje	Viga	Trecho viga	Id. área	Área (cm <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Li (m)	Reação carregamento laje (kN/m)	Reação carga acidental (kN/m)
L1	V1	1	A1'1	47415,11	4,74	26,14	5,09	4,01	1,40
	V2	1	A2'1	82125,39	8,21		5,09	6,94	2,42
	V4	2	A4'2	48253,60	4,83		5,14	4,04	1,41
	V5	2	A5'2	83577,51	8,36		5,14	6,99	2,44
L2	V1	2	A1'2	37395,12	3,74	26,14	5,09	3,16	1,10
	V2	2	A2'2	64770,25	6,48		5,09	5,47	1,91
	V5	2	A5'2b	79603,06	7,96		5,14	6,66	2,32
	V6	2	A6'2	79603,06	7,96		5,14	6,66	2,32
L3	V1	3	A1'3	47415,11	4,74	26,14	5,09	4,01	1,40
	V2	3	A2'3	82125,39	8,21		5,09	6,94	2,42
	V6	2	A6'2b	83577,51	8,36		5,14	6,99	2,44
	V7	2	A7'2	48253,60	4,83		5,14	4,04	1,41
L4	V2	1	A2'1	82125,39	8,21	26,14	5,09	6,94	2,42
	V3	1	A3'1	47415,11	4,74		5,09	4,01	1,40
	V4	1	A4'1	48253,60	4,83		5,14	4,04	1,41
	V5	1	A5'1	83577,51	8,36		5,14	6,99	2,44
L5	V2	2	A2'2	64770,25	6,48	26,14	5,09	5,47	1,91
	V3	2	A3'2	37395,12	3,74		5,09	3,16	1,10
	V5	1	A5'1b	79603,06	7,96		5,14	6,66	2,32
	V6	1	A6'1	79603,06	7,96		5,14	6,66	2,32
L6	V2	3	A2'3	82125,39	8,21	26,14	5,09	6,94	2,42
	V3	3	A3'3	47415,11	4,74		5,09	4,01	1,40
	V6	1	A6'1b	83577,51	8,36		5,14	6,99	2,44
	V7	1	A7'1	48253,60	4,83		5,14	4,04	1,41

Fonte: Elaboração própria (2020).

A partir da Tabela 18 foi gerada a Tabela 19 com os valores totais das reações de apoio organizados por viga e trecho de viga.

Tabela 19 - Reação de apoio por trecho de viga do pórtico plano

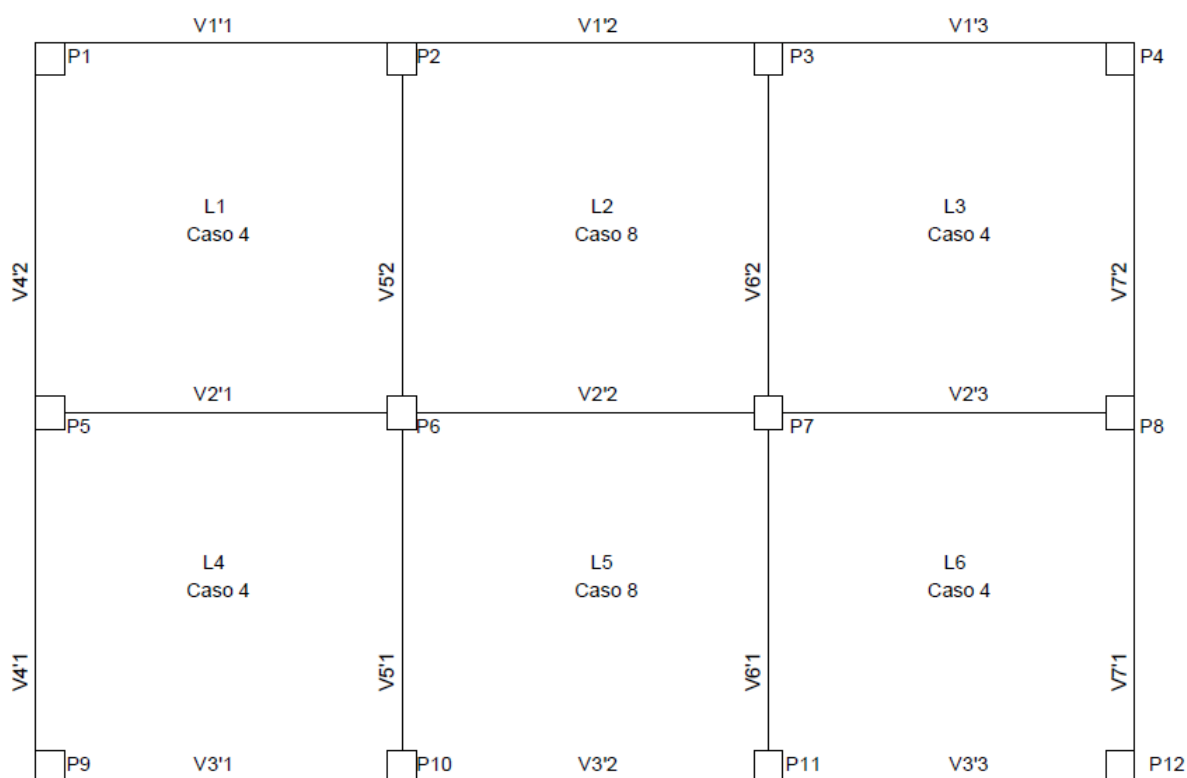
Viga	Trecho	Reação de apoio da laje (kN/m)	Reação de apoio da sobrecarga (kN/m)
V1	1	4,01	1,40
	2	3,16	1,10
	3	4,01	1,40
V2	1	13,88	4,84
	2	10,94	3,82
	3	13,88	4,84
V3	1	4,01	1,40
	2	3,16	1,10
	3	4,01	1,40
V4	1	4,04	1,41
	2	4,04	1,41
V5	1	13,65	4,76
	2	13,65	4,76
V6	1	13,65	4,76
	2	13,65	4,76
V7	1	4,04	1,41
	2	4,04	1,41
TOTAL		131,79	45,97

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.5.2 Reações de apoio do pórtico espacial

Para o cálculo das reações de apoio no pórtico espacial, foi utilizado o mesmo  $L_i$ , porém, ao invés do processo de divisão das lajes em áreas, o valor de  $L_i$  foi multiplicado pelo coeficiente  $k$ . Para isso, foi elaborado um desenho esquemático com a identificação dos casos, conforme cada tipo de apoio, apresentado na Figura 43.

**Figura 43 - Classificação dos casos de apoio para uso do fator k**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Conforme apresentado na Figura 19, pode-se observar na Figura 43, que temos dois casos vinculação laje-viga, sendo estes:

- Caso 4: Duas bordas engastadas e duas bordas simplesmente apoiadas (L1, L3, L4 e L6);
- Caso 8: Três bordas engastadas e uma borda simplesmente apoiada (L2 e L5).

Depois de identificar os casos de vínculo de cada laje, foram definidas as dimensões  $L_y$  e  $L_x$ , para o cálculo de  $\lambda$  utilizando a equação 20. Sendo:

- $L_y = 5,14$  m;
- $L_x = 5,09$  m;
- $\lambda = 1,01$  valor arredondado para 1,00. Devido ao pórtico ser simétrico, o valor de  $\lambda$  é o mesmo para todas as lajes.

Na sequência, foram identificadas as direções X e Y de cada apoio e extraídos das Figuras 20 e 21 os valores de  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k'_x$ ,  $k'_y$ , com esses valores foram calculadas as reações de apoio utilizando as equações 21 a 24, considerando para o cálculo o peso próprio e sobrecarga de utilização, sendo estes valores 4,3 kN e 1,5 kN, respectivamente. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Valores resultantes do cálculo de reações de apoio para o carregamento devido ao peso próprio e carga sobrecarga do pórtico espacial**

Laje	Viga	Trecho viga	Tipo de apoio	Caso	Direção	k ou k'	L <sub>i</sub> (m)	L <sub>i</sub> /10 (m)	Reação carregamento laje (kN/m)	Reação carga accidental (kN/m)
L1	V1	1	Sm. Apoiada	4	X	1,83	5,09	0,509	4,01	1,40
	V2	1	Engastada	4	X	3,17	5,09	0,509	6,94	2,42
	V4	2	Sm. Apoiada	4	Y	1,83	5,14	0,514	4,04	1,41
	V5	2	Engastada	4	Y	3,17	5,14	0,514	7,01	2,44
L2	V1	2	Sm. Apoiada	8	X	1,44	5,09	0,509	3,15	1,10
	V2	2	Engastada	8	X	3,03	5,09	0,509	6,63	2,31
	V5	2	Engastada	8	Y	2,5	5,14	0,514	5,53	1,93
	V6	2	Engastada	8	Y	2,5	5,14	0,514	5,53	1,93
L3	V1	3	Sm. Apoiada	4	X	1,83	5,09	0,509	4,01	1,40
	V2	3	Engastada	4	X	3,17	5,09	0,509	6,94	2,42
	V6	2	Engastada	4	Y	3,17	5,14	0,514	7,01	2,44
	V7	2	Sm. Apoiada	4	Y	1,83	5,14	0,514	4,04	1,41
L4	V2	1	Engastada	4	X	3,17	5,09	0,509	6,94	2,42
	V3	1	Sm. Apoiada	4	X	1,83	5,09	0,509	4,01	1,40
	V4	1	Sm. Apoiada	4	Y	1,83	5,14	0,514	4,04	1,41
	V5	1	Engastada	4	Y	3,17	5,14	0,514	7,01	2,44
L5	V2	2	Engastada	8	X	3,03	5,09	0,509	6,63	2,31
	V3	2	Sm. Apoiada	8	X	1,44	5,09	0,509	3,15	1,10
	V5	1	Engastada	8	Y	2,5	5,14	0,514	5,53	1,93
	V6	1	Engastada	8	Y	2,5	5,14	0,514	5,53	1,93
L6	V2	3	Engastada	4	X	3,17	5,09	0,509	6,94	2,42
	V3	3	Sm. Apoiada	4	X	1,83	5,09	0,509	4,01	1,40
	V6	1	Engastada	4	Y	3,17	5,14	0,514	7,01	2,44
	V7	1	Sm. Apoiada	4	Y	1,83	5,14	0,514	4,04	1,41

Fonte: Elaboração própria (2020).

A partir da Tabela 20, foi gerada a Tabela 21 com os valores totais das reações de apoio organizados por viga e trecho de viga.

Tabela 21 - Reação de apoio por trecho de viga do pórtico espacial

Viga	Trecho	Reação de apoio da laje (kN/m)	Reação de apoio da sobrecarga (kN/m)
V1	1	4,01	1,40
	2	3,15	1,10
	3	4,01	1,40
V2	1	16,88	4,84
	2	13,26	4,62
	3	16,88	4,84
V3	1	4,01	1,40
	2	3,15	1,10
	3	4,01	1,40
V4	1	4,04	1,41
	2	4,04	1,41
V5	1	12,54	4,37
	2	12,54	4,37
V6	1	12,54	4,37
	2	12,54	4,37
V7	1	4,04	1,41
	2	4,04	1,41
TOTAL		135,68	45,22

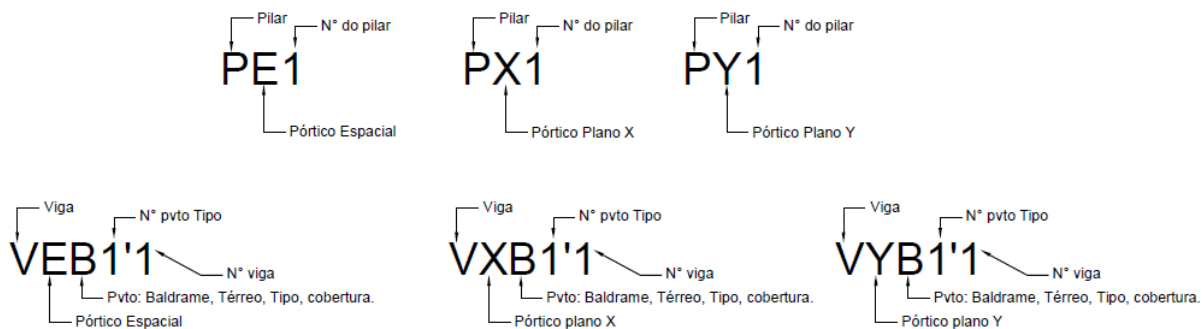
Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.6 Lançamento da estrutura no Eberick

Definido o novo *layout* do pórtico, o desenho da estrutura foi exportado do *software* AutoCad para o Eberick, onde os elementos estruturais foram lançados e o pórtico ganhou forma 3D.

Ainda para um melhor entendimento do trabalho, os elementos estruturais, foram identificados conforme Figura 44.

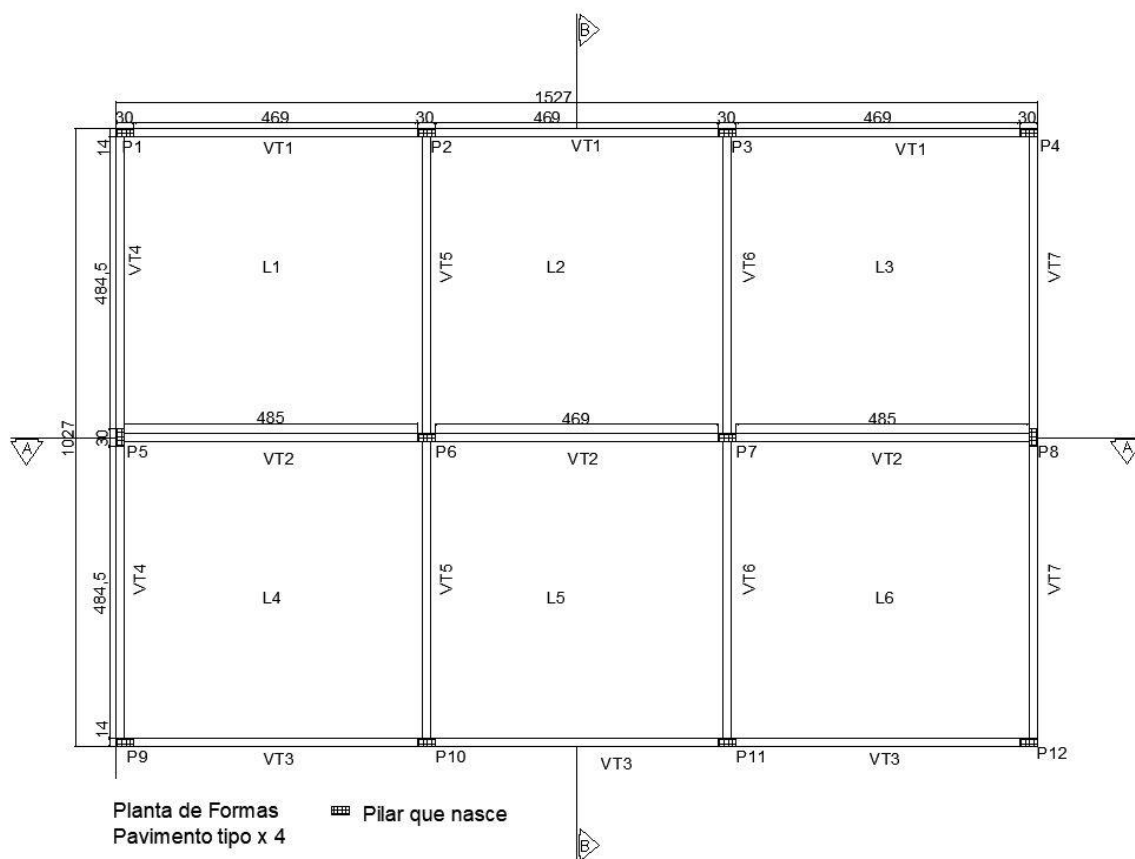
**Figura 44 - Nomenclatura dos elementos estruturais**



Fonte: Elaboração própria (2020).

A Figura 45 apresenta a planta de formas do pavimento tipo e os respectivos trechos de viga, com nomenclatura genérica.

**Figura 45 - Planta de formas pavimento tipo (medidas em cm)**



Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.6.1 Configurações iniciais

Para lançar a estrutura, primeiramente foi definido o nível do solo entorno da edificação, o qual indica em que nível será considerada a força do vento, a distância entre o nível do primeiro pavimento e a cota de assentamento das funções, e o nível dos demais pavimentos. As Figuras 46 e 47 apresentam as propriedades e corte esquemático da edificação respectivamente.

**Figura 46 - Propriedades da edificação**

Propriedades da edificação ×

Identificação

Título:

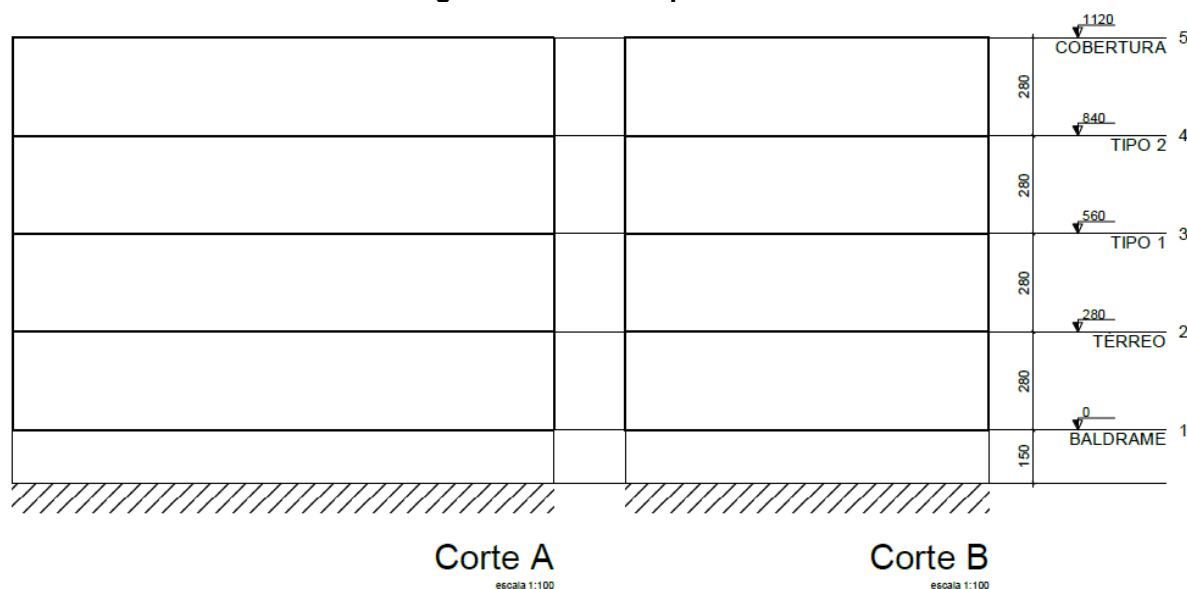
Pavimentos

Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)	
COBERTURA	280.00	1120.00	⊕
TIPO 2	280.00	840.00	⊕
TIPO 1	280.00	560.00	⊕
TÉRREO	280.00	280.00	⊗
BALDRAME	150.00	0.00	⬆

Nível do solo (cm):

Fonte: Elaboração própria (2020).

Figura 47 - Corte esquemático



Fonte: Elaboração própria (2020).

As ligações entre as barras do modelo espacial, assim como do modelo plano, foram definidas como ligações rígidas, ou seja, com vínculo de ligação engastado.

#### 4.6.1.1 Lançamento das cargas típicas

As configurações de entrada das propriedades dos materiais foram feitas conforme definido anteriormente pelos critérios da ABNT NBR 6118:2014. Nas figuras 48 e 49 são apresentadas as configurações da classe de concreto escolhida e a utilização do material.

Figura 48 - Classe de concreto utilizado

Classes de concreto

Classes de resistência

- C-20
- C-25
- C-30**
- C-35
- C-40
- C-45
- C-50

Identificação: C-30

Resistência à compressão

Resistência característica (fck): 30 MPa

Coefficiente de minoração ( $\gamma_c$ ): 1.4

Resistência de cálculo (fcd): 21.43 MPa

Peso específico: 25 kN/m<sup>3</sup>

Abatimento (slump): 5 cm

Coefficiente de dilatação térmica: 0.00001 /°C

Tipo de agregado: gnaiss

Módulo de elasticidade

Obter a partir do fck

Módulo secante (Ecs): 26838.4 MPa

Módulo inicial (Eci): 30672.5 MPa

Resistência à tração

Obter a partir do fck

Resistência média (fctm): 2.9 MPa

Característica inferior (fctk,inf): 2.03 MPa

Característica superior (fctk,sup): 3.77 MPa

Resistência de cálculo (fctd): 1.45 MPa

Custo

Material: 261.13 R\$/m<sup>3</sup>

Execução: 131.50 R\$/m<sup>3</sup>

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 49 - Aplicação da escolha dos materiais**

Materials e durabilidade

Aplicação  
 Projeto inteiro  
 Por pavimento

Pavimento  
 Cimento Portland  
 IPD 2  
 IPD 1  
 Cimento  
 Maciço

Avisos  
 Todas as informações estão definidas corretamente  
 Detalhes...

Geral  
 Classe de agressividade: III (forte)  
 Dimensão do agregado: 19 mm  
 Controle rigoroso nas dimensões dos elementos  
 Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras  
 Contato com o solo: 0.2 mm  
 Contato com a água: 0.1 mm  
 Demais peças: 0.3 mm  
 Combinações: Frequentes

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-30	4 cm	3 cm	4 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	4 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	3.5 cm		4 cm	Bitolas...
Blocos	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-30			4.5 cm	Bitolas...

Fluência... Barras... Classes... **OK** Cancelar Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

O carregamento de parede foi lançado com as próprias configurações do programa, conforme apresentado na Figura 50:

**Figura 50: Carregamento de parede**

Cargas típicas

Lajes Patamares Lances de escada Rampas **Paredes**

Parede

80 - Bl. concreto vazado 23cm (19 + ^  
 81 - Bl. sílico-calcário vazado 9cm  
 82 - Bl. sílico-calcário vazado 11cm  
 83 - Bl. sílico-calcário vazado 13cm  
 84 - Bl. sílico-calcário vazado 14cm  
 85 - Bl. sílico-calcário vazado 16cm  
 86 - Bl. sílico-calcário vazado 18cm  
 87 - Bl. sílico-calcário vazado 19cm  
 88 - Bl. sílico-calcário vazado 21cm  
 89 - Bl. sílico-calcário vazado 23cm  
 90 - Bl. sílico-calcário perfurado 11.E  
 91 - Bl. sílico-calcário perfurado 13.E  
 92 - Bl. sílico-calcário perfurado 15.E  
 93 - Bl. sílico-calcário perfurado 14ci  
 94 - Bl. sílico-calcário perfurado 16ci  
 95 - Bl. sílico-calcário perfurado 18ci  
 96 - Bl. sílico-calcário perfurado 17.E  
 97 - Bl. sílico-calcário perfurado 19.E  
 98 - Bl. sílico-calcário perfurado 21.E  
 Bloco cerâmico vazado(14cm)

Dados  
 Nome: Bloco cerâmico vazado(14cm)

Cargas  
 Parede: 1.09999 kN/m²

Revestimento

	Espessura	Peso específico
Revestimento 01	0 cm	17 kN/m³
Revestimento 02	0 cm	17 kN/m³
Enchimento	14 cm	7.8571 kN/m³
Revestimento 03	0 cm	17 kN/m³
Revestimento 04	0 cm	17 kN/m³

Obter a carga de parede a partir dos revestimentos

Revestimento 01  
 Revestimento 02  
 Enchimento  
 Revestimento 03  
 Revestimento 04

**OK** Cancelar Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

Na sequência, a carga de parede igual a 3,08 kN/m já calculada pelo Eberick mais o carregamento adicional da laje e sobrecarga de utilização foram lançadas trecho a trecho de viga, sendo que para estes dois últimos foram utilizados os valores das tabelas 19 e 21 referente as reações de apoio calculadas.

A seguir, são apresentadas nas Figuras 51 e 52 as cargas lançadas na viga V1, trecho 1 do pavimento térreo do pórtico espacial.

**Figura 51 - Carregamento distribuído na viga VET1**

Parede

Dimensões

Grupo: Bloco cerâmico vazado(14cm)

Altura: 280 cm    Espessura: 14 cm

Carga: 3.08 kN/m    Peso: 7.86 kN/m<sup>2</sup>

Aberturas

Inserir

Editar

Excluir

OK    Cancelar    Ajuda

Carga extra

	Ações	Cargas	
1	Adicional	4.01	^
2	Solo	0.00	
3	Acidental	1.40	
4	Água	0.00	
5	Subpressão	0.00	
6			
7			v

OK    Cancelar    Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 52 - Carregamento distribuído total da viga VET1**

Viga

Dados da viga

Nome: VET1

Ambiente: Externo    Modelo...

Seção do trecho

Tipo: retangular

bw: 20 cm    h: 50 cm

b<sub>f</sub>: 0 cm    h<sub>f</sub>: 0 cm

Obter elevação para viga invertida

Elevação: 0 cm

Manter seção constante na viga

Cargas no trecho

Carga de parede: 3.08 kN/m    Editar...    Remover

Carga extra: 5.41 kN/m    Editar...    Remover

Temperatura e retração: 0 °C    Editar...    Remover

OK    Cancelar    Desenho...    Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.6.1.2 Lançamento das cargas de vento no pórtico espacial

Para o lançamento das cargas de vento foram utilizadas as configurações de escolha do terreno conforme a ABNT NBR 6123:1988 no próprio Eberick. Na Figura 53 são mostrados os valores de  $S_1$  e  $S_3$  selecionados, assim como a categoria do terreno escolhida.

**Figura 53 - Configurações das cargas de vento**

Vento

Velocidade  m/s

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical

Rugosidade do terreno

Aplicação do Vento

Ângulo  °

Casos

Topografia

Encostas e cristas de morros em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento ( $S1 = 1.1$ )

Vales profundos, protegidos de todos os ventos ( $S1 = 0.9$ )

Demais casos ( $S1 = 1.0$ )

Fator Estatístico  $S3$

Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicações, etc.): 1.10

Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação: 1.00

Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.): 0.95

Fonte: Elaboração própria (2020).

Feitas as configurações de vento para o pórtico espacial, o próprio programa calcula o fator  $S_2$ , determina o coeficiente de arrasto e calcula a força de arrasto. Estas considerações foram feitas para o vento nas direções X e Y, pela esquerda e direita. Conforme mostrado nas Figuras 54 e 55.

**Figura 54 - Força do vento na direção X**

Forças devido ao vento

Opções de cálculo

Calcular coeficiente de arrasto automaticamente

Turbulência

Adotar valor único para toda a estrutura

Arbitrar altura total acima do solo  cm

Usar fachadas do croqui

Forças

	Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv. (cm)	Nível (cm)	$S_2$	Coef. Arrasto	Força (kN)	Força transv. (kN)	Torção (kN.m)
Vento X+	1	COBERTUR	1027.00	1527.00	1120.00	0.86	0.99	12.25	0.00
Vento X-	2	TIPO 2	1027.00	1527.00	840.00	0.84	0.99	23.17	0.00
Vento Y+	3	TIPO 1	1027.00	1527.00	560.00	0.80	0.99	20.94	0.00
Vento Y-	4	TÉRREO	1027.00	1527.00	280.00	0.73	0.99	17.32	0.00
	5	BALDRAME	1027.00	1527.00	0.00	0.34	0.99	1.89	0.00
	6								
	7								
	8								

Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 55 - Força do vento na direção Y**

Forças devido ao vento

Opções de cálculo

Calcular coeficiente de arrasto automaticamente Importar forças de vento...

Turbulência Baixa

Adotar valor único para toda a estrutura

Arbitrar altura total acima do solo 1120 cm

Usar fachadas do croqui

Forças

	Pavimento	Fachada (cm)	Fachada transv. (cm)	Nível (cm)	S2	Coef. Arrasto	Força (kN)	Força transv. (kN)	Torção (kN.m)
Vento X+	1	COBERTUR.	1527.00	1027.00	1120.00	0.86	1.18	21.78	0.00
Vento X-	2	TIPO 2	1527.00	1027.00	840.00	0.84	1.18	41.19	0.00
Vento Y+	3	TIPO 1	1527.00	1027.00	560.00	0.80	1.18	37.23	0.00
Vento Y-	4	TÉRREO	1527.00	1027.00	280.00	0.73	1.18	30.80	0.00
	5	BALDRAME	1527.00	1027.00	0.00	0.34	1.18	3.36	0.00
	6								
	7								
	8								

OK
Cancelar
Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

Nas figuras 54 e 55, os valores de X+ e X- referem-se ao vento X pela direita e esquerda, respectivamente. Os valores de Y+ e Y- referem-se ao vento Y pela direita e esquerda, respectivamente.

#### 4.6.1.3 Lançamento das cargas de vento no pórtico plano

Para o pórtico plano fizeram-se necessárias algumas adaptações quanto à carga de vento. Considerando que no pórtico espacial tem-se uma estrutura mais rígida, com três linhas de pórtico recebendo o vento da direção X e quatro linhas de pórticos recebendo o vento da direção Y, fez-se uma relação matemática simples. Onde dividiu-se o vento da direção X, que exerce uma força sobre a fachada Y, por 3, e o vento da direção Y, que exerce uma força sobre a fachada X, por 4. A Tabela 22 apresenta os valores de vento obtidos para os pórticos planos.

**Tabela 22 - Fa pórticos planos**

Vento incidente nas fachadas				
Pavimento	Pórtico/ $F_a$ vento direção X (Kn)		Pórtico/ $F_a$ vento direção Y (Kn)	
	Espacial	Plano	Espacial	Plano
Cobertura	12,25	4,08	21,78	5,45

Vento incidente nas fachadas				
Pavimento	Pórtico/ $F_a$ vento direção X (Kn)		Pórtico/ $F_a$ vento direção Y (Kn)	
	Espacial	Plano	Espacial	Plano
Tipo 2	23,17	7,72	41,19	10,30
Tipo 1	20,94	6,98	37,23	9,31
Térreo	17,32	5,77	30,8	7,70
Baldrame	1,89	0,63	3,36	0,84

Fonte: Elaboração própria (2020).

Esses novos valores de  $F_a$  foram lançados manualmente no programa, mantendo as configurações referente à topografia do terreno.

#### 4.6.1.4 Fundação

A fundação foi considerada apenas dentro do programa, onde a base dos pilares em contato com o solo foi convertida em fundação do tipo sapata com vínculo engastado, conforme apresentado na Figura 56.

**Figura 56 - Pilar de fundação**

Pilar de fundação

Pilar  
Nome:  Ambiente: Externo

Modelo  
Altura barra: Auto 150 cm Vínculo pilar: Engastado  
Vínculo apoio: Engastado

Seção do pilar  
Tipo: retangular  
b: 40 cm h: 45 cm  
b1: 0 cm h1: 0 cm  
Ângulo de abertura: 90 °  
Ângulo de rotação: 180 °  
Elevação: 0 cm  Manter seção constante na prumada

Fundação  
 Bloco  Sapata  Divisa  Tubulão  
Rotação: 0° com o pilar  
Ângulo: 180 °  
Profundidade (df): 150 cm  
Altura do arranque (ha): 280 cm

OK Cancelar Desenho... Cargas... Ajuda

Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 4.6.1.5 Configurações de análise

Para realizar a análise global da estrutura, foram adotados os valores de redução de rigidez dos elementos, conforme definido pela ABNT NBR 6118:2014, e assim obter o coeficiente  $\gamma_z$  para classificação de cada modelo de pórtico, conforme carregamento aplicado. Esta configuração pode ser conferida na Figura 57.

**Figura 57 - Configurações para análise global da estrutura**

Fonte: Elaboração própria (2020).

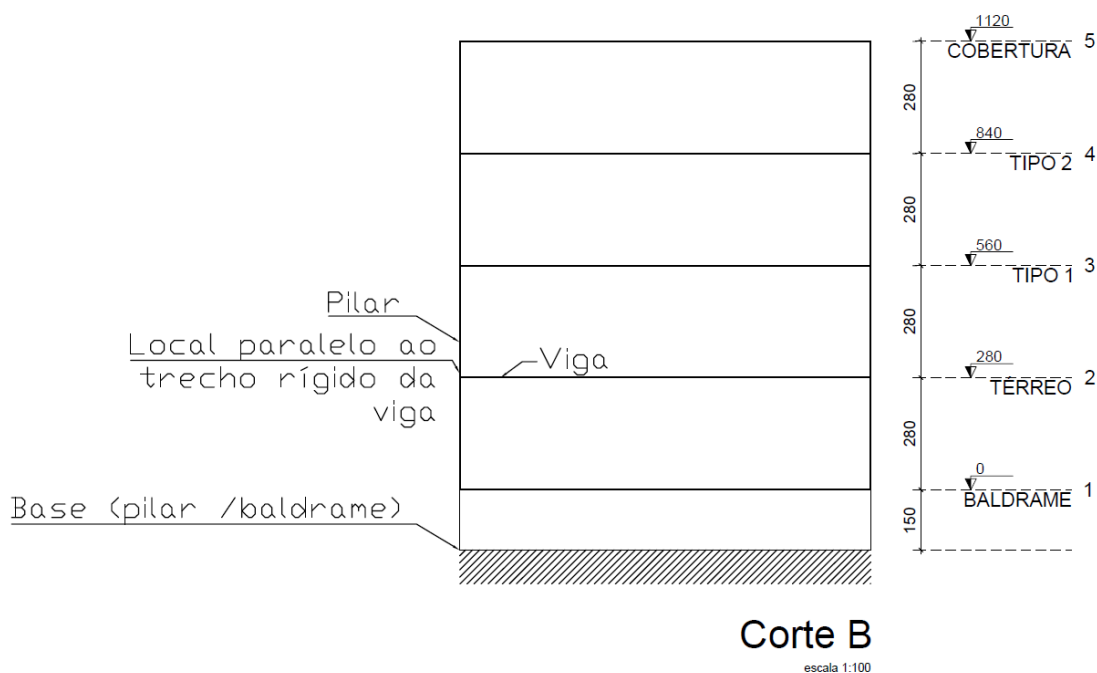
## 5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os dados da análise quantitativa e qualitativa, a qual está dividida da seguinte forma:

- Comparação dos esforços axiais calculados pela área de influência e obtidos do pórtico plano e espacial no Eberick;
- Comparação entre os momentos fletores, momentos torsores, esforços cortantes e deslocamentos entre o pórtico espacial e pórtico plano;
- Análise global da estrutura.

Os valores dos esforços citados foram obtidos da base da edificação e paralelo ao trecho rígido da viga, conforme indicado na Figura 58.

**Figura 58 - Indicação do trecho utilizado para levantamento dos dados quantitativos**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Para análise dos resultados quantitativos serão utilizados os valores obtidos na base da edificação. Os valores obtidos paralelo ao trecho rígido da viga serão analisados de formas global, podendo ser conferidos no Apêndice A.

## 5.1 Análise dos esforços devido à carga permanente e sobrecarga de utilização

A análise dos esforços devido à carga permanente e sobrecarga de utilização da edificação foi realizada com os valores obtidos do cálculo da área de influência e do processamento da estrutura no Eberick.

### 5.1.1 Análise dos esforços axiais

A análise dos esforços axiais foi realizada a partir da comparação entre os valores obtidos com o cálculo feito manualmente da área de influência e os valores obtidos do pórtico espacial sem vento por meio do Eberick.

Foram também comparados os valores obtidos entre o pórtico espacial e plano processados no Eberick.

### 5.1.1.1 Área de influência versus pórtico espacial

Para a comparação dos esforços normais entre os valores obtidos pelos cálculos da área de influência e do processamento da estrutura, foi considerado de forma análoga para o pórtico plano a soma destes na direção X e Y multiplicando os valores apresentados na Tabela 17 por dois. Os esforços obtidos do cálculo da área de influência e da base da edificação geraram uma diferença que variou de 4,00% a 32,79%. Sendo que os pilares onde ocorreu essa diferença percentual maior foram nos intermediários. Contudo, no geral, o carregamento teve a mesma distribuição em ambos os casos, possibilitando obter os mesmos resultados de análise, conforme apresentado na Tabela 23.

**Tabela 23 - Esforços axiais devido a G1+G2+Q**  
**Esforços axiais: Área de influência vs Pórtico**  
**Espacial G1+G2+Q**

PILAR	AI (kN)	PE (kN)	AI/PE (%)
P1	377,35	428,64	-13,59
P2	819,15	781,86	4,55
P3	819,15	781,86	4,55
P4	377,35	468,64	-24,19
P5	905,64	869,42	4,00
P6	2457,46	1651,61	32,79
P7	2457,46	1651,61	32,79
P8	905,64	869,42	4,00
P9	377,35	428,64	-13,59
P10	819,15	781,86	4,55
P11	819,15	781,86	4,55
P12	377,35	428,64	-13,59
TOTAL	11512,21	9924,06	13,80

Fonte: Elaboração própria (2020).

Pode-se observar também que os valores totais obtidos para os esforços com o cálculo da área de influência apresentaram uma diferença percentual igual a 13,80% em relação aos obtidos para o pórtico espacial.

Essa diferença deve-se em parte à distribuição do carregamento pelo cálculo de reações de apoio das lajes nas vigas, no qual obteve-se uma diferença percentual de aproximadamente 3,00% para o carregamento permanente e 1,60% para a carga variável referente ao uso da edificação entre os dois modelos.

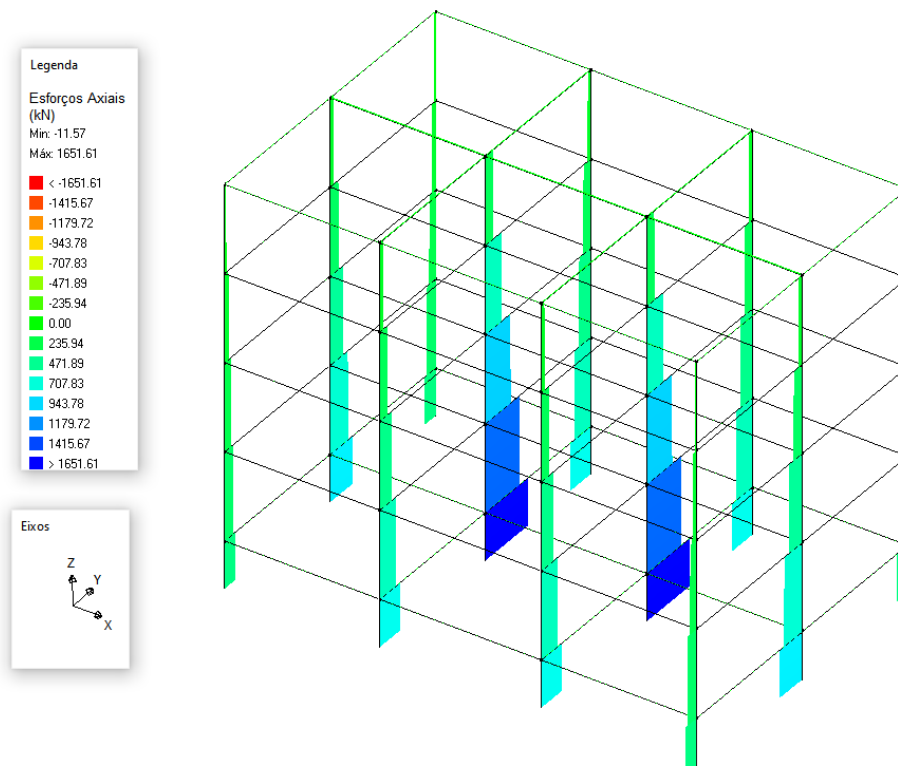
Conseqüentemente, essas diferenças serão notadas no decorrer do trabalho para as demais comparações de esforços.

Outro ponto é que ao considerar os esforços pela área de influência de forma análoga nas duas direções dos pilares torna os valores menos precisos, ainda

assim, de forma simplificada, servem como um bom parâmetro para prever o comportamento da estrutura no modelo espacial.

A Figura 59, apresenta os esforços axiais gerados no pórtico espacial:

**Figura 59 - Esforços axiais do pórtico espacial sujeito a G1+G2+Q**



Fonte: Elaboração própria (2020).

As cores indicadas na Figura 59, assim como nas próximas que serão apresentadas, correspondem da escala azul até o vermelho, o máximo positivo e o máximo negativo, respectivamente.

### 5.1.1.2 Pórtico plano versus pórtico espacial

Para gerar os resultados de esforços axiais do pórtico plano, foram somados os valores obtidos dos pórticos em X e Y, gerando uma menor diferença percentual se comparado com o método da área de influência.

Os valores obtidos a partir do pórtico plano e pórtico espacial geraram uma diferença que variou de 2,43% a 14,89%. Contudo, no geral, o carregamento teve a mesma distribuição em ambos os casos, possibilitando obter os mesmos resultados de análise, conforme apresentado na Tabela 24.

Tabela 24 - Esforços axiais devido a G1+G2+Q

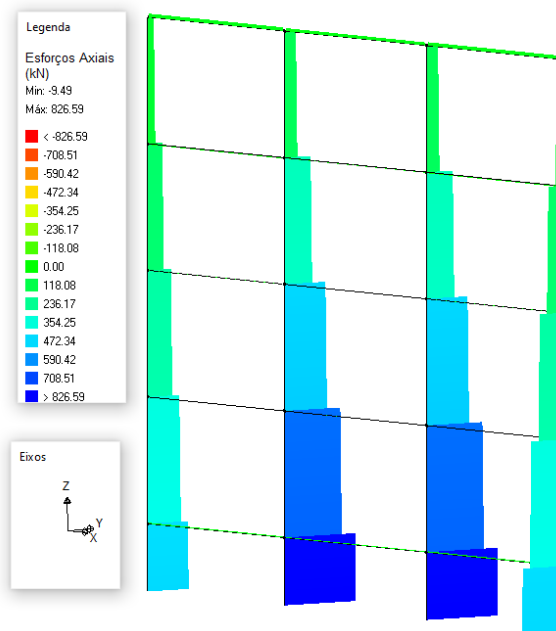
Esforços axiais G1+G2+Q					
PILAR	PE (kN)	PX (kN)	PY (kN)	PX + PY (kN)	PP/PE (%)
P1	428,64	251,70	251,96	503,66	14,89
P2	781,86	417,26	465,73	882,99	11,45
P3	781,86	417,26	465,73	882,99	11,45
P4	468,64	251,70	251,96	503,66	14,89
P5	869,42	472,03	430,10	902,13	3,63
P6	1651,61	826,59	866,20	1692,79	2,43
P7	1651,61	826,59	866,20	1692,79	2,43
P8	869,42	472,03	430,10	902,13	3,63
P9	428,64	251,70	251,96	503,66	14,89
P10	781,86	417,26	465,73	882,99	11,45
P11	781,86	417,26	465,73	882,99	11,45
P12	428,64	251,70	251,96	503,66	14,89
TOTAL	9924,06	-	-	10736,44	7,57

Fonte: Elaboração própria (2020).

Pode-se observar que a soma dos esforços normais ainda foi maior no modelo plano, obtendo uma diferença percentual menor entre os modelos igual a 7,57%. Essa diferença ainda ocorre devido à distribuição do carregamento nas vigas ser diferente.

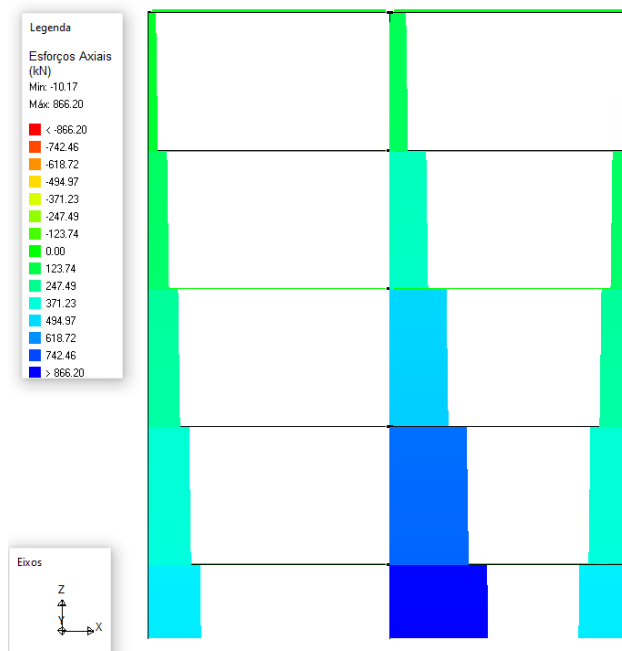
As figuras 60 e 61, apresentam os esforços axiais gerados no pórtico em X e Y, respectivamente.

**Figura 60 - Esforços axiais devido a G1+G2+Q pórtico plano X V2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 61 - Esforços axiais devido a G1+G2+Q pórtico plano Y V5**



Fonte: Elaboração própria (2020).

### 5.1.2 Momentos fletores devido ao carregamento G1+G2+Q

As maiores diferenças obtidas dos momentos fletores entre o pórtico espacial e plano foram os gerados no eixo X, chegando a 73,79% para o pilar P3 e 68,31% para P6. Em ambos os pórticos, ocorreu um comportamento diferenciado ao longo da prumada em cada pavimento, com aumento e diminuição desses esforços variada. Contudo, os valores ainda ficaram bem próximos, principalmente no eixo Y, onde a maior diferença obtida foi de 5,03% para o P3 e 0,00 % para o P6. Conforme apresentado na Tabela 25.

**Tabela 25 - Momentos Fletores G1+G2+Q**

<b>Momento Fletor G1+G2+Q</b>						
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE3 X (kN.m)</b>	<b>PE3 Y (kN.m)</b>	<b>PX3 (kN.m)</b>	<b>PY3 (kN.m)</b>	<b>PX3/PE3 X (%)</b>	<b>PY3/PE3 Y (%)</b>
<b>Baldrame</b>	0,74	-14,73	0,80	-15,51	7,50	5,03
<b>Térreo</b>	0,34	-30,48	0,52	-31,91	34,62	4,48
<b>Tipo 1</b>	0,33	-32,74	0,75	-33,55	56,00	2,41
<b>Tipo 2</b>	0,24	-32,75	0,31	-33,16	22,58	1,24
<b>Cobertura</b>	0,27	-38,22	1,03	-38,38	73,79	0,42

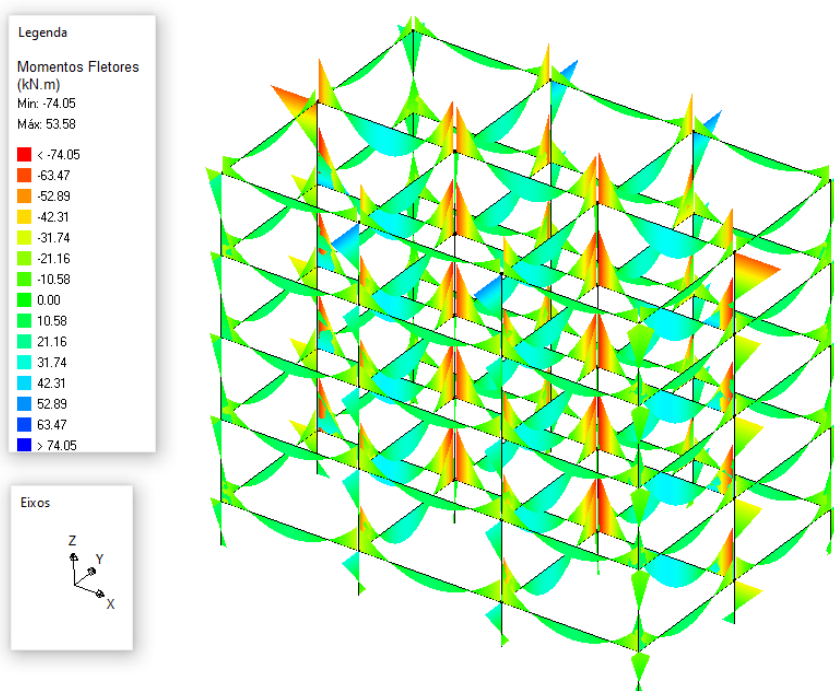
  

<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE6 X (kN.m)</b>	<b>PE6 Y (kN.m)</b>	<b>PX6 (kN.m)</b>	<b>PY6 (kN.m)</b>	<b>PX6/PE6 X (%)</b>	<b>PY6/PE6 Y (%)</b>
<b>Baldrame</b>	-2,76	0,00	-2,78	0	0,72	0,00
<b>Térreo</b>	-2,41	0,00	-2,99	0	19,40	0,00
<b>Tipo 1</b>	-2,36	0,00	-3,69	0	36,04	0,00
<b>Tipo 2</b>	-0,77	0,00	-2,43	0	68,31	0,00
<b>Cobertura</b>	-2,74	0,00	-4,74	0	42,19	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

A magnitude dos momentos gerados nos pilares é proporcional ao carregamento distribuído nas vigas, conforme apresentado na Figura 62.

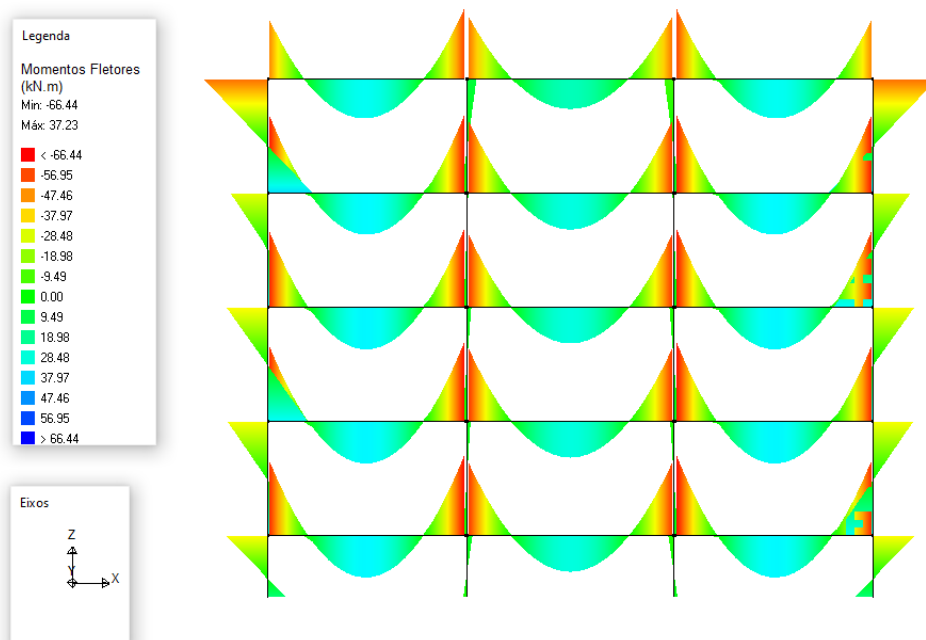
**Figura 62 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

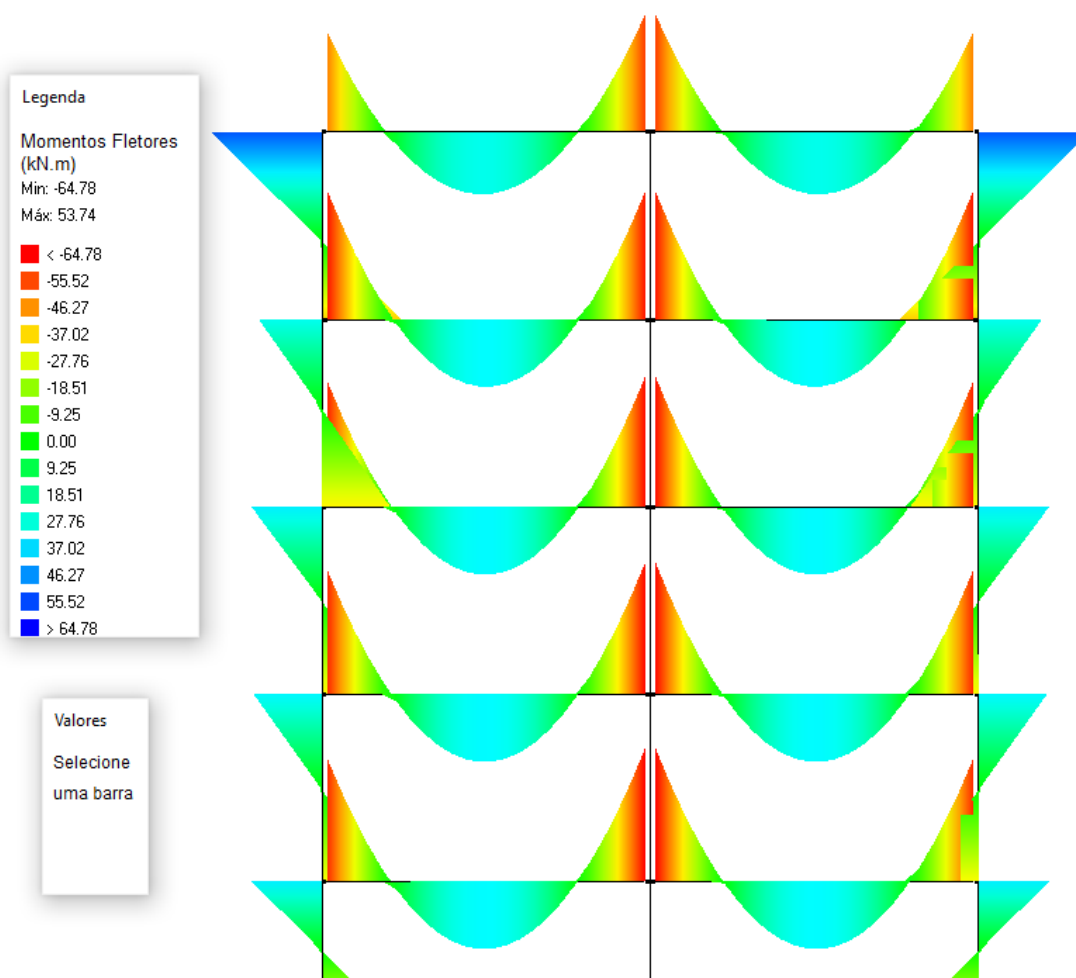
No pórtico plano obteve-se o mesmo comportamento da estrutura, conforme apresentado nas Figura 63 e 64.

**Figura 63 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 64 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q pórtico plano VY5=VY6**



Fonte: Elaboração própria (2020).

### 5.1.2 Momentos torsões devido ao carregamento G1+G2+Q

Não se obtiveram valores significativos de momentos torsões nos pilares para o pórtico espacial devido à simetria da estrutura, assim como as configurações definidas no Eberick em que, conforme apresentado na Figura 57, a torção das vigas foi reduzida para 95%. O pórtico plano não apresentou esse tipo de esforço, conforme apresentado na Tabela 26.

Tabela 26 - Momentos torsores devido a G1+G2+Q

Momento Torsor G1+G2+Q						
Pórtico/ Pavimento	PE3 X(kN.m)	PE3 Y(kN.m)	PX3 (kN.m)	PY3 (kN.m)	PX3/PE3 X (%)	PY3/PE3 Y (%)
Baldrame	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Térreo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tipo 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tipo 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobertura	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

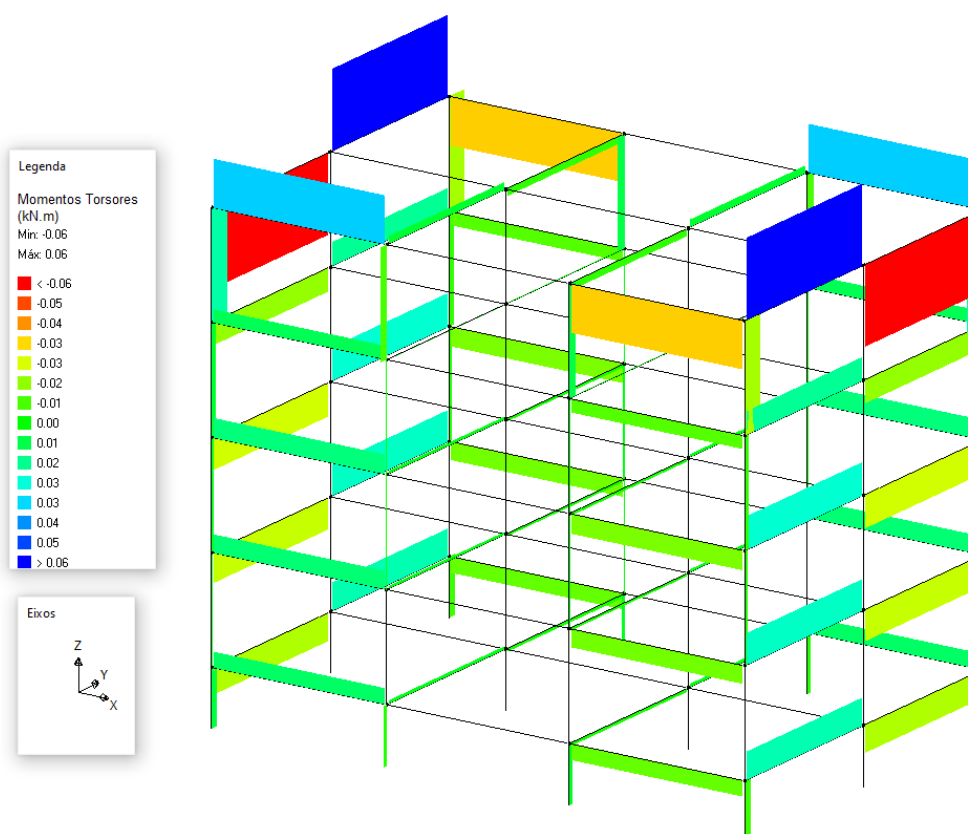
  

Pórtico/ Pavimento	PE6 X(kN.m)	PE6 Y(kN.m)	PX6 (kN.m)	PY6 (kN.m)	PX6/PE6 X (%)	PY6/PE6 Y (%)
Baldrame	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Térreo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tipo 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tipo 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobertura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

A Figura 65 apresenta a simetria entre esses esforços, podendo-se observar também que ocorre de forma equilibrada nas vigas. O pavimento cobertura apresenta uma maior magnitude.

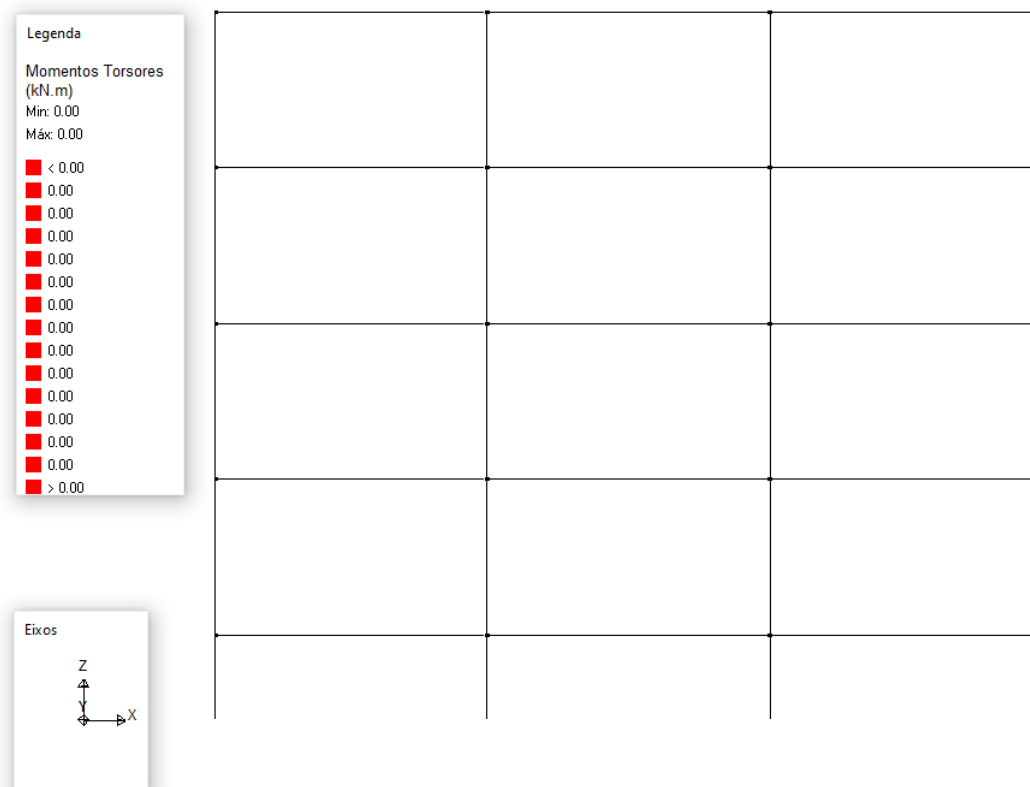
Figura 65 - Momentos torsores devido a G1+G2+Q pórtico espacial



Fonte: Elaboração própria (2020).

A Figura 66 apresenta a ausência dos momentos fletores no pórtico plano.

**Figura 66 - Momentos torsores devido a G1+G2+Q pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Esse comportamento se repete em ambos os pórticos para as demais combinações de carregamento.

### 5.1.3 Esforços cortantes devido ao carregamento G1+G2+Q

Assim como para os momentos fletores, as maiores diferenças obtidas dos esforços cortantes entre o pórtico espacial e o pórtico plano foram os gerados no eixo X, chegando a 433,33% para o pilar P3 e 91,60% para P6. Contudo, como os valores obtidos são pequenos e o comportamento ao longo da prumada foi praticamente o mesmo, devido à distribuição do carregamento. No eixo Y obtiveram-se as menores diferenças, onde o maior percentual obtido foi para o P3 chegando a 5,20% e 0,00 % para o P6. Conforme apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q

Esforços cortantes G1+G2+Q						
Pórtico/ Pavimento	PE3 X (kN)	PE3 Y (kN)	PX3 (kN)	PY3 (kN)	PX3/PE3 X (%)	PY3/PE3 Y (%)
Baldrame	1,20	31,33	1,31	33,05	8,40	5,20
Térreo	0,23	22,26	0,39	23,20	41,03	4,05
Tipo 1	0,21	23,62	0,53	23,20	60,38	-1,81
Tipo 2	-0,30	22,48	0,09	22,74	433,33	1,14
Cobertura	0,41	32,79	1,06	32,91	61,32	0,36

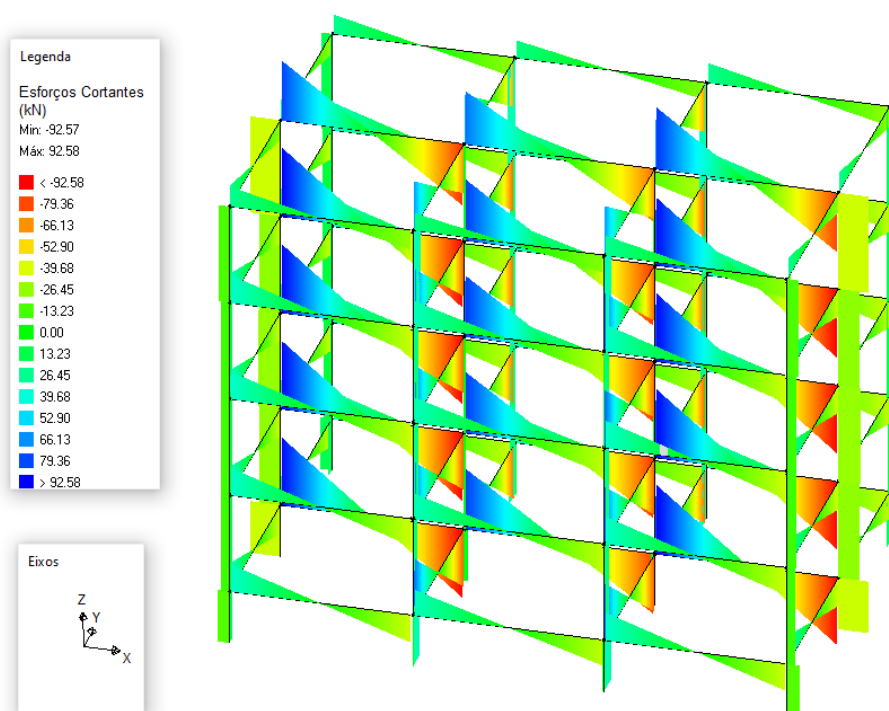
  

Pórtico/ Pavimento	PE6 X (kN)	PE6 Y (kN)	PX6 (kN)	PY6 (kN)	PX6/PE6 X (%)	PY6/PE6 Y (%)
Baldrame	4,89	0,00	4,98	0,00	1,81	0,00
Térreo	1,65	0,00	2,20	0,00	25,00	0,00
Tipo 1	1,69	0,00	2,67	0,00	36,70	0,00
Tipo 2	0,11	0,00	1,31	0,00	91,60	0,00
Cobertura	2,87	0,00	4,54	0,00	36,78	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

Na Figura 67 é possível verificar a magnitude dos esforços cortantes nos pilares.

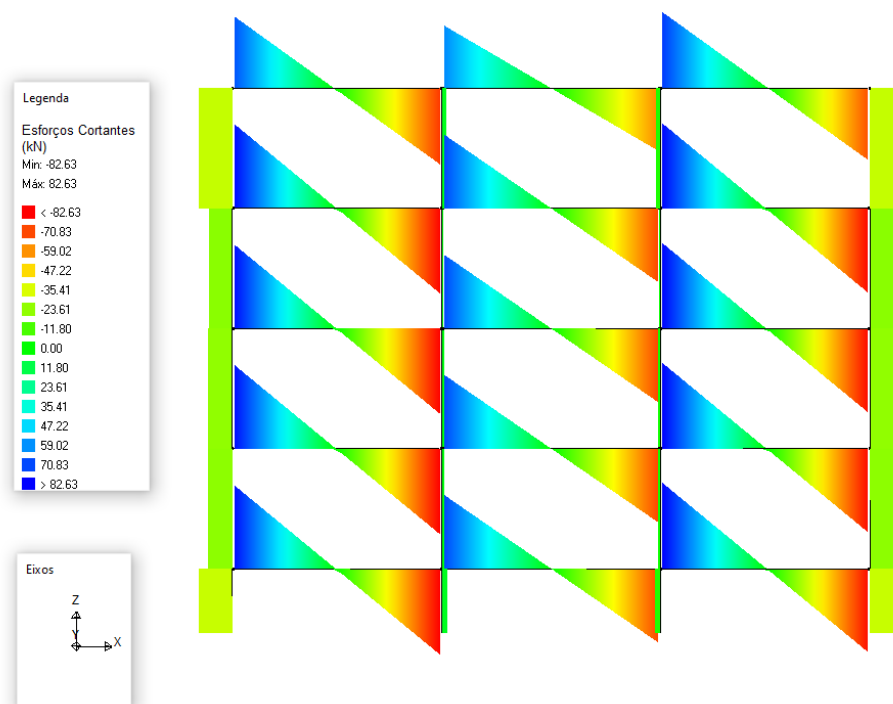
Figura 67 – Esforços cortantes devido a G1+G2+Q pórtico espacial



Fonte: Elaboração própria (2020).

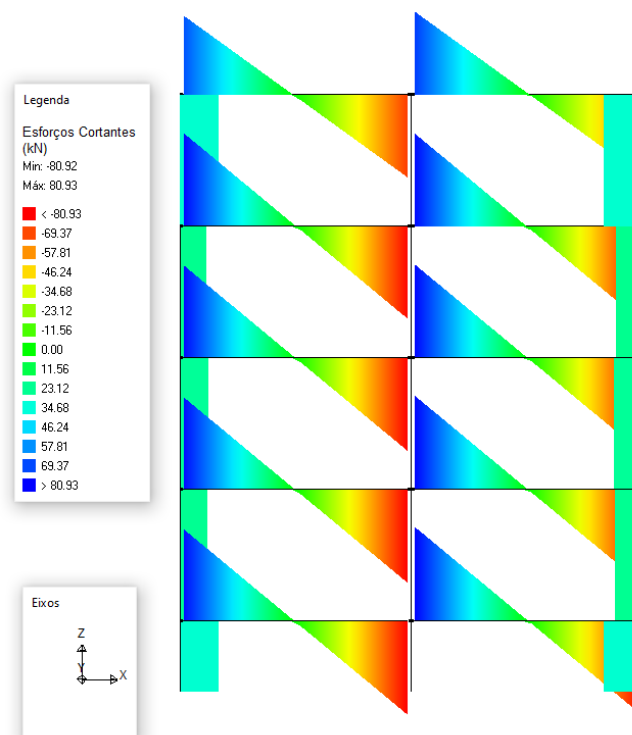
Os pórticos planos nas direções X e Y apresentam o mesmo comportamento, conforme apresentado nas Figuras 68 e 69.

**Figura 68 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 69 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q pórtico plano VY5=VY6**



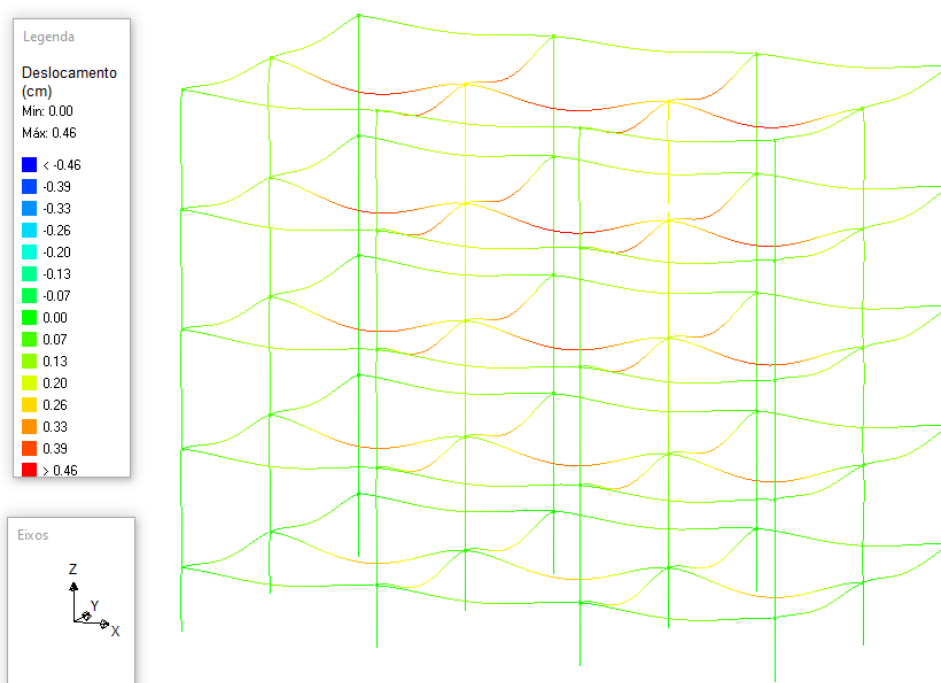
Fonte: Elaboração própria (2020).

#### 5.1.4 Deslocamentos devido ao carregamento G1+G2+Q

Os pilares da estrutura não sofreram deslocamentos na direção do eixo X ou Y, para o carregamento imposto, apenas as vigas sofreram uma deflexão devido ao carregamento distribuído gerando uma rotação em torno do eixo Z dos pilares. Esses valores são muito pequenos, onde o valor máximo chegou a 2,2 mm no pórtico espacial e 1,1 mm no pórtico plano para o P6. Para o pilar P3, o valor máximo foi igual a 1 mm no pórtico espacial e 0,5 mm no pórtico plano, ocorrendo uma diferença de 50%. Os valores de rotação de todos os pilares podem ser conferidas no Apêndice A.

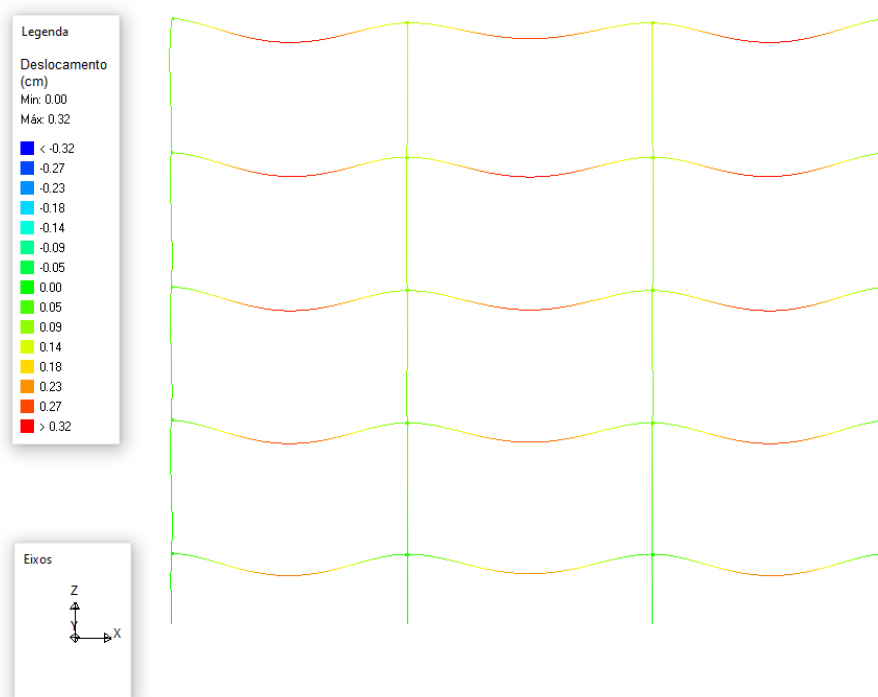
As Figuras 70, 71 e 72 apresentam o comportamento da estrutura quanto aos deslocamentos.

**Figura 70 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q pórtico espacial**



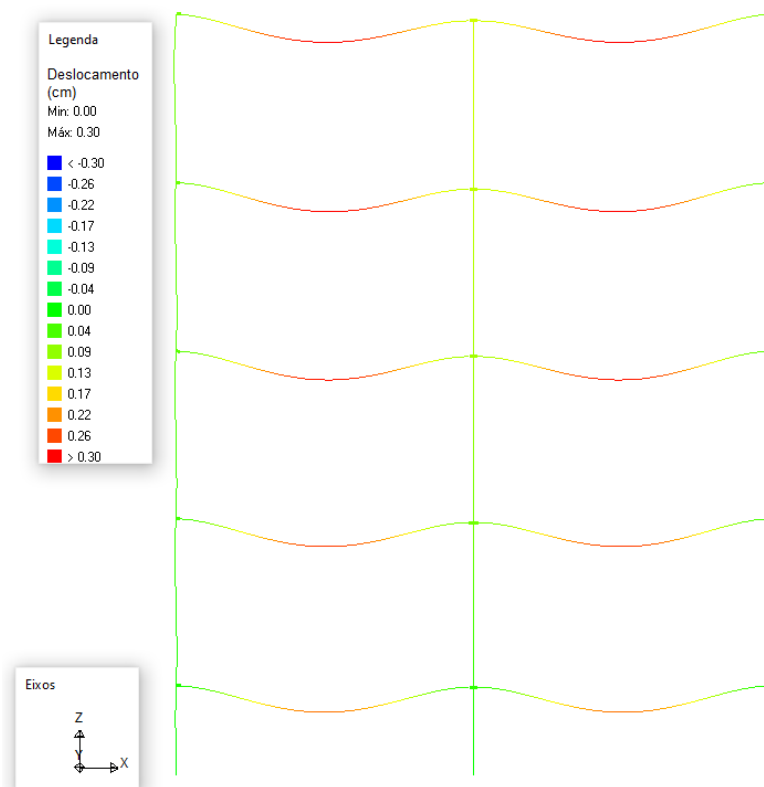
Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 71 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 72 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q pórtico plano VY5=6Y6**



Fonte: Elaboração própria (2020).

## 5.2 Análise dos esforços devido à carga permanente, sobrecarga de utilização e vento

A análise dos esforços devido à carga permanente, sobrecarga de utilização e vento foi realizada com os valores obtidos do Eberick para momentos fletores, esforços cortantes e deslocamentos. Os momentos torsores foram desprezados, pois os resultados obtidos são iguais à análise sem vento. Tanto para o pórtico espacial quanto para o pórtico plano, os pilares analisados continuam sendo os P3 e P6, a partir dos esforços obtidos da base da edificação e paralelo ao trecho rígido da viga ao longo da prumada. Os resultados dos demais pilares, podem ser conferidos no Apêndice A.

A comparação dos esforços axiais entre os dois modelos não foi realizada devido à metodologia utilizada para a aplicação do vento no pórtico plano.

Em relação ao vento X, a estrutura foi analisada para o vento pela direita (X+) e esquerda (X-), com o vento sendo considerado como ação principal.

Para comparar os esforços dos pórticos em relação ao vento X, foram utilizadas as fachadas em X do pórtico espacial para o pórtico plano, considerando a seção em que o vento atua nesta direção, sendo assim, foram também considerados apenas os esforços do eixo X para o pórtico espacial.

Em relação ao vento Y, a estrutura foi analisada para o vento pela direita (Y+) e esquerda (Y-), sendo considerado como ação principal.

Para comparar os esforços dos pórticos em relação ao vento Y, foram utilizadas as fachadas em Y do pórtico espacial para o pórtico plano, considerando a sessão em que o vento atua nesta direção, sendo assim, foram também considerados apenas os esforços do eixo Y para o pórtico espacial.

A análise do pórtico plano Y foi realizada no eixo X, já que o pórtico não tem estabilidade na direção Y, tendendo a tombar, o que impossibilitaria a geração dos resultados. Essa análise não será apresentada neste capítulo, devido a ser de forma análoga igual à análise com vento em X, porém os valores de esforços podem ser conferidos no Apêndice A.

### 5.2.1 Momento fletores devido ao carregamento $G1+G2+Q+VX$

As maiores diferenças obtidas dos momentos fletores entre o pórtico espacial e plano, para o carregamento vertical mais vento X pela direita, foram no pilar

P3, chegando a 173,68%, porém, esses valores ainda são pequenos. Para o pilar P6, chegou a 17,80%, sendo que nos dois pórticos essa maior diferença percentual foi nos pavimentos cobertura. Ambos apresentaram o mesmo comportamento para os pilares analisados. Conforme apresentado na Tabela 28.

**Tabela 28 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX+**

<b>Momento Fletor G1+G2+Q+VX+</b>			
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE3 X (kN.m)</b>	<b>PX3 (kN.m)</b>	<b>PX3/PE3 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	16,26	16,19	-0,43
<b>Térreo</b>	16,21	16,04	-1,06
<b>Tipo 1</b>	10,21	9,84	-3,76
<b>Tipo 2</b>	5,42	4,94	-9,72
<b>Cobertura</b>	1,04	0,38	-173,68

<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE6 X (kN.m)</b>	<b>PX6 (kN.m)</b>	<b>PX6/PE6 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	-19,60	-19,3	-1,55
<b>Térreo</b>	-18,98	-18,97	-0,05
<b>Tipo 1</b>	-12,94	-13,59	4,78
<b>Tipo 2</b>	-6,22	-7,18	13,37
<b>Cobertura</b>	-6,22	-5,28	-17,80

Fonte: Elaboração própria (2020).

Já para o vento X pela esquerda, as diferenças percentuais diminuíram para o pilar P3, sendo igual a 32,35% e aumentou para o P6 sendo igual a 39,16% no pavimento cobertura. No geral, os elementos apresentaram o mesmo comportamento, conforme apresentado na Tabela 29.

**Tabela 29 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX-**

<b>Momento Fletor G1+G2+Q+VX-</b>			
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE3 X(kN.m)</b>	<b>PX3 (kN.m)</b>	<b>PX3/PE3 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	-17,54	-17,58	0,23
<b>Térreo</b>	-16,68	-16,82	0,83
<b>Tipo 1</b>	-10,66	-11,02	3,27
<b>Tipo 2</b>	-4,86	-5,34	8,99
<b>Cobertura</b>	-1,38	-2,04	32,35

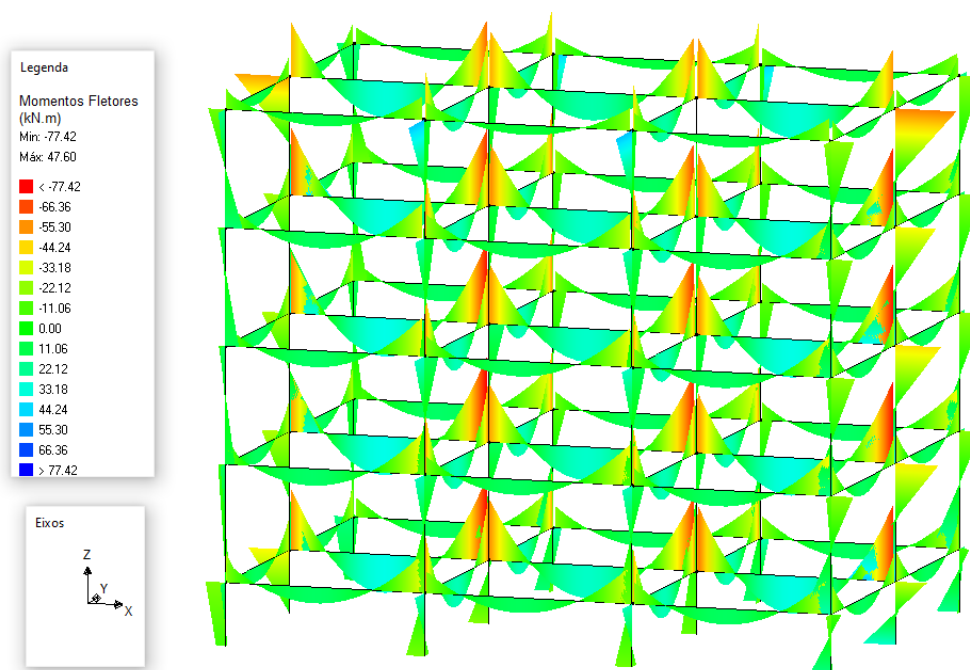
  

<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE6 X(kN.m)</b>	<b>PX6 (kN.m)</b>	<b>PX6/PE6 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	14,19	14,47	1,94
<b>Térreo</b>	13,9	13,89	-0,07
<b>Tipo 1</b>	7,93	7,27	-9,08
<b>Tipo 2</b>	4,06	3,09	-31,39
<b>Cobertura</b>	-1,74	-2,86	39,16

Fonte: Elaboração própria (2020).

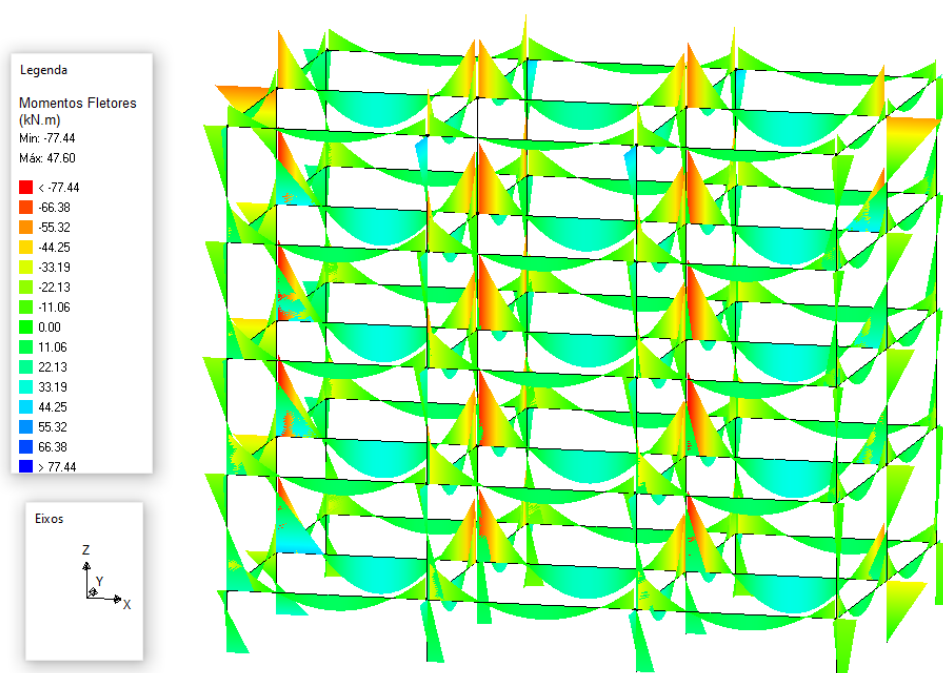
As Figuras 73 e 74, apresentam os momentos fletores do pórtico espacial, para o vento na direção X+ e X- respectivamente.

**Figura 73 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

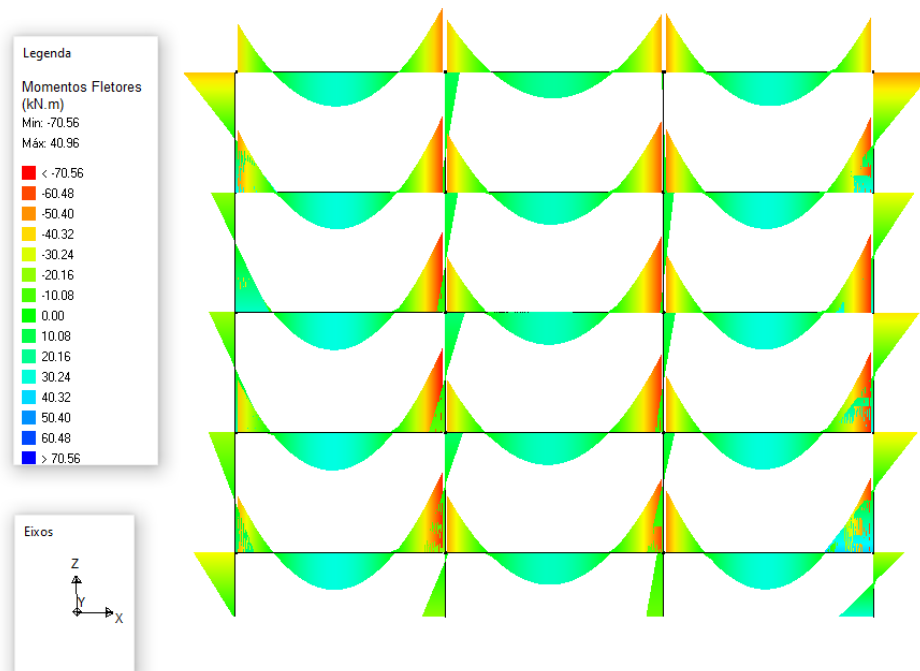
**Figura 74 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX- pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

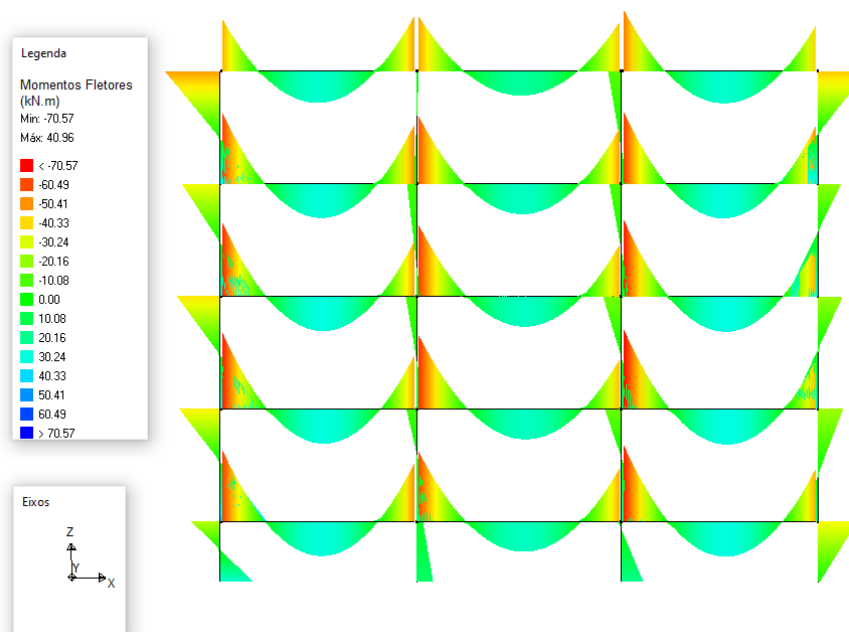
As Figuras 75 e 76, apresentam os momentos fletores do pórtico plano formado pelos pilares P5, P6, P7, P8 e viga VX2, para o vento na direção X+ e X- respectivamente.

**Figura 75 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 76 - Momentos fletores devido a G1+G2+Q+VX- pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Observando as figuras 75 e 76, e comparando o pórtico espacial com o plano, pode-se ter a percepção de que houve um aumento dos momentos fletores nas fases opostas ao vento e esse comportamento ocorre nos dois modelos.

### 5.2.2 Esforços cortantes devido ao carregamento G1+G2+Q+VX

As maiores diferenças obtidas dos esforços cortantes entre o pórtico espacial e plano, para o carregamento vertical mais vento X pela direita, foram 42,54% para o P3 e 14,68% para o P6. Como os valores são pequenos, essa diferença não é tão significativa. Ambos apresentaram o mesmo comportamento para os pilares analisados, com um esforço cortante maior na base da edificação. Conforme apresentado na Tabela 30.

**Tabela 30 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q+V+**

<b>Esforços cortantes G1+G2+Q+VX+</b>			
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE3 X (kN)</b>	<b>PX3 (kN)</b>	<b>PX3/PE3 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	-9,46	-9,36	-1,07
<b>Térreo</b>	-10	-9,85	-1,52
<b>Tipo 1</b>	-8,25	-7,97	-3,51
<b>Tipo 2</b>	-5,61	-5,27	-6,45
<b>Cobertura</b>	-1,91	-1,34	-42,54
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE6 X(kN)</b>	<b>PX6 (kN)</b>	<b>PX6/PE6 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	15,32	14,79	-3,58
<b>Térreo</b>	11,90	12,02	1,00
<b>Tipo 1</b>	10,18	10,66	4,50
<b>Tipo 2</b>	5,66	6,39	11,42
<b>Cobertura</b>	5,23	6,13	14,68

Fonte: Elaboração própria (2020).

O vento X pela esquerda, provocou um comportamento igual e contrário na estrutura, aumentando os esforços cortantes para o P3 e diminuindo para o P6, a diferença percentual entre os pórticos foi de 53,85% para o P6 e 18,39% para o P3, conforme apresentado na Tabela 31.

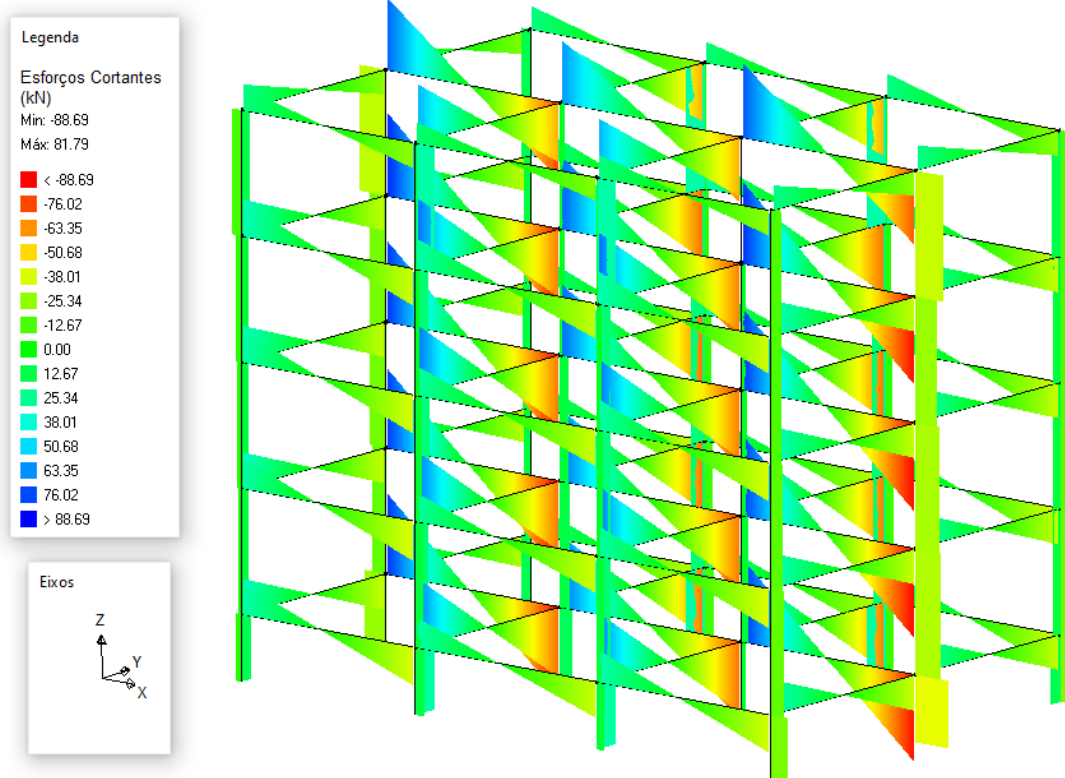
**Tabela 31 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q+VX-**

<b>Esforços cortantes G1+G2+Q+VX-</b>			
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE3 X (kN)</b>	<b>PX3 (kN)</b>	<b>PX3/PE3 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	11,5	11,59	0,78
<b>Térreo</b>	10,31	10,45	1,34
<b>Tipo 1</b>	8,52	8,8	3,18
<b>Tipo 2</b>	4,99	5,33	6,38
<b>Cobertura</b>	2,53	3,1	18,39
<b>Pórtico/ Pavimento</b>	<b>PE6 (kN)</b>	<b>PX6 (kN)</b>	<b>PX6/PE6 X (%)</b>
<b>Baldrame</b>	-5,63	-6,16	8,60
<b>Térreo</b>	-8,40	-8,28	-1,45
<b>Tipo 1</b>	-6,59	-6,11	-7,86
<b>Tipo 2</b>	-4,94	-4,21	-17,34
<b>Cobertura</b>	0,78	1,69	53,85

Fonte: Elaboração própria (2020).

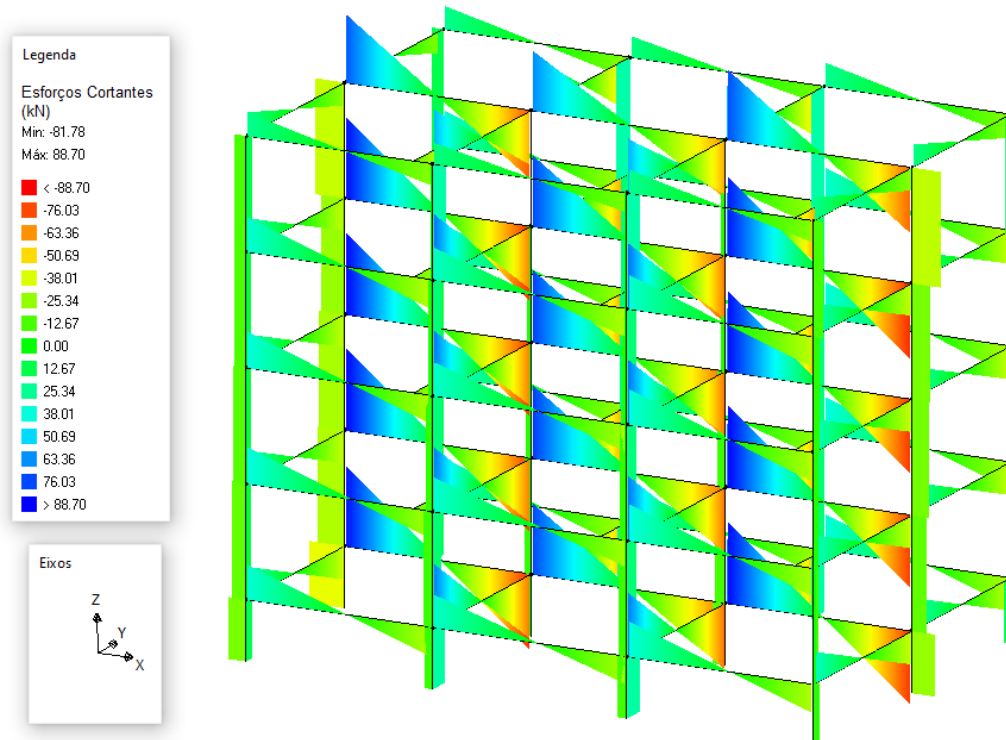
As Figuras 77 e 78, apresentam esforços cortantes do pórtico espacial formado pelos pilares P5, P6, P7, P8 e viga VX2, para o vento na direção X+ e X-, respectivamente.

**Figura 77 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

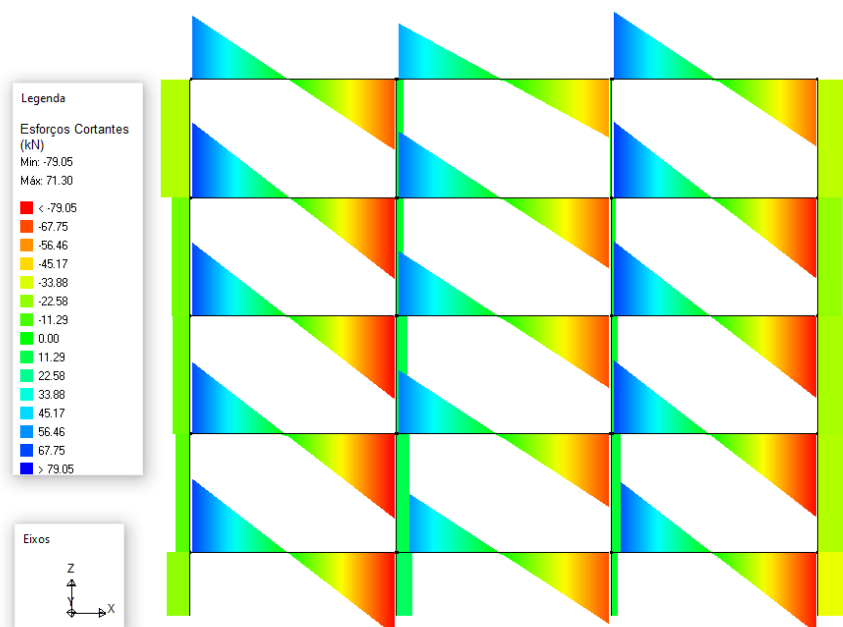
**Figura 78 - Esforços cortantes devido a  $G_1+G_2+Q+VX$ - pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

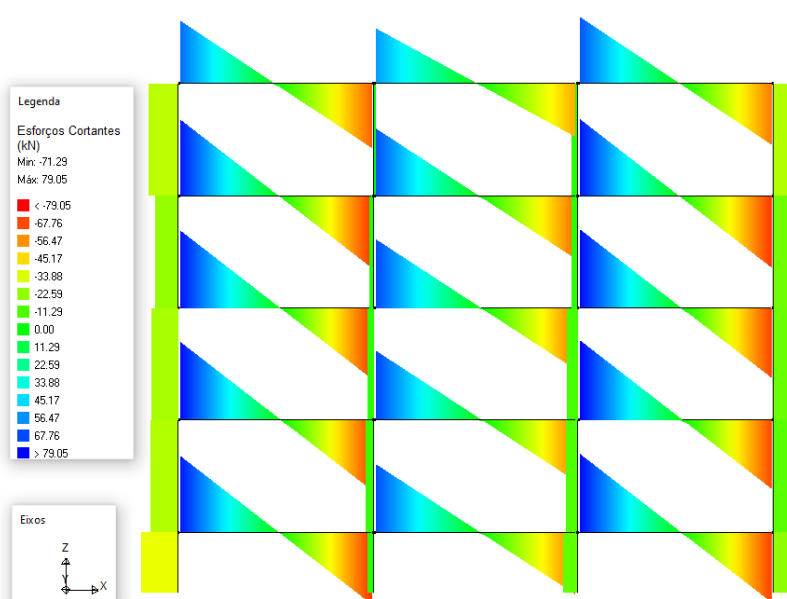
As Figuras 79 e 80 apresentam os esforços cortantes do pórtico plano formado pelos pilares P5, P6, P7, P8 e viga VX2, para o vento na direção X+ e X-, respectivamente.

**Figura 79 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 80 - Esforços cortantes devido a G1+G2+Q+VX- pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Observando as figuras 79 e 80, e comparando o pórtico espacial com o plano, pode-se ter a percepção de que houve um aumento dos esforços cortantes nas

fases opostas ao vento e esse comportamento ocorre nos dois modelos. Fica mais fácil ter essa percepção observando os pilares. Os esforços cortantes nas vigas são característicos do carregamento vertical distribuído.

### 5.2.3 Deslocamentos devido ao carregamento G1+G2+Q+VX

Os dois modelos de pórticos tiveram o mesmo comportamento na estrutura, referente aos deslocamentos devido ao carregamento vertical e horizontal. Conforme apresentado na Tabela 32.

**Tabela 32 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX+**

Deslocamentos G1+G2+Q+VX+			
Pórtico/ Pavimento	PE3 X (cm)	PX3 (cm)	PX3/PE3 X (%)
Baldrame	0,00	0,00	0,00
Térreo	-0,03	-0,03	0,00
Tipo 1	-0,15	-0,15	0,00
Tipo 2	-0,28	-0,28	0,00
Cobertura	-0,37	-0,37	0,00

Pórtico/ Pavimento	PE6 X (cm)	PX6 (cm)	PX6/PE6 X (%)
Baldrame	0,00	0,00	0,00
Térreo	-0,03	-0,03	0,00
Tipo 1	-0,15	-0,15	0,00
Tipo 2	-0,28	-0,28	0,00
Cobertura	-0,37	-0,37	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

O mesmo pode ser observado para o vento X pela esquerda, conforme apresentado na Tabela 33.

**Tabela 33 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX-**

Deslocamentos G1+G2+Q+VX-			
Pórtico/ Pavimento	PE3 X (cm)	PX3 (cm)	PX3/PE3 X (%)
Baldrame	0	0	0,00
Térreo	0,03	0,03	0,00
Tipo 1	0,15	0,15	0,00
Tipo 2	0,28	0,28	0,00
Cobertura	0,37	0,37	0,00

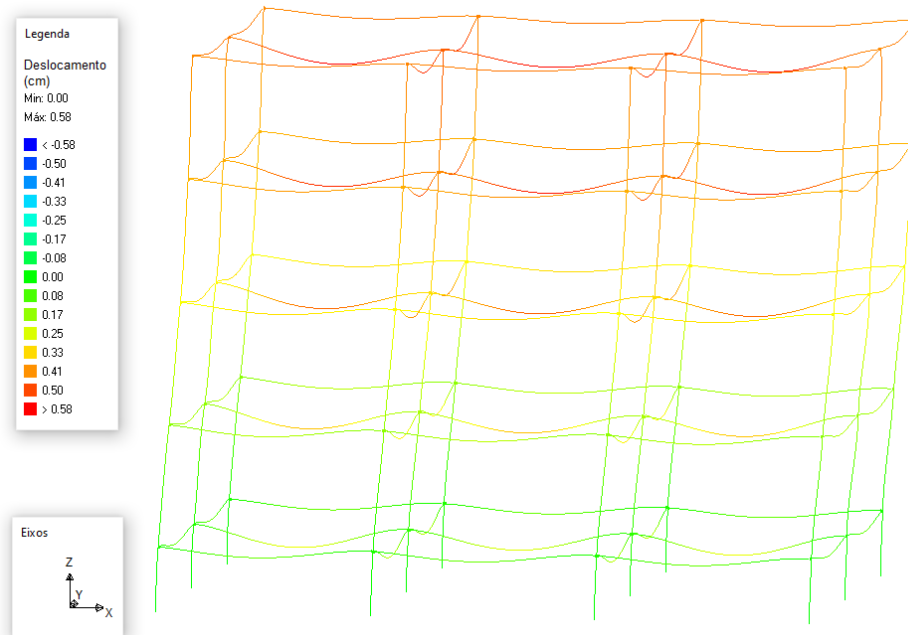
  

Pórtico/ Pavimento	PE6 X (cm)	PX6 (cm)	PX6/PE6 X (%)
Baldrame	0	0	0,00
Térreo	0,02	0,02	0,00
Tipo 1	0,15	0,15	0,00
Tipo 2	0,28	0,28	0,00
Cobertura	0,37	0,37	0,00

Fonte: Elaboração própria (2020).

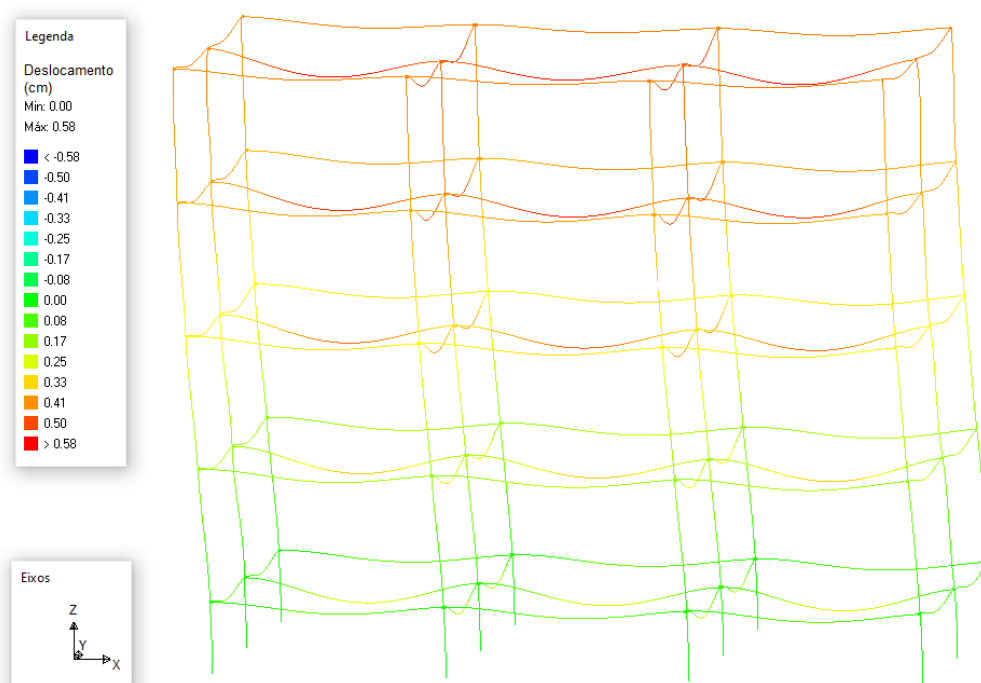
As Figuras 81 e 82, apresentam os deslocamentos do pórtico espacial para o vento na direção X+ e X-, respectivamente.

**Figura 81 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

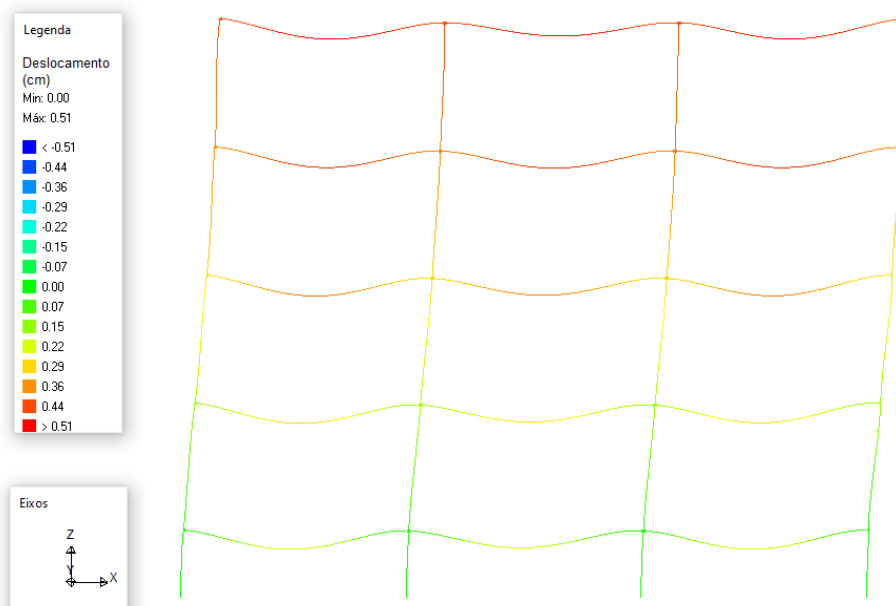
**Figura 82 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX- pórtico espacial**



Fonte: Elaboração própria (2020).

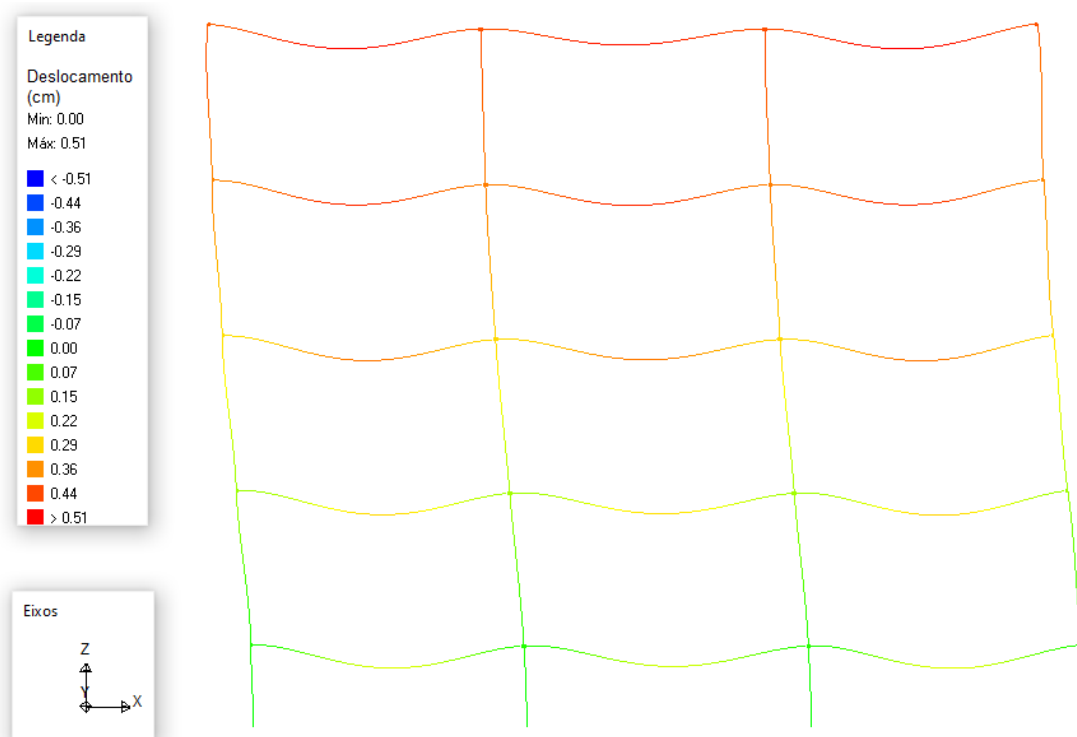
As Figuras 83 e 84 apresentam os deslocamentos do pórtico plano formado pelos pilares P5, P6, P7, P8 e viga VX2, para o vento na direção X+ e X-, respectivamente.

**Figura 83 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX+ pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

**Figura 84 - Deslocamentos devido a G1+G2+Q+VX- pórtico plano VX2**



Fonte: Elaboração própria (2020).

Observando as figuras 83 e 84, e comparando o pórtico espacial com o plano, percebe-se que a estrutura se deforma em formato de "S", devido ao vínculo

dos pilares ser engastado. Nos dois modelos tem-se um deslocamento maior no topo da estrutura, praticamente na mesma magnitude.

### 5.3 Análise global da estrutura

O coeficiente  $\gamma_z$  de cada modelo de pórtico foi obtido ao processar a estrutura no Eberick, esses valores foram analisados nos três casos de combinação de ações, para os pórticos:

- Espacial;
- Plano em X, formado pelos pilares P1, P2, P3, P4 e viga VX1;
- Plano em X, formado pelos pilares P5, P6, P7, P8 e viga VX2;
- Plano em Y, formado pelos pilares P1, P5, P9 e viga VY4;
- Plano em Y, formado pelos pilares P2, P6, P10 e viga VY5.

Os valores do coeficiente  $\gamma_z$  estão apresentados nas Tabelas 34,35 e 36.

**Tabela 34 -  $\gamma_z$  para G1+G2+Q**

<b>Coeficiente Gama-z <math>\gamma_z</math> para 1,4G1+1,4G2+1,4Q</b>					
<b>Pórtico</b>	<b>PE</b>	<b>PP X VX1</b>	<b>PP X VX2</b>	<b>PP Y VY4</b>	<b>PP Y VY5</b>
Cargas verticais: Peso próprio (tf)	170,82	41,07	41,07	29,04	29,04
Cargas verticais: Adicional (tf)	426,55	45,04	111,73	30,96	76,70
Cargas acidental (tf)	108,64	9,45	32,71	6,71	22,66
Carga total (tf)	706,00	95,57	185,52	66,72	128,41
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b><math>\gamma_z</math> (x)</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b><math>\gamma_z</math> (y)</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Fonte: Elaboração própria (2020).

**Tabela 35 -  $\gamma_z$  para G1+G2+Q+VX**

<b>Coeficiente Gama-z <math>\gamma_z</math> para 1,4G1+1,4G2+0,7Q+1,4VX</b>			
<b>Pórtico</b>	<b>PE</b>	<b>PP X VX1</b>	<b>PP X VX2</b>
Cargas verticais: Peso próprio (tf)	170,82	41,07	41,07
Cargas verticais: Adicional (tf)	426,55	45,04	111,73
Cargas acidental (tf)	108,64	9,45	32,71
Carga total (tf)	706,00	95,57	185,52
Momento de tombamento de cálculo em X (tf.m)	51,33	141,28	28,50
Momento de tombamento de cálculo em Y (tf.m)	91,25	49,70	49,70
Momento de 2a. ordem de cálculo em X (tf.m)	1,45	0,53	0,98
Momento de 2a. ordem de cálculo em Y (tf.m)	2,50	0,00	0,00
<b><math>\gamma_z</math> (x)</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>	<b>1,04</b>
<b><math>\gamma_z</math> (y)</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Fonte: Elaboração própria (2020).

Tabela 36 -  $\gamma_z$  para G1+G2+Q+VY

Coeficiente Gama-z $\gamma_z$ para 1,4G1+1,4G2+0,7Q+1,4VY			
Pórtico	PE	PP Y VY4	PP Y VY5
Cargas verticais: Peso próprio (tf)	170,82	29,04	29,04
Cargas verticais: Adicional (tf)	426,55	30,96	76,70
Cargas acidental (tf)	108,64	6,71	22,66
Carga total (tf)	706,00	66,72	128,41
Momento de tombamento de cálculo em X (tf.m)	51,33	38,03	38,03
Momento de tombamento de cálculo em Y (tf.m)	91,25	49,70	49,70
Momento de 2a. ordem de cálculo em X (tf.m)	1,45	0,48	0,89
Momento de 2a. ordem de cálculo em Y (tf.m)	2,50	0,00	0,00
<b><math>\gamma_z</math> (x)</b>	<b>1,03</b>	<b>1,01</b>	<b>1,02</b>
<b><math>\gamma_z</math> (y)</b>	<b>1,03</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>

Fonte: Elaboração própria (2020).

O maior valor obtido para o coeficiente Gama-z foi no pórtico X, formado pela viga V2, a qual está submetida a um carregamento distribuído maior.

#### 5.4 Análise e discussão dos resultados

Neste tópico serão discutidos e abordados os pontos mais relevantes do trabalho.

##### 5.4.1 Cálculo das reações de apoio das lajes

A utilização de dois métodos diferentes para cada modelo de pórtico validou a análise pelos resultados obtidos, com uma pequena diferença percentual de, aproximadamente, 3,00% para o carregamento permanente e 1,60% para a carga variável, referente ao uso da edificação. Entretanto, contribui para as diferenças obtidas entre os dois modelos.

##### 5.4.2 Análise dos esforços

A comparação dos esforços axiais obtidos, utilizando os valores calculados pela área de influência para o pórtico plano e os gerados pelo Eberick no pórtico espacial serviu muito bem de uma forma simplificada, para a obtenção de resultados próximos ao pórtico espacial ajudando a prever seu comportamento.

Apesar de não ser muito precisa, ao se obter uma diferença percentual de 13,80%, pelo fato de ter considerado os esforços normais de forma análoga para o pórtico plano nas direções X e Y.

Os resultados obtidos para os momentos fletores nos dois modelos de pórticos apresentou um pouco de variação no comportamento da estrutura, o que pode ser explicado pelo carregamento distribuído em cada modelo ser realizado com

metodologias diferentes. Os diagramas do carregamento distribuído das vigas podem ser conferidos no Apêndice B.

Comparando o pórtico espacial com o pórtico plano em X, obteve-se uma diferença percentual maior do que se comparado ao pórtico plano em Y. Contudo, a magnitude dos momentos fletores na direção Y foi maior, o que indica que o carregamento aplicado está gerando uma solicitação maior nessa direção, aumentando os valores para os esforços analisados.

Para os momentos torsores não se obtiveram valores significativos nos pilares do pórtico espacial, o que se deve à redução de rigidez aplicada nas vigas. Esses esforços estão presentes em uma magnitude maior nas vigas, chegando a 0,06 kN.m na cobertura devido ao deslocamento ser maior no topo da estrutura, porém ocorre de uma forma equilibrada. Esse comportamento para os momentos torsores se repete com as demais combinações de carregamentos aplicados.

Já no pórtico plano, não se obtiveram momentos torsores, o que é característico do modelo por não possuir forças aplicadas fora do plano da estrutura.

Na análise dos esforços cortantes obteve-se um mesmo padrão de comportamento ao longo da prumada para os dois modelos estruturais, apesar de se ter obtido uma diferença percentual para o pilar P3 em X igual a 433,33% no pavimento tipo 2. Essa diferença é irrelevante, visto que os valores dos esforços são pequenos. Pode-se observar também, que a magnitude dos esforços cortantes é maior nos pilares onde se apoia a viga V2, a qual tem um carregamento distribuído maior.

As vigas sofreram uma deflexão devido ao carregamento distribuído, o que gerou uma rotação em torno do eixo Z dos pilares nos dois modelos. Os valores dessa rotação são muito pequenos, chegando no topo da estrutura a 2,2 mm para o pórtico espacial e 1,0 mm para o pórtico plano. Esses valores de rotação, mesmo pequenos, justificam os momentos torsores gerados nas vigas.

Na análise realizada incluindo a carga de vento, pode-se observar que os deslocamentos no topo da estrutura foram maiores do que nos pavimentos abaixo, gerando uma deformação da estrutura em formato “S”, devido ao vínculo dos pilares serem engastados. Os valores de deslocamento obtidos para o pórtico plano e espacial foram exatamente iguais, não ocorrendo nenhuma diferença percentual.

Comparando os valores de deslocamentos nas direções adotadas,

observou-se que na direção Y, a estrutura sofreu um deslocamento maior, o que pode ser devido à fachada nessa direção ser menor, proporcionando menos estabilidade.

No geral, a estrutura apresentou o mesmo comportamento para ambos os modelos de pórticos, tanto para o vento em X quanto em Y. Observou-se que, devido à ação dinâmica do vento, os pilares mais solicitados foram os opostos à fachada de incidência desta ação, já que os esforços são transferidos para os elementos na mesma direção em que o vento atua.

Para chegar nos resultados obtidos, a compensação da força do vento, considerando 1/3 da força para o pórtico em X e 1/4 da força para o pórtico em Y, foi fundamental para este estudo. Visto que, no pórtico espacial, a estrutura tem uma rigidez maior do que no pórtico plano, sendo esta proporcional ao número de elementos submetidos ao carregamento imposto no caso da ação do vento.

Ainda a razão da diferença obtida para os esforços gerados nos dois modelos não está clara por falta de um conhecimento mais aprofundado do *software*.

Apesar do cálculo da carga de vento ter sido realizado apenas para conferir os valores obtidos no Eberick, é interessante apontar que os valores obtidos para a força de arrasto no último pavimento são diferentes dos gerados pelo programa no topo da estrutura. Isto ocorreu porque, ao calcular os valores manualmente, a área de influência considerada foi a área total da fachada de um único pavimento para cada  $h_n$  definido. Já o Eberick utiliza para cálculo da força do vento a área de influência da metade de cada pavimento, dessa forma, não existindo parede acima da cobertura, o programa diminui a área de incidência do vento para 50%, fazendo com que a força do vento diminua na mesma proporção, mesmo a pressão dinâmica sendo maior.

Na análise estática linear de primeira ordem obtiveram-se valores de  $\gamma_z \leq 1,10$  (menor igual a 1,10) para todos os modelos de pórticos, portanto a estrutura é considerada de nós fixos, podendo ser dispensada a análise global de efeitos de segunda ordem.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação realizada entre os dois modelos de pórticos, permitiu explorar novas alternativas para a obtenção dos resultados.

As estratégias traçadas durante o desenvolvimento do trabalho, permitiram encontrar uma nova metodologia para a análise do pórtico plano dentro de um software programado para analisar estruturas 3D, sendo possível atingir os objetivos propostos.

Foi possível verificar e validar a hipótese de que o pré-dimensionamento da estrutura, assim como a análise dos dados obtidos com os cálculos teóricos, são muito importantes para se ter um parâmetro de como a estrutura irá se comportar, facilitando a compreensão de como a ferramenta computacional analisa a estrutura.

Durante o desenvolvimento do trabalho, foi possível contribuir com a empresa AltoQi, ao questionar se o Eberick gera relatório dos esforços dos pilares ao longo da prumada automaticamente. Tal questionamento se tornou uma sugestão de melhoria do programa, a qual a equipe do suporte se dispôs a desenvolver nas próximas versões. Essa melhoria iria ajudar no desenvolvimento de estudos como estes no futuro.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que o estudo seja feito utilizando o mesmo método de distribuição de cargas verticais para os dois modelos de pórticos, no intuito de diminuir as diferenças percentuais encontradas. Assim como a comparação dessa distribuição de cargas obtida entre os cálculos teóricos e os gerados pelo Eberick no pórtico espacial.

Recomenda-se também estudar uma forma de obter os esforços axiais para o modelo de pórtico plano com a aplicação da carga de vento nas duas direções.

Outro ponto interessante para abordar em trabalhos futuros, é a realização de uma análise mais aprofundada com o dimensionamento dos elementos, pelo pórtico plano e pórtico espacial, utilizando os métodos teóricos e a ferramenta computacional para a comparação do orçamento de uma obra de construção civil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado**. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. 306 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro, 2019. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:1988**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988. 66 p

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **LAJES DE CONCRETO**. São Paulo: UNESP, 2015. 119 p. NOTAS DE AULA.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **PILARES DE CONCRETO ARMADO**. São Paulo: UNESP - Campus de Bauru/SP, 2017. 104 p. NOTAS DE AULA.

BEER, Ferdinand P. et al. **Estática e Mecânica dos Materiais**. 7. ed. Porto Alegre: Amgh Editora Ltda., 2013. 706 p.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2015. 415 p.

CECCON, Jorge Luiz; LEOPOLDO, Ricardo; FRANÇA, Silva. **ANÁLISE DOS EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM EM PILARES SOLICITADOS A FLEXÃO OBLÍQUA COMPOSTA**. São Paulo. 20 p. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-07112008-105053/publico/Artigo\\_Tese.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3144/tde-07112008-105053/publico/Artigo_Tese.pdf). Acesso em: 29 set. 2020.

COLUCCI, Pietro. **Pré-dimensionamento de estruturas de concreto armado**. São Paulo, 14 mar. 2019. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/pr%C3%A9-dimensionamento-estrutura-de-concreto-armado-pietro-colucci/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 09 set. 2020.

CRUZ, Gustavo Guimarães; SOUZA, Calebe Paiva Gomes de. **Análise Comparativa das Teorias de Euler-Bernoulli e Timoshenko** via Método das Diferenças Finitas com Implementação Computacional em Scilab. Revista Tecnologia, [s.l.], v. 39, n. 1, p.1-12, 29 jun. 2018. Fundacao Edson Queiroz. <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2018.7916>. Disponível em: <<https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/7916>>. Acesso em: 06 out. 2019.

ELLWANGER, Ronald José. **A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO EM ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE EDIFÍCIOS**. Revista de Ensino de Engenharia, V. 24, N. 1, P. 23-32, 2005, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjuzay8l4jtAhXYIbkGHQ2KDPgQFjAAegQIBxAC&url=http%3A%2F%2Frevista.educacao.ws%2Frevista%2Findex.php%2Fabenge%2Farticle%2Fdownload%2F21%2F3&usg=AOvVaw0xEkwLm21GMWhvLDbRp8v2>. Acesso em: 02 out. 2020.

FACHIN, Odilia. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2005. 206 p. Disponível em: <<http://maratavarespsictics.pbworks.com/w/file/74302802/FACHIN-Odilia-fundamentos-de-Metodologia.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2019.

FONTES, Fernanado Fernandes. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE ELEMENTOS LINEARES**: Segundo a NBR 6118:2003. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2005.

FRANÇA JUNIOR, Davidson de Oliveira. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO COM QUATRO PAVIMENTOS**: ESTUDO DE CASO PARA DIFERENTES MODELOS ESTRUTURAIS. 2015. 122 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. Disponível em: <[http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](http://www.urca.br/itec/images/pdfs/modulo%20v%20-%20como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf)>. Acesso em: 26 out. 2019.

IGLESIA, Socrate Muñoz. **O efeito P-Delta nas estruturas de edifícios.** Florianópolis: Altoqi, 2016. 22 p. Disponível em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/wp-content/uploads/2016/08/Ebook-O-Efeito-P-Delta.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2019.

KOERICH, Rodrigo Broering; PACHECO, Adriano. Eberick: **Projeto Estrutural em Concreto Armado.** Florianópolis: Qisat, 2019. 204 p.

LAROVERE, Henriette Lebre; MORAES, Poliana Dias de. **ANÁLISE ESTRUTURAL II.** Florianópolis: Ufsc, 2005. 195 p.

MARINO, M. A.. **Concreto Armado:** lajes maciças de concreto armado. Paraná: UFPR, 2005. 80 p. Cópia adaptada da publicação LAJES USUAIS DE CONCRETO ARMADO de Roberto Dalledone Machado.

MARTHA, Luiz Fernando. **MÉTODOS BÁSICOS DA ANÁLISE DE ESTRUTURAS.** Rio de Janeiro: Puc-rio, 2017. 318 p. Disponível em: <[https://www.academia.edu/9708589/M%C3%89TODOS\\_B%C3%81SICOS\\_DA\\_AN%C3%81LISE\\_DE\\_ESTRUTURAS](https://www.academia.edu/9708589/M%C3%89TODOS_B%C3%81SICOS_DA_AN%C3%81LISE_DE_ESTRUTURAS)>. Acesso em: 03 set. 2019.

MARTINS, Jaime Florencio. **Influência da inercia de rotação e da força cortante nas frequências naturais e na resposta dinâmica de estruturas de barras.** 1998. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1998.

MCCORMAC, Jack C.. **Análise Estrutural:** Usando Métodos Clássicos e Métodos Matriciais. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc Editora, 2014. 482 p.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

MONTEIRO, Marcos. **Softwares transformam a engenharia estrutural.** 2009. Jornalista responsável Altair Santos. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/softwares-transformam-a-engenharia-estrutural/>>. Acesso em: 16 nov. 2019.

MOURA, José de. Estabilidade global simplificada: parâmetro  $\alpha$ . 2020. José de Moura. Disponível em: <https://www.guiadaengenharia.com/parametro-alfa-estabilidade-global/>. Acesso em: 23 ago. 2020.

**QISUPORTE. Quais opções de análise ao processar uma estrutura no Eberick?:** Análise estática linear. 2018. LUIS FILIPE LONGO. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360008798134-Quais-op%C3%A7%C3%B5es-de-an%C3%A1lise-ao-processar-uma-estrutura-no-Eberick->>. Acesso em: 25 ago. 2019.

RIBEIRO, Iara Souza et al. ANÁLISE LINEAR ELÁSTICA DE PÓRTICOS ESPACIAIS. **SIMMEC/EMMCOMP** 2014, Minas Gerais, 28 maio 2014.

## APÊNDICE A – Esforços dos pilares

### PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM X: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01
TIPO1	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03
TIPO 2	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,18	0,00	0,18	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,05
COBERTURA	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00	0,22	0,00	0,22	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,06
PÓRTICO PLANO X: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
TIPO1	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02
TIPO 2	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03
COBERTURA	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03
PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	0,00	428,64	0,00	781,86	0,00	781,86	0,00	468,64	0,00	869,42	0,00	1651,61	0,00	1651,61	0,00	869,42	0,00	428,64	0,00	781,86	0,00	781,86	0,00	428,64
TÉRREO	0,00	346,29	0,00	626,41	0,00	626,41	0,00	346,29	0,00	695,45	0,00	1317,55	0,00	1317,55	0,00	869,42	0,00	346,29	0,00	626,41	0,00	626,41	0,00	346,29
TIPO1	0,00	255,03	0,00	462,26	0,00	462,26	0,00	255,03	0,00	513,48	0,00	976,65	0,00	976,65	0,00	513,48	0,00	255,03	0,00	462,26	0,00	462,26	0,00	255,03
TIPO 2	0,00	163,18	0,00	297,70	0,00	297,71	0,00	163,18	0,00	331,65	0,00	637,60	0,00	637,60	0,00	331,65	0,00	163,18	0,00	297,71	0,00	297,71	0,00	163,18
COBERTURA	0,00	70,78	0,00	132,55	0,00	132,55	0,00	70,78	0,00	149,79	0,00	300,90	0,00	300,90	0,00	149,79	0,00	70,78	0,00	132,55	0,00	132,55	0,00	70,78

PÓRTICO PLANO X: Esforços Axiais (Kn)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	0,00	251,70	0,00	417,26	0,00	417,26	0,00	251,70	0,00	472,03	0,00	826,59	0,00	826,59	0,00	472,03	0,00	251,70	0,00	417,26	0,00	417,26	0,00	251,70
TÉRREO	0,00	205,96	0,00	336,02	0,00	336,02	0,00	205,96	0,00	382,26	0,00	663,46	0,00	663,46	0,00	382,26	0,00	205,96	0,00	336,02	0,00	336,02	0,00	205,96
TIPO1	0,00	151,92	0,00	246,72	0,00	246,72	0,00	151,92	0,00	284,04	0,00	492,39	0,00	492,39	0,00	284,04	0,00	151,92	0,00	246,72	0,00	246,72	0,00	151,92
TIPO 2	0,00	97,76	0,00	157,52	0,00	157,52	0,00	97,76	0,00	185,59	0,00	321,56	0,00	321,56	0,00	185,59	0,00	97,76	0,00	157,52	0,00	157,52	0,00	97,76
COBERTURA	0,00	68,44	0,00	68,44	0,00	68,44	0,00	43,50	0,00	86,75	0,00	151,12	0,00	151,12	0,00	86,75	0,00	68,44	0,00	68,44	0,00	68,44	0,00	43,50
PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Fletores kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	-6,88	-7,23	0,74	-14,73	-0,74	-14,73	6,88	-7,23	17,13	0,00	-2,76	0,00	2,76	0,00	17,13	0,00	6,88	-7,23	-0,74	-14,73	0,74	-14,73	6,88	7,23
TÉRREO	-14,44	-14,97	0,34	-30,48	-0,34	-30,48	14,44	-14,97	35,73	0,00	-2,41	0,00	2,41	0,00	35,73	0,00	14,44	-14,97	-0,34	-30,48	0,34	-30,48	14,44	14,97
TIPO1	-15,28	-1,08	0,33	-32,74	-0,33	-32,74	15,28	-16,08	37,79	0,00	-2,36	0,00	2,36	0,00	37,79	0,00	15,28	-14,97	-0,33	-32,74	0,33	-32,74	15,28	16,08
TIPO 2	-15,42	-16,25	-0,24	-32,75	0,24	-32,75	15,42	-16,25	37,70	0,00	-0,77	0,00	0,77	0,00	37,70	0,00	15,42	-16,25	0,24	-32,75	-0,24	-32,75	15,42	16,25
COBERTURA	-16,88	-17,89	0,27	-38,22	-0,27	-38,22	16,88	-17,89	43,56	0,00	-2,74	0,00	2,74	0,00	43,56	0,00	16,88	-17,89	0,27	-38,22	0,27	-38,22	16,88	17,89
PÓRTICO PLANO X: Momentos Fletores (kN.m)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	-6,80	0,00	0,80	0,00	-0,80	0,00	6,80	0,00	15,12	0,00	-2,78	0,00	2,78	0,00	15,12	0,00	-6,80	0,00	0,80	0,00	-0,80	0,00	6,80	0,00
TÉRREO	-14,22	0,00	0,52	0,00	-0,52	0,00	14,22	0,00	31,47	0,00	-2,99	0,00	2,99	0,00	31,47	0,00	-14,22	0,00	0,52	0,00	-0,52	0,00	14,22	0,00
TIPO1	-14,82	0,00	0,75	0,00	-0,75	0,00	14,82	0,00	32,88	0,00	-3,69	0,00	3,69	0,00	32,88	0,00	-14,82	0,00	0,75	0,00	-0,75	0,00	14,82	0,00
TIPO 2	-14,82	0,00	0,31	0,00	-0,31	0,00	14,82	0,00	32,53	0,00	-2,43	0,00	2,43	0,00	32,53	0,00	-14,82	0,00	0,31	0,00	-0,31	0,00	14,82	0,00
COBERTURA	-15,86	0,00	1,03	0,00	-1,03	0,00	15,86	0,00	37,23	0,00	-4,74	0,00	4,74	0,00	37,23	0,00	-15,86	0,00	1,03	0,00	-1,03	0,00	15,86	0,00

PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Torsores kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 2	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
COBERTURA	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,02
PÓRTICO PLANO X: Momentos Torsores (kN.m)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	14,73	15,38	-1,20	31,33	1,20	31,33	-14,73	15,38	-36,62	0,00	4,89	0,00	-4,89	0,00	-36,62	0,00	-14,73	15,38	1,20	31,33	-1,20	31,33	-14,73	-15,38
TÉRREO	10,52	10,94	-0,23	22,26	0,23	22,26	-10,52	10,94	-26,01	0,00	1,65	0,00	-1,65	0,00	-26,01	0,00	-10,52	10,94	0,23	22,26	-0,23	22,26	-10,52	-10,94
TIPO1	10,98	11,57	-0,21	23,62	0,21	23,62	-10,98	11,57	-27,23	0,00	1,69	0,00	-1,69	0,00	-27,23	0,00	-10,98	11,57	0,21	23,62	-0,21	23,62	-10,98	-11,57
TIPO 2	10,82	11,36	0,30	22,48	-0,30	22,48	-10,82	11,36	-25,90	0,00	0,11	0,00	-0,11	0,00	-25,90	0,00	-10,82	11,36	-0,30	22,48	0,30	22,48	-10,82	-11,36
COBERTURA	13,44	14,53	-0,41	32,79	0,41	32,79	-13,44	14,53	-37,49	0,00	2,87	0,00	-2,87	0,00	-37,49	0,00	-13,44	14,53	0,41	32,79	-0,41	32,79	-13,44	-14,53

PÓRTICO PLANO X: Esforços Cortantes (kN)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	
BALDRAME	14,59	0,00	-1,37	0,00	1,31	0,00	-14,59	0,00	-32,38	0,00	4,98	0,00	-4,98	0,00	-32,38	0,00	14,59	0,00	-1,37	0,00	1,31	0,00	-14,59	0,00
TÉRREO	10,33	0,00	-0,39	0,00	0,39	0,00	-10,33	0,00	-22,85	0,00	2,20	0,00	-2,20	0,00	-22,85	0,00	10,33	0,00	-0,39	0,00	0,39	0,00	-10,33	0,00
TIPO1	10,63	0,00	-0,53	0,00	0,53	0,00	-10,63	0,00	-23,66	0,00	2,67	0,00	-2,67	0,00	-23,66	0,00	10,63	0,00	-0,53	0,00	0,53	0,00	-10,63	0,00
TIPO 2	10,40	0,00	-0,09	0,00	0,09	0,00	-10,40	0,00	-22,36	0,00	1,31	0,00	-1,31	0,00	-22,36	0,00	10,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-10,40	0,00
COBERTURA	12,71	0,00	-1,06	0,00	1,06	0,00	-12,71	0,00	-31,85	0,00	4,54	0,00	-4,54	0,00	-31,85	0,00	12,71	0,00	-1,06	0,00	1,06	0,00	-12,71	0,00

PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM Y: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01
TIPO1	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03
TIPO 2	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,18	0,00	0,18	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,05
COBERTURA	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00	0,22	0,00	0,22	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,06

PÓRTICO PLANO Y: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
TIPO1	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00	0,02
TIPO 2	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,03
COBERTURA	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,11	0,00	0,11	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,03

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,00	428,6 4	0,00	781,8 6	0,00	781,8 6	0,00	468,6 4	0,00	869,4 2	0,00	1651,6 1	0,00	1651,6 1	0,00	869,4 2	0,00	428,6 4	0,00	781,8 6	0,00	781,8 6	0,00	428,6 4
TÉRREO	0,00	346,2 9	0,00	626,4 1	0,00	626,4 1	0,00	346,2 9	0,00	695,4 5	0,00	1317,5 5	0,00	1317,5 5	0,00	869,4 2	0,00	346,2 9	0,00	626,4 1	0,00	626,4 1	0,00	346,2 9
TIPO1	0,00	255,0 3	0,00	462,2 6	0,00	462,2 6	0,00	255,0 3	0,00	513,4 8	0,00	976,65	0,00	976,55	0,00	513,4 8	0,00	255,0 3	0,00	462,2 6	0,00	462,2 6	0,00	255,0 3
TIPO 2	0,00	163,1 8	0,00	297,7 0	0,00	297,7 1	0,00	163,1 8	0,00	331,6 5	0,00	637,60	0,00	637,60	0,00	331,6 5	0,00	163,1 8	0,00	297,7 1	0,00	297,7 1	0,00	163,1 8
COBERTURA	0,00	70,78	0,00	132,5 5	0,00	132,5 5	0,00	70,78	0,00	149,7 9	0,00	300,90	0,00	300,90	0,00	149,7 9	0,00	70,78	0,00	132,5 5	0,00	132,5 5	0,00	70,78
PÓRTICO PLANO Y: Esforços axiais (kN)																								
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	
BALDRAME	251,9 6	0,00	465,7 3	0,00	465,7 3	0,00	251,9 6	0,00	430,1 0	0,00	866,2 0	0,00	866,2 0	0,00	430,1 0	0,00	251,9 6	0,00	465,7 3	0,00	465,7 3	0,00	251,9 6	0,00
TÉRREO	206,2 2	0,00	377,3 4	0,00	377,3 4	0,00	206,2 2	0,00	346,2 3	0,00	649,9 0	0,00	649,9 0	0,00	346,2 3	0,00	206,2 2	0,00	377,3 4	0,00	377,3 4	0,00	206,2 2	0,00
TIPO1	152,1 5	0,00	280,4 5	0,00	280,4 5	0,00	152,1 5	0,00	254,4 2	0,00	516,0 2	0,00	516,0 2	0,00	254,4 2	0,00	152,1 5	0,00	280,4 5	0,00	280,4 5	0,00	152,1 5	0,00
TIPO 2	97,96	0,00	183,2 9	0,00	183,2 9	0,00	97,96	0,00	162,8 8	0,00	337,6 8	0,00	337,6 8	0,00	162,8 8	0,00	97,96	0,00	183,2 9	0,00	183,2 9	0,00	97,96	0,00
COBERTURA	43,60	0,00	85,56	0,00	85,56	0,00	43,60	0,00	71,68	0,00	160,4 8	0,00	160,4 8	0,00	71,68	0,00	4,60	0,00	85,56	0,00	85,56	0,00	4,60	0,00

PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Fletores kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	-6,88	-7,23	0,00	-14,73	0,00	-14,73	6,88	-7,23	17,13	0,00	-2,76	0,00	2,76	0,00	17,13	0,00	6,88	-7,23	-0,74	-14,73	0,74	-14,73	6,88	7,23
TÉRREO	-14,44	-14,97	0,00	-30,48	0,00	-30,48	14,44	-14,97	35,73	0,00	-2,41	0,00	2,41	0,00	35,73	0,00	14,44	-14,97	-0,34	-30,48	0,34	-30,48	14,44	14,97
TIPO1	-15,28	-1,08	0,00	-32,74	0,00	-32,74	15,28	-16,08	37,79	0,00	-2,36	0,00	2,36	0,00	37,79	0,00	15,28	-14,97	-0,33	-32,74	0,33	-32,74	15,28	16,08
TIPO 2	-15,42	-16,25	0,00	-32,75	0,00	-32,75	15,42	-16,25	37,70	0,00	-0,77	0,00	0,77	0,00	37,70	0,00	15,42	-16,25	0,24	-32,75	-0,24	-32,75	15,42	16,25
COBERTURA	-16,88	-17,89	0,00	-38,22	0,00	-38,22	16,88	-17,89	43,56	0,00	-2,74	0,00	2,74	0,00	43,56	0,00	16,88	-17,89	0,27	-38,22	0,27	-38,22	16,88	17,89



PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	14,73	15,38	-1,20	31,33	1,20	31,33	-14,73	15,38	-36,62	0,00	4,89	0,00	-4,89	0,00	-36,62	0,00	-14,73	15,38	1,20	31,33	-1,20	31,33	-14,73	-15,38
TÉRREO	10,52	10,94	-0,23	22,26	0,23	22,26	-10,52	10,94	-26,01	0,00	1,65	0,00	-1,65	0,00	-26,01	0,00	-10,52	10,94	0,23	22,26	-0,23	22,26	-10,52	-10,94
TIPO1	10,98	11,57	-0,21	23,62	0,21	23,62	-10,98	11,57	-27,23	0,00	1,69	0,00	-1,69	0,00	-27,23	0,00	-10,98	11,57	0,21	23,62	-0,21	23,62	-10,98	-11,57
TIPO 2	10,82	11,36	0,30	22,48	-0,30	22,48	-10,82	11,36	-25,90	0,00	0,11	0,00	-0,11	0,00	-25,90	0,00	-10,82	11,36	-0,30	22,48	0,30	22,48	-10,82	-11,36
COBERTURA	13,44	14,53	-0,41	32,79	0,41	32,79	-13,44	14,53	-37,49	0,00	2,87	0,00	-2,87	0,00	-37,49	0,00	-13,44	14,53	0,41	32,79	-0,41	32,79	-13,44	-14,53
PÓRTICO PLANO Y: Esforços Cortantes (kN)																								
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	15,19	0,00	33,05	0,00	33,05	0,00	15,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,19	0,00	33,05	0,00	33,05	0,00	15,19	0,00
TÉRREO	10,67	0,00	23,20	0,00	23,20	0,00	10,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,67	0,00	23,20	0,00	23,20	0,00	10,67	0,00
TIPO1	11,04	0,00	23,20	0,00	23,20	0,00	11,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,04	0,00	24,15	0,00	24,15	0,00	11,04	0,00
TIPO 2	10,76	0,00	22,74	0,00	22,74	0,00	10,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,76	0,00	22,74	0,00	22,74	0,00	10,76	0,00
COBERTURA	13,37	0,00	32,91	0,00	32,91	0,00	13,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,37	0,00	32,91	0,00	32,91	0,00	13,37	0,00

PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM X: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q+VX+

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																									
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
TÉRREO	-0,03	0,01	-0,03	0,02	-0,03	0,02	-0,02	0,01	-0,03	0,02	-0,03	0,05	-0,02	0,05	-0,02	0,03	-0,03	0,01	-0,03	0,02	-0,03	0,02	-0,02	0,01	
TIPO 1	-0,15	0,03	-0,15	0,06	-0,15	0,06	-0,15	0,03	-0,15	0,06	-0,15	0,12	-0,15	0,12	-0,15	0,06	-0,15	0,03	-0,15	0,06	-0,15	0,06	-0,15	0,03	
TIPO 2	-0,28	0,04	-0,28	0,08	-0,28	0,08	-0,28	0,05	-0,28	0,09	-0,28	0,17	-0,28	0,17	-0,28	0,09	-0,28	0,04	-0,28	0,08	-0,28	0,08	0,28	0,05	
COBERTURA	-0,37	0,05	-0,37	0,10	-0,37	0,09	-0,37	0,05	-0,37	0,10	-0,37	0,20	-0,37	0,20	-0,37	0,11	-0,37	0,05	0,37	0,10	-0,37	0,09	-0,37	0,05	
TOPO	-0,42	0,08	-0,42	0,14	-0,41	0,19	-0,41	0,09	-0,42	0,15	-0,41	0,22	-0,41	0,26	-0,42	0,11	-0,41	0,05	-0,41	0,10	-0,41	0,10	-0,41	0,10	

PÓRTICO PLANO X : Deslocamento (cm)																										
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12			
	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z		
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TÉRREO	-0,03	0,01	-0,03	0,01	-0,03	0,01	-0,02	0,01	-0,03	0,01	-0,03	0,02	-0,02	0,02	-0,02	0,01	-0,03	0,01	-0,03	0,01	-0,03	0,01	-0,02	0,01	-0,02	0,01
TIPO 1	-0,15	0,02	-0,15	0,03	-0,15	0,01	-0,15	0,02	-0,15	0,03	-0,15	0,06	-0,15	0,06	-0,15	0,03	-0,15	0,02	-0,15	0,03	-0,15	0,01	-0,15	0,02	-0,15	0,02
TIPO 2	-0,28	0,02	-0,28	0,04	-0,28	0,04	-0,28	0,03	-0,28	0,05	-0,28	0,08	-0,28	0,08	-0,28	0,05	-0,28	0,02	-0,28	0,04	-0,28	0,04	-0,28	0,04	-0,28	0,03
COBERTURA	-0,37	0,03	-0,37	0,05	-0,37	0,05	-0,37	0,03	-0,37	0,06	-0,37	0,10	-0,37	0,10	-0,37	0,06	-0,37	0,03	-0,37	0,05	-0,37	0,05	-0,37	0,05	-0,37	0,03
TOPO	-0,41	0,03	-0,41	0,05	-0,41	0,05	-0,41	0,03	-0,41	0,06	-0,41	0,11	-0,41	0,11	-0,42	0,06	-0,41	0,03	-0,41	0,05	-0,41	0,05	-0,41	0,05	-0,41	0,03

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																									
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12		
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,00	389,35	0,00	725,79	0,00	722,02	0,00	420,35	0,00	790,37	0,00	1500,29	0,00	1496,52	0,00	821,37	0,00	389,35	0,00	725,79	0,00	722,02	0,00	420,35	0,00
TÉRREO	0,00	314,94	0,00	581,49	0,00	578,48	0,00	339,39	0,00	632,40	0,00	1196,78	0,00	1193,77	0,00	656,85	0,00	314,94	0,00	581,49	0,00	578,48	0,00	339,39	0,00
TIPO 1	0,00	233,31	0,00	428,27	0,00	426,55	0,00	248,01	0,00	468,05	0,00	885,91	0,00	884,19	0,00	482,75	0,00	233,31	0,00	428,27	0,00	456,55	0,00	248,01	0,00
TIPO 2	0,00	150,18	0,00	274,86	0,00	274,09	0,00	157,03	0,00	302,87	0,00	576,86	0,00	576,09	0,00	309,72	0,00	150,18	0,00	274,86	0,00	426,55	0,00	157,03	0,00
COBERTURA	0,00	64,97	0,00	121,16	0,00	120,87	0,00	67,17	0,00	136,09	0,00	270,09	0,00	269,81	0,00	138,28	0,00	64,97	0,00	121,16	0,00	120,87	0,00	67,17	0,00
TOPO	0,00	48,59	0,00	104,78	0,00	104,49	0,00	50,79	0,00	119,71	0,00	253,72	0,00	253,43	0,00	121,91	0,00	48,59	0,00	104,78	0,00	104,49	0,00	50,79	0,00

PÓRTICO PLANO X : Esforços Axiais (kN)																									
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12		
	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	
BALDRAME	0,00	224,62	0,00	397,65	0,00	393,88	0,00	255,60	0,00	416,48	0,00	754,04	0,00	750,27	0,00	447,46	0,00	224,62	0,00	397,65	0,00	393,88	0,00	255,60	0,00
TÉRREO	0,00	184,47	0,00	320,34	0,00	317,33	0,00	208,91	0,00	337,99	0,00	605,42	0,00	602,41	0,00	362,42	0,00	184,47	0,00	320,34	0,00	317,33	0,00	208,91	0,00
TIPO 1	0,00	137,62	0,00	234,68	0,00	232,96	0,00	152,31	0,00	252,68	0,00	448,58	0,00	446,86	0,00	267,36	0,00	137,62	0,00	234,68	0,00	232,96	0,00	152,31	0,00
TIPO 2	0,00	89,72	0,00	149,29	0,00	148,53	0,00	96,57	0,00	166,20	0,00	292,11	0,00	291,35	0,00	173,05	0,00	89,72	0,00	149,29	0,00	148,53	0,00	96,57	0,00
COBERTURA	0,00	40,13	0,00	64,24	0,00	63,95	0,00	42,32	0,00	77,79	0,00	136,23	0,00	135,94	0,00	79,98	0,00	40,13	0,00	64,24	0,00	63,95	0,00	42,32	0,00
TOPO	0,00	22,49	0,00	46,60	0,00	46,32	0,00	24,68	0,00	60,15	0,00	118,59	0,00	118,56	0,00	62,34	0,00	22,49	0,00	46,60	0,00	46,32	0,00	24,68	0,00

PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Fletores kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	8,81	-6,77	17,54	-13,30	16,26	-13,30	21,68	-6,77	0,37	0,00	-19,60	0,00	-14,19	0,00	30,87	0,00	-8,81	-6,77	-17,54	-13,30	-16,26	-13,30	21,68	6,77
TÉRREO	-0,87	-14,00	16,68	-27,50	16,21	-27,50	26,13	-14,00	19,92	0,00	-18,98	0,00	-13,90	0,00	45,18	0,00	0,87	-14,00	-16,68	-27,50	-16,21	-27,50	26,13	14,00
TIPO 1	-9,19	-15,02	10,66	-29,53	10,21	-29,53	19,36	-15,02	29,32	0,00	-12,94	0,00	-7,93	0,00	39,49	0,00	9,19	-15,02	-10,66	-29,53	-10,21	-29,53	19,36	15,02
TIPO 2	-12,89	-15,19	4,86	-29,55	5,42	-29,55	15,94	-15,19	32,79	0,00	-6,22	0,00	-4,06	0,00	35,84	0,00	12,89	-15,19	-4,86	-29,55	-5,42	-29,55	15,94	15,19
COBERTURA	16,44	-16,58	1,38	-34,28	1,04	-34,28	14,45	-16,58	40,48	0,00	-6,22	0,00	1,74	0,00	38,49	0,00	16,44	-16,58	-1,38	-34,28	-1,04	-34,28	14,45	16,58
TOPO	13,99	20,78	-5,20	47,60	-3,93	47,60	-19,29	20,78	-52,98	0,00	10,48	0,00	-0,45	0,00	-58,17	0,00	-16,33	20,78	5,71	47,60	4,31	47,60	-21,89	-20,78
PÓRTICO PLANO X : Momentos Fletores (kN.m)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	8,87	0,00	17,58	0,00	16,19	0,00	21,60	0,00	-1,63	0,00	-19,30	0,00	-14,47	0,00	28,85	0,00	8,87	0,00	17,58	0,00	16,19	0,00	21,60	0,00
TÉRREO	-0,70	0,00	16,82	0,00	16,04	0,00	25,94	0,00	15,72	0,00	-18,97	0,00	-13,89	0,00	40,96	0,00	-0,70	0,00	16,82	0,00	16,04	0,00	25,94	0,00
TIPO 1	-8,79	0,00	11,02	0,00	9,84	0,00	18,95	0,00	24,21	0,00	-13,59	0,00	-7,27	0,00	34,68	0,00	-8,79	0,00	11,02	0,00	9,84	0,00	18,95	0,00
TIPO 2	-12,37	0,00	5,34	0,00	4,94	0,00	15,41	0,00	27,79	0,00	-7,18	0,00	-3,09	0,00	30,83	0,00	-12,37	0,00	5,34	0,00	4,94	0,00	15,41	0,00
COBERTURA	15,73	0,00	2,04	0,00	0,38	0,00	13,74	0,00	34,34	0,00	-5,28	0,00	2,86	0,00	32,35	0,00	-15,73	0,00	2,04	0,00	0,38	0,00	13,74	0,00
TOPO	15,24	0,00	-6,63	0,00	-3,38	0,00	-20,79	0,00	-43,30	0,00	11,89	0,00	-1,87	0,00	-48,06	0,00	15,24	0,00	-6,63	0,00	-3,38	0,00	-20,79	0,00
PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Torsões kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 2	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
COBERTURA	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,02

PÓRTICO PLANO X : Momentos Torsores (kN.m)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
COBERTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	6,62	14,39	-11,50	28,28	-9,46	28,28	-20,93	14,39	-26,22	0,00	15,32	0,00	5,63	0,00	-40,54	0,00	-6,62	14,39	11,50	28,28	9,46	28,28	-20,93	29,24
TÉRREO	2,80	10,32	-10,31	20,09	-10,00	20,09	-16,88	10,23	-16,65	0,00	11,90	0,00	8,40	0,00	-30,74	0,00	-2,80	10,23	10,31	20,09	10,00	20,09	-16,88	-10,23
TIPO 1	5,49	10,80	-8,52	21,30	-8,25	21,30	-15,02	10,80	-20,02	0,00	10,18	0,00	6,59	0,00	-29,55	0,00	-5,49	10,80	8,52	21,30	8,25	21,30	-15,02	-10,80
TIPO 2	7,17	10,64	-4,99	20,33	-5,61	20,33	-13,10	10,64	-20,64	0,00	5,66	0,00	4,94	0,00	-26,57	0,00	-7,17	10,64	4,99	20,33	5,61	20,33	-13,10	-10,64
COBERTURA	11,70	13,34	-2,53	29,24	-1,91	29,24	-12,98	13,34	-33,22	0,00	5,23	0,00	-0,78	0,00	-34,49	0,00	-11,40	13,34	2,53	29,24	1,91	29,24	-12,98	-13,34
PÓRTICO PLANO X : Esforços Cortantes (kN)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	6,50	0,00	-11,59	0,00	-9,36	0,00	-20,81	0,00	-21,99	0,00	14,79	0,00	6,16	0,00	-36,30	0,00	6,50	0,00	-11,59	0,00	-9,36	0,00	-20,81	0,00
TÉRREO	2,63	0,00	-10,45	0,00	-9,85	0,00	-16,71	0,00	-13,54	0,00	12,02	0,00	8,28	0,00	-27,61	0,00	2,63	0,00	-10,45	0,00	-9,85	0,00	-16,71	0,00
TIPO 1	5,19	0,00	-8,80	0,00	-7,97	0,00	-14,71	0,00	-16,53	0,00	10,66	0,00	6,11	0,00	-26,05	0,00	5,19	0,00	-8,80	0,00	-7,97	0,00	-14,71	0,00
TIPO 2	6,81	0,00	-5,33	0,00	-5,27	0,00	-12,73	0,00	-17,22	0,00	6,39	0,00	4,21	0,00	-23,15	0,00	6,81	0,00	-5,33	0,00	-5,27	0,00	-12,73	0,00
COBERTURA	11,06	0,00	-3,10	0,00	-1,34	0,00	-12,34	0,00	-27,73	0,00	6,13	0,00	-1,69	0,00	-23,15	0,00	11,06	0,00	-3,10	0,00	-1,34	0,00	-12,34	0,00

## PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM X: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q+VX-

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01
TIPO 1	0,15	0,03	0,15	0,06	0,15	0,06	0,15	0,03	0,15	0,06	0,15	0,12	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,03	0,15	0,06	0,15	0,06	0,15	0,03
TIPO 2	0,28	0,05	0,28	0,08	0,28	0,08	0,28	0,04	0,28	0,09	0,28	0,17	0,28	0,17	0,28	0,09	0,28	0,05	0,28	0,08	0,28	0,08	0,28	0,04
COBERTURA	0,37	0,05	0,37	0,09	0,37	0,10	0,37	0,10	0,37	0,11	0,37	0,20	0,37	0,20	0,37	0,10	0,37	0,05	0,37	0,09	0,37	0,10	0,37	0,05
TOPO	0,41	0,12	0,42	0,21	0,42	0,27	0,41	0,05	0,41	0,16	0,41	0,32	0,42	0,21	0,41	0,11	0,41	0,06	0,41	0,10	0,41	0,10	0,41	0,05
PÓRTICO PLANO X: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
TIPO 1	0,15	0,02	0,15	0,03	0,15	0,03	0,15	0,02	0,15	0,03	0,15	0,06	0,15	0,06	0,15	0,03	0,15	0,02	0,15	0,03	0,15	0,03	0,15	0,02
TIPO 2	0,28	0,03	0,28	0,04	0,28	0,04	0,28	0,02	0,28	0,05	0,28	0,08	0,28	0,08	0,28	0,05	0,28	0,03	0,28	0,04	0,28	0,04	0,28	0,02
COBERTURA	0,37	0,03	0,37	0,05	0,37	0,05	0,37	0,03	0,37	0,06	0,37	0,10	0,37	0,10	0,37	0,06	0,37	0,03	0,37	0,05	0,37	0,05	0,37	0,03
TOPO	0,41	0,03	0,41	0,05	0,41	0,05	0,41	0,03	0,41	0,06	0,41	0,11	0,42	0,11	0,41	0,06	0,41	0,03	0,41	0,05	0,41	0,05	0,41	0,03

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,0 0	420,3 5	0,0 0	722,0 2	0,0 0	725,7 9	0,0 0	389,3 5	0,00	821,3 7	0,00	1496,5 2	0,00	1500,2 9	0,00	790,3 7	0,0 0	420,3 5	0,0 0	722,0 2	0,0 0	725,7 9	0,0 0	389,3 5
TÉRREO	0,0 0	339,3 9	0,0 0	578,4 8	0,0 0	581,4 9	0,0 0	314,9 4	0,00	656,8 5	0,00	1193,7 7	0,00	1196,7 8	0,00	632,4 0	0,0 0	339,3 9	0,0 0	578,4 8	0,0 0	581,4 9	0,0 0	314,9 4
TIPO 1	0,0 0	248,0 1	0,0 0	426,5 5	0,0 0	428,2 7	0,0 0	233,3 1	0,00	482,7 5	0,00	884,19	0,00	885,91	0,00	468,0 5	0,0 0	248,0 1	0,0 0	426,5 5	0,0 0	428,2 7	0,0 0	233,3 1
TIPO 2	0,0 0	157,0 3	0,0 0	274,0 9	0,0 0	274,8 6	0,0 0	150,1 8	0,00	309,7 2	0,00	576,09	0,00	576,86	0,00	302,8 7	0,0 0	157,0 3	0,0 0	274,0 9	0,0 0	274,8 6	0,0 0	150,1 8
COBERTURA	0,0 0	67,17	0,0 0	120,8	0,0 0	121,1 6	0,0 0	64,97	0,00	138,2 8	0,00	269,81	0,00	270,09	0,00	136,0 9	0,0 0	67,17	0,0 0	120,8	0,0 0	121,1 6	0,0 0	64,97
TOPO	0,0 0	49,53	0,0 0	103,2 3	0,0 0	103,5 2	0,0 0	47,33	0,00	121,9 1	0,00	252,17	0,00	252,46	0,00	119,7 1	0,0 0	49,53	0,0 0	104,4 9	0,0 0	103,7 8	0,0 0	48,59
PÓRTICO PLANO X : Esforços Axiais (kN)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	
BALDRAME	0,0 0	255,6 0	0,0 0	393,8 8	0,0 0	397,6 5	0,0 0	224,6 2	447,4 6	0,00	750,2 7	0,00	754,0 4	0,00	416,4 8	0,00	0,0 0	255,6 0	0,0 0	393,8 8	0,0 0	397,6 5	0,0 0	224,6 2
TÉRREO	0,0 0	208,9 1	0,0 0	317,3 3	0,0 0	320,3 4	0,0 0	184,4 7	362,4 2	0,00	602,4 1	0,00	605,4 2	0,00	337,9 9	0,00	0,0 0	208,9 1	0,0 0	317,3 3	0,0 0	320,3 4	0,0 0	184,4 7
TIPO 1	0,0 0	152,3 1	0,0 0	232,9 6	0,0 0	234,6 8	0,0 0	137,6 2	367,3 6	0,00	446,8 6	0,00	448,5 8	0,00	252,6 8	0,00	0,0 0	152,3 1	0,0 0	232,9 6	0,0 0	234,6 8	0,0 0	137,6 2
TIPO 2	0,0 0	96,57	0,0 0	148,5 3	0,0 0	149,2 9	0,0 0	89,72	173,0 5	0,00	291,3 5	0,00	292,1 1	0,00	166,2 0	0,00	0,0 0	96,57	0,0 0	148,5 3	0,0 0	149,2 9	0,0 0	89,72
COBERTURA	0,0 0	42,32	0,0 0	63,95	0,0 0	64,64	0,0 0	40,13	79,98	0,00	135,9 4	0,00	136,2 3	0,00	77,79	0,00	0,0 0	42,32	0,0 0	63,95	0,0 0	64,64	0,0 0	40,13
TOPO	0,0 0	24,68	0,0 0	46,32	0,0 0	46,60	0,0 0	22,49	62,60	0,00	118,3 0	0,00	118,5 9	0,00	60,15	0,00	0,0 0	24,68	0,0 0	46,32	0,0 0	46,60	0,0 0	22,49
PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Fletores kN.m																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	- 21,68	-6,77	- 16,26	- 13,30	- 17,54	- 13,30	-8,81	-6,77	30,87	0,0 0	14,1 9	0,0 0	19,60	0,0 0	0,37	0,0 0	21,68	-6,77	16,26	- 13,30	17,54	- 13,30	-8,81	6,77
TÉRREO	26,13	14,00	16,21	27,50	16,68	27,50	0,87	14,00	45,18	0,0 0	13,9 0	0,0 0	18,98	0,0 0	19,62	0,0 0	26,13	14,00	16,21	27,50	16,68	27,50	0,87	14,00
TIPO 1	19,36	15,02	10,21	29,53	10,66	29,53	9,19	15,02	39,49	0,0 0	7,93	0,0 0	12,94	0,0 0	29,32	0,0 0	19,36	15,02	10,21	29,53	10,66	29,53	9,19	15,02
TIPO 2	15,94	15,19	-5,42	29,55	-4,86	29,55	12,89	15,19	35,84	0,0 0	4,06	0,0 0	6,22	0,0 0	32,79	0,0 0	15,94	15,19	5,42	29,55	4,86	29,55	12,89	15,19
COBERTURA	14,45	16,58	-1,04	34,28	-1,38	34,28	16,44	16,58	38,49	0,0 0	-1,74	0,0 0	4,16	0,0 0	40,48	0,0 0	14,45	16,58	1,04	34,28	1,38	34,28	16,44	16,58
TOPO	21,89	20,78	4,31	47,60	5,71	47,60	-16,33	20,78	-	0,0 0	0,45	0,0 0	10,48	0,0 0	52,51	0,0 0	21,89	20,78	-4,31	47,60	-5,71	47,60	-16,33	-20,78



PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	20,93	14,39	9,46	28,28	11,50	28,28	-6,62	14,39	-40,54	0,00	-5,63	0,00	-15,32	0,00	-26,22	0,00	-20,93	14,39	-12,98	28,28	-11,50	28,28	-6,62	-14,39
TÉRREO	16,88	10,39	10,00	20,09	10,31	20,09	-2,80	10,23	-30,74	0,00	-8,40	0,00	-11,90	0,00	-16,65	0,00	-16,88	10,23	-10,00	20,09	-10,31	20,09	-2,80	-10,23
TIPO 1	15,02	10,80	8,25	21,30	8,52	21,30	-5,49	10,80	-29,55	0,00	-6,59	0,00	-10,18	0,00	-20,02	0,00	-15,02	10,80	-8,25	21,30	-8,52	21,30	-5,49	-10,80
TIPO 2	13,10	10,64	5,61	10,33	4,99	20,33	-7,17	10,64	-26,57	0,00	-4,94	0,00	-5,66	0,00	-20,64	0,00	-13,10	10,64	-5,61	20,33	-4,99	20,33	-7,17	-10,64
COBERTURA	12,98	13,34	1,91	29,24	2,53	29,24	-11,70	13,34	-34,49	0,00	0,78	0,00	-5,23	0,00	-33,22	0,00	-12,98	13,34	-1,91	29,24	-2,53	29,24	-11,70	-13,34
PÓRTICO PLANO X : Esforços Cortantes (kN)																								
PILAR	PX1		PX2		PX3		PX4		PX5		PX6		PX7		PX8		PX9		PX10		PX11		PX12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y	X	y
BALDRAME	20,81	0,00	9,36	0,00	11,59	0,00	-6,50	0,00	-36,30	0,00	-6,16	0,00	-14,79	0,00	-21,99	0,00	20,81	0,00	9,36	0,00	11,59	0,00	-6,50	0,00
TÉRREO	16,71	0,00	9,85	0,00	10,45	0,00	-2,63	0,00	-27,61	0,00	-8,28	0,00	-12,02	0,00	-13,54	0,00	16,71	0,00	9,85	0,00	10,45	0,00	-2,63	0,00
TIPO 1	14,71	0,00	7,97	0,00	8,80	0,00	-5,19	0,00	-26,05	0,00	-6,11	0,00	-10,66	0,00	-16,53	0,00	14,71	0,00	7,97	0,00	8,80	0,00	-5,19	0,00
TIPO 2	12,73	0,00	5,27	0,00	5,33	0,00	-6,81	0,00	-23,15	0,00	-4,21	0,00	-6,39	0,00	-17,22	0,00	12,73	0,00	5,27	0,00	5,33	0,00	-6,81	0,00
COBERTURA	12,34	0,00	1,34	0,00	3,10	0,00	-11,06	0,00	-29,01	0,00	1,69	0,00	-6,13	0,00	-27,73	0,00	12,34	0,00	1,34	0,00	3,10	0,00	-11,06	0,00

PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM Y: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q+VY+

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	-0,04	0,01	-0,04	0,03	-0,04	0,02	-0,04	0,01	-0,04	0,02	-0,04	0,05	-0,04	0,05	-0,04	0,02	-0,04	0,01	-0,04	0,02	-0,04	0,02	-0,04	0,01
TIPO 1	-0,26	0,03	-0,26	0,06	-0,26	0,06	-0,26	0,03	-0,26	0,06	-0,26	0,12	-0,26	0,12	-0,26	0,06	-0,26	0,03	-0,25	0,05	-0,25	0,05	-0,26	0,03
TIPO 2	-0,48	0,05	-0,48	0,08	-0,48	0,08	-0,48	0,05	-0,48	0,09	-0,48	0,17	-0,48	0,17	-0,48	0,09	-0,48	0,04	-0,48	0,08	-0,48	0,08	-0,48	0,04
COBERTURA	-0,64	0,06	-0,64	0,10	-0,64	0,10	-0,64	0,06	-0,64	0,11	-0,64	0,20	-0,64	0,20	-0,64	0,11	-0,64	0,05	-0,64	0,09	0,64	0,09	-0,64	0,05
TOPO	-0,73	0,06	-0,73	0,21	-0,73	0,21	-0,73	0,08	-0,73	0,11	-0,73	0,29	-0,73	0,29	-0,73	0,11	-0,72	0,05	-0,72	0,10	-0,72	0,10	-0,72	0,05

PÓRTICO PLANO Y: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	-0,04	0,01	-0,04	0,01	-0,04	0,01	-0,04	0,01	-0,04	0,01	-0,04	0,02	-0,04	0,02	-0,04	0,01	-0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01
TIPO 1	-0,26	0,02	-0,26	0,03	-0,26	0,03	-0,26	0,02	-0,26	0,03	-0,26	0,06	-0,26	0,06	-0,26	0,03	-0,26	0,02	-0,26	0,03	-0,26	0,03	-0,26	0,02
TIPO 2	-0,48	0,03	-0,48	0,05	-0,48	0,05	-0,48	0,03	-0,48	0,04	-0,48	0,09	-0,48	0,09	-0,48	0,04	-0,48	0,02	-0,48	0,04	-0,48	0,04	-0,48	0,02
COBERTURA	-0,64	0,03	-0,64	0,06	-0,64	0,06	-0,64	0,03	-0,64	0,05	-0,64	0,10	-0,64	0,10	-0,64	0,05	-0,64	0,03	-0,64	0,05	-0,64	0,05	-0,64	0,03
TOPO	-0,73	0,04	-0,73	0,06	-0,73	0,06	-0,73	0,04	-0,73	0,06	-0,73	0,11	-0,73	0,11	-0,73	0,06	-0,73	0,03	-0,72	0,06	-0,72	0,06	-0,73	0,03

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	0,00	433,67	0,00	752,73	0,00	752,73	0,00	433,67	0,00	805,87	0,00	1498,41	0,00	1498,41	0,00	805,87	0,00	376,03	0,00	695,09	0,00	695,09	0,00	376,03
TÉRREO	0,00	350,28	0,00	603,10	0,00	603,10	0,00	350,28	0,00	644,63	0,00	1195,28	0,00	1195,28	0,00	644,63	0,00	304,05	0,00	556,87	0,00	556,87	0,00	304,05
TIPO 1	0,00	254,97	0,00	441,72	0,00	441,72	0,00	254,97	0,00	475,40	0,00	885,05	0,00	885,05	0,00	475,40	0,00	226,34	0,00	413,09	0,00	413,09	0,00	226,34
TIPO 2	0,00	160,56	0,00	281,43	0,00	281,43	0,00	160,56	0,00	306,30	0,00	576,47	0,00	576,47	0,00	306,30	0,00	146,65	0,00	267,52	0,00	267,52	0,00	146,65
COBERTURA	0,00	68,44	0,00	123,38	0,00	123,38	0,00	68,44	0,00	137,19	0,00	269,95	0,00	269,95	0,00	137,19	0,00	63,70	0,00	118,64	0,00	118,64	0,00	63,70
TOPO	0,00	50,80	0,00	107,00	0,00	107,00	0,00	50,80	0,00	120,81	0,00	252,31	0,00	252,31	0,00	119,81	0,00	46,06	0,00	101,00	0,00	101,00	0,00	46,06

PÓRTICO PLANO Y: Esforços Axiais (Kn)																								
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	269,16	0,00	455,31	0,00	455,31	0,00	269,16	0,00	406,38	0,00	786,12	0,00	786,12	0,00	406,38	0,00	211,50	0,00	397,65	0,00	397,65	0,00	211,50	0,00
TÉRREO	220,03	0,00	369,04	0,00	369,04	0,00	220,03	0,00	327,26	0,00	630,17	0,00	630,17	0,00	327,26	0,00	173,78	0,00	322,79	0,00	322,79	0,00	173,78	0,00
TIPO 1	159,49	0,00	271,21	0,00	271,21	0,00	159,49	0,00	240,19	0,00	467,98	0,00	467,98	0,00	240,19	0,00	130,86	0,00	242,57	0,00	242,57	0,00	130,86	0,00
TIPO 2	100,28	0,00	174,58	0,00	174,58	0,00	100,28	0,00	153,37	0,00	305,58	0,00	305,58	0,00	153,37	0,00	86,36	0,00	160,66	0,00	160,66	0,00	86,36	0,00
COBERTURA	43,68	0,00	80,23	0,00	80,23	0,00	43,68	0,00	66,85	0,00	144,18	0,00	144,18	0,00	66,85	0,00	38,94	0,00	75,49	0,00	75,49	0,00	38,94	0,00
TOPO	26,04	0,00	62,59	0,00	62,59	0,00	26,04	0,00	49,21	0,00	126,54	0,00	126,54	0,00	49,21	0,00	22,57	0,00	57,85	0,00	57,85	0,00	22,57	0,00



PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	13,77	28,01	-1,02	41,90	1,02	41,90	-13,77	28,01	-33,38	-19,79	4,85	-19,79	4,85	-19,79	-33,38	19,79	-13,77	0,77	1,02	14,66	-1,02	14,66	-13,77	-0,77
TÉRREO	9,84	23,50	-0,15	33,35	0,15	33,35	-9,84	23,50	-23,70	-19,32	1,75	-19,32	-1,75	-19,32	-23,70	19,32	-9,84	-3,03	0,15	6,82	-0,15	6,82	-9,84	3,03
TIPO 1	10,25	20,05	-0,14	30,55	0,14	30,55	-10,25	20,05	-24,79	-16,57	1,80	-16,57	-1,80	-16,57	-24,79	16,57	-10,25	1,56	0,14	12,05	-0,14	12,05	-10,25	-1,56
TIPO 2	10,14	16,40	0,31	26,08	-0,31	26,08	-10,14	16,40	-23,61	-10,54	0,36	-10,54	-0,36	-10,54	-23,61	10,54	-10,14	4,89	-0,31	14,58	0,31	14,58	-10,14	-4,89
COBERTURA	12,34	14,68	-0,31	30,59	0,31	30,59	-12,34	14,68	-33,85	-4,94	3,01	-4,94	-3,01	-4,94	-33,85	4,94	-12,34	12,00	0,31	27,90	-0,31	27,90	-12,34	-12,00
PÓRTICO PLANO Y: Esforços Cortantes (kN)																								
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	27,84	0,00	43,39	0,00	43,39	0,00	27,84	0,00	-19,80	0,00	-19,80	0,00	-19,80	0,00	-19,80	0,00	0,60	0,00	16,15	0,00	16,15	0,00	0,60	0,00
TÉRREO	23,25	0,00	34,17	0,00	34,17	0,00	23,25	0,00	-19,33	0,00	-19,33	0,00	-19,33	0,00	-19,33	0,00	-3,28	0,00	7,63	0,00	7,63	0,00	-3,28	0,00
TIPO 1	19,58	0,00	30,99	0,00	30,99	0,00	19,58	0,00	-16,58	0,00	-16,58	0,00	-16,58	0,00	-16,58	0,00	1,08	0,00	12,49	0,00	12,49	0,00	1,08	0,00
TIPO 2	15,86	0,00	26,29	0,00	26,29	0,00	15,86	0,00	-10,54	0,00	-10,54	0,00	-10,54	0,00	-10,54	0,00	4,35	0,00	14,78	0,00	14,78	0,00	4,35	0,00
COBERTURA	13,65	0,00	30,66	0,00	30,66	0,00	13,65	0,00	-4,94	0,00	-4,94	0,00	-4,94	0,00	-4,94	0,00	10,97	0,00	27,97	0,00	27,97	0,00	10,97	0,00

PÓRTICO ESPACIAL (VS) PÓRTICO PLANO EM Y: Análise de 1ª ordem – G1+G2+Q+VY-

PÓRTICO ESPACIAL: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02
TIPO 1	0,26	0,03	0,25	0,05	0,25	0,05	0,26	0,03	0,26	0,06	0,26	0,12	0,26	0,12	0,26	0,06	0,26	0,03	0,26	0,06	0,26	0,06	0,26	0,03
TIPO 2	0,48	0,04	0,48	0,08	0,48	0,08	0,48	0,04	0,48	0,09	0,48	0,17	0,48	0,17	0,48	0,09	0,48	0,05	0,48	0,08	0,48	0,08	0,48	0,05
COBERTURA	0,64	0,05	0,64	0,09	0,64	0,09	0,64	0,05	0,64	0,11	0,64	0,20	0,64	0,20	0,64	0,11	0,64	0,06	0,64	0,10	0,64	0,10	0,64	0,06
TOPO	0,72	0,05	0,71	0,10	0,71	0,10	0,72	0,05	0,73	0,11	0,73	0,31	0,73	0,30	0,73	0,11	0,73	0,06	0,73	0,10	0,73	0,10	0,73	0,06
PÓRTICO PLANO Y: Deslocamento (cm)																								
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z	X	Z
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TÉRREO	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01
TIPO 1	0,26	0,02	0,27	0,03	0,27	0,03	0,26	0,02	0,26	0,03	0,26	0,06	0,26	0,06	0,26	0,03	0,26	0,02	0,26	0,03	0,26	0,03	0,26	0,02
TIPO 2	0,48	0,02	0,48	0,04	0,48	0,04	0,48	0,02	0,48	0,04	0,48	0,09	0,48	0,09	0,48	0,04	0,48	0,03	0,48	0,05	0,48	0,05	0,48	0,03
COBERTURA	0,64	0,03	0,64	0,05	0,64	0,05	0,64	0,03	0,64	0,05	0,64	0,10	0,64	0,10	0,64	0,05	0,64	0,03	0,64	0,06	0,64	0,06	0,64	0,03
TOPO	0,73	0,03	0,72	0,06	0,72	0,06	0,73	0,03	0,73	0,06	0,73	0,11	0,73	0,11	0,73	0,06	0,73	0,04	0,73	0,06	0,73	0,06	0,73	0,04

PÓRTICO ESPACIAL: Esforços axiais (kN)																								
PILAR DIREÇÃO/ PAVIMENTO	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	0,00	376,0 3	0,00	695,0 9	0,00	695,0 9	0,00	376,0 3	0,00	805,8 7	0,00	1498,4 1	0,00	1498,41	0,00	805,8 7	0,00	433,6 7	0,00	752,7 3	0,00	752,7 3	0,00	433,6 7
TÉRREO	0,00	304,0 5	0,00	556,8 7	0,00	556,8 7	0,00	304,0 5	0,00	644,6 3	0,00	1195,2 8	0,00	1195,28	0,00	644,6 3	0,00	350,2 8	0,00	603,1 0	0,00	603,1 0	0,00	350,2 8
TIPO 1	0,00	226,3 4	0,00	413,0 9	0,00	413,0 9	0,00	226,3 4	0,00	475,4 0	0,00	885,05	0,00	885,05	0,00	475,4 0	0,00	254,9 7	0,00	441,7 2	0,00	441,7 2	0,00	254,9 7
TIPO 2	0,00	146,6 5	0,00	267,5 2	0,00	267,5 2	0,00	146,6 5	0,00	306,3 0	0,00	576,47	0,00	576,47	0,00	306,3 0	0,00	160,5 6	0,00	281,4 3	0,00	281,4 3	0,00	160,5 6
COBERTURA	0,00	63,70	0,00	118,6 4	0,00	118,6 4	0,00	63,70	0,00	137,1 9	0,00	269,95	0,00	269,95	0,00	137,1 9	0,00	68,44	0,00	123,3 8	0,00	123,3 8	0,00	68,44
TOPO	0,00	46,06	0,00	101,0 0	0,00	101,0 0	0,00	46,06	0,00	120,8 1	0,00	252,31	0,00	252,31	0,00	119,5 5	0,00	50,80	0,00	105,7 4	0,00	105,7 4	0,00	50,80
PÓRTICO PLANO Y: Esforços Axiais (Kn)																								
PILAR DIREÇÃO/ PAVIMENTO	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	211,5 0	0,00	397,6 5	0,00	397,6 5	0,00	211,5 0	0,00	406,3 8	0,00	786,1 2	0,00	786,1 2	0,00	406,3 8	0,00	269,1 6	0,00	455,3 1	0,00	455,3 1	0,00	269,1 6	0,00
TÉRREO	173,7 8	0,00	322,7 9	0,00	322,7 9	0,00	173,7 8	0,00	327,2 6	0,00	630,8 7	0,00	630,8 7	0,00	327,2 6	0,00	220,0 3	0,00	369,0 4	0,00	369,0 4	0,00	220,0 3	0,00
TIPO 1	130,8 6	0,00	242,5 7	0,00	242,5 7	0,00	130,8 6	0,00	240,1 9	0,00	467,9 8	0,00	467,9 8	0,00	240,1 9	0,00	159,4 9	0,00	271,2 1	0,00	271,2 1	0,00	159,4 9	0,00
TIPO 2	86,36	0,00	160,6 6	0,00	160,6 6	0,00	86,36	0,00	153,3 7	0,00	305,5 8	0,00	305,5 8	0,00	153,3 7	0,00	100,2 8	0,00	174,5 8	0,00	174,5 8	0,00	100,2 8	0,00
COBERTURA	38,94	0,00	75,49	0,00	75,49	0,00	38,94	0,00	66,85	0,00	144,1 8	0,00	144,1 8	0,00	66,85	0,00	43,68	0,00	80,23	0,00	80,23	0,00	43,68	0,00
TOPO	21,31	0,00	57,85	0,00	57,85	0,00	21,31	0,00	49,21	0,00	127,8 0	0,00	127,8 0	0,00	49,21	0,00	26,30	0,00	62,59	0,00	62,59	0,00	26,30	0,00
PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Fletores kN.m																								
PILAR DIREÇÃO/ PAVIMENTO	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
BALDRAME	-6,43	24,60	0,64	18,07	-0,64	18,07	6,43	24,60	15,62	34,45	-2,70	-34,45	2,70	-34,4 5	15,62	34,45	6,43	-38,13	-0,64	-44,66	0,64	-44,66	6,43	38,13
TÉRREO	-13,50	11,11	0,23	-2,39	-0,23	-2,39	13,50	11,11	32,55	32,44	-2,54	-32,44	2,54	32,4 4	32,55	32,44	13,50	39,12	-0,23	-52,62	0,23	-52,62	13,50	39,12
TIPO 1	-14,27	-5,04	0,23	-19,55	-0,23	-19,55	14,27	-5,04	34,41	20,75	-2,51	-20,75	2,51	20,7 5	34,41	20,75	14,27	25,00	-0,23	-39,51	0,23	-39,51	14,27	25,00
TIPO 2	-14,41	12,75	-0,28	27,12	0,28	27,12	14,41	12,75	34,32	-9,86	-1,08	-9,86	1,08	9,86	34,32	9,86	14,41	17,62	0,28	31,99	-0,48	31,99	14,41	17,62
COBERTURA	-15,45	18,82	0,17	36,52	-0,17	36,52	15,45	18,82	39,49	-2,59	-2,95	-2,59	2,95	2,59	39,49	2,59	15,45	14,33	-0,17	32,03	0,17	32,03	15,45	14,33
TOPO	19,11	14,77	-0,70	41,59	0,70	41,59	-19,11	14,77	55,29	11,24	5,46	11,24	-5,46	11,2 4	55,29	11,24	19,11	26,78	0,70	53,61	-0,64	53,61	-19,11	26,78

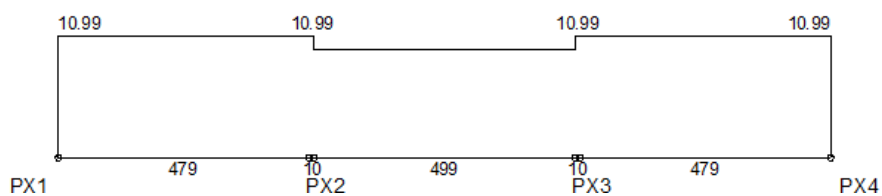
PÓRTICO PLANO Y: Momentos Fletores (kN.m)																									
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	24,70	0,00	17,40	0,00	17,40	0,00	24,70	0,00	-34,46	0,00	-34,46	0,00	-34,46	0,00	-34,46	0,00	-38,05	0,00	-45,35	0,00	-45,35	0,00	-38,05	0,00	
TÉRREO	11,39	0,00	-3,62	0,00	-3,62	0,00	11,39	0,00	-32,45	0,00	-32,45	0,00	-32,45	0,00	-32,45	0,00	-38,85	0,00	-53,86	0,00	-53,86	0,00	-38,85	0,00	
TIPO 1	-4,42	0,00	-20,33	0,00	-20,33	0,00	-4,42	0,00	-20,75	0,00	-20,75	0,00	-20,75	0,00	-20,75	0,00	-24,38	0,00	-40,20	0,00	-40,20	0,00	-24,38	0,00	
TIPO 2	-11,96	0,00	-27,45	0,00	-27,45	0,00	-11,96	0,00	-9,87	0,00	-9,87	0,00	-9,87	0,00	-9,87	0,00	-16,84	0,00	-32,33	0,00	-32,33	0,00	-16,84	0,00	
COBERTURA	-17,70	0,00	-36,64	0,00	-36,64	0,00	-17,70	0,00	-2,59	0,00	-2,59	0,00	-2,59	0,00	-2,59	0,00	-13,20	0,00	-32,14	0,00	-32,14	0,00	-13,20	0,00	
TOPO	13,00	0,00	41,69	0,00	41,69	0,00	13,00	0,00	11,25	0,00	11,25	0,00	11,25	0,00	11,25	0,00	25,02	0,00	53,70	0,00	53,70	0,00	25,02	0,00	
PÓRTICO ESPACIAL: Momentos Torsões kN.m																									
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TIPO 2	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,01
COBERTURA	0,00	-0,02	0,00	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,01	0,00	-0,02	
PÓRTICO PLANO Y: Momentos Torsões (kN.m)																									
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TÉRREO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TIPO 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TIPO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
COBERTURA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PÓRTICO ESPACIAL: Esforços cortantes kN																									
PILAR	PE1		PE2		PE3		PE4		PE5		PE6		PE7		PE8		PE9		PE10		PE11		PE12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	13,77	0,77	-1,02	14,66	1,02	14,66	-13,77	0,77	-33,38	19,79	4,85	19,79	-4,85	19,79	-33,38	-19,79	-13,77	28,01	1,02	41,90	-1,02	41,90	-13,77	-28,01	
TÉRREO	9,84	-3,03	-0,15	6,82	0,15	6,82	-9,84	-3,03	-23,70	19,32	1,75	19,32	-1,75	19,32	-23,70	-19,32	-9,84	23,50	0,15	33,35	-0,15	33,35	-9,84	-23,50	
TIPO 1	10,25	1,56	-0,14	12,05	0,14	12,05	-10,25	1,56	-24,79	16,57	1,80	16,57	-1,80	16,57	-24,79	-16,57	-10,25	20,05	0,14	30,55	-0,14	30,55	-10,25	-20,05	
TIPO 2	10,14	4,89	0,31	14,58	-0,31	14,58	-10,14	4,89	-23,61	10,54	0,36	10,54	-0,36	10,54	-23,61	-10,54	-10,14	16,40	-0,31	26,08	0,31	26,08	-10,14	-16,40	
COBERTURA	12,34	12,00	-0,31	27,90	0,31	27,90	-12,34	12,00	-33,85	4,94	3,01	4,94	-3,01	4,94	-33,85	-4,94	-12,34	14,68	0,31	30,59	-0,31	30,59	12,34	-14,68	
PÓRTICO PLANO Y: Esforços Cortantes (kN)																									
PILAR	PY1		PY2		PY3		PY4		PY5		PY6		PY7		PY8		PY9		PY10		PY11		PY12		
DIREÇÃO/ PAVIMENTO	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
BALDRAME	0,60	0,00	16,15	0,00	16,15	0,00	0,60	0,00	19,80	0,00	19,80	0,00	19,80	0,00	19,80	0,00	27,84	0,00	43,39	0,00	43,39	0,00	27,84	0,00	
TÉRREO	-3,28	0,00	7,63	0,00	7,63	0,00	-3,28	0,00	19,33	0,00	19,33	0,00	19,33	0,00	19,33	0,00	23,25	0,00	34,17	0,00	34,17	0,00	23,25	0,00	
TIPO 1	1,08	0,00	12,49	0,00	12,49	0,00	1,08	0,00	16,58	0,00	16,58	0,00	16,58	0,00	16,58	0,00	19,58	0,00	30,99	0,00	30,99	0,00	19,58	0,00	
TIPO 2	4,35	0,00	14,78	0,00	14,78	0,00	4,35	0,00	10,54	0,00	10,54	0,00	10,54	0,00	10,54	0,00	15,86	0,00	26,29	0,00	26,29	0,00	15,86	0,00	
COBERTURA	10,97	0,00	27,97	0,00	27,97	0,00	10,97	0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	4,94	0,00	13,65	0,00	30,66	0,00	30,66	0,00	13,65	0,00	

## APÊNDICE B – Diagramas das vigas

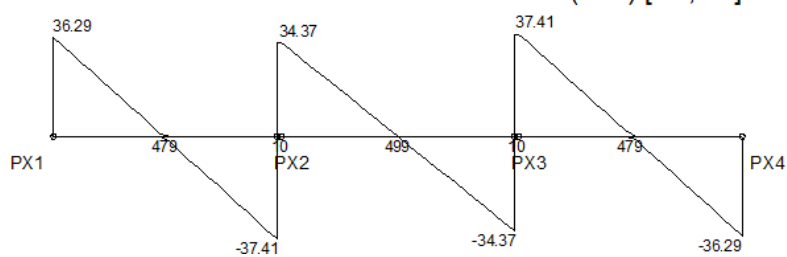
**G1+G2+Q**

### Diagramas: VIGA VXB1 - BALDRAME

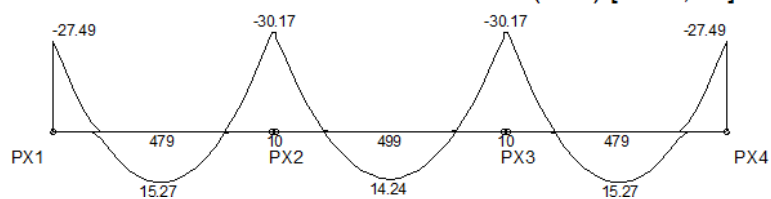
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



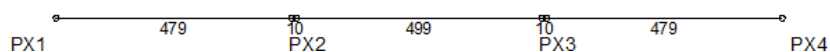
**ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]**



**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]**

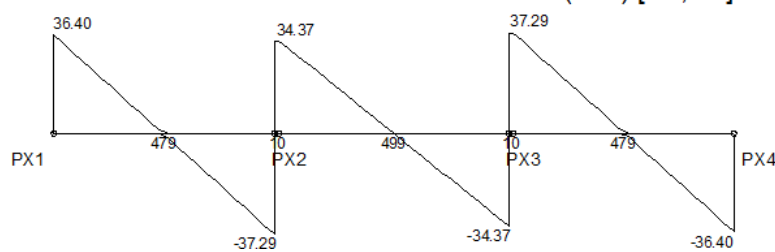


**MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO ( $M_{td}$ ) [kN.m;cm]**

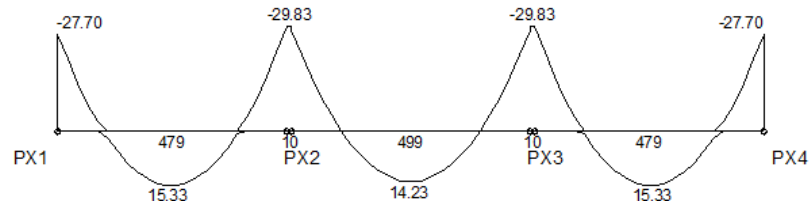


### Diagramas: VIGA VXT1 – TÉRREO

**ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]**

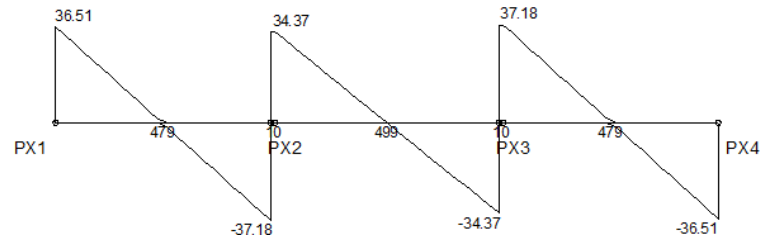


MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

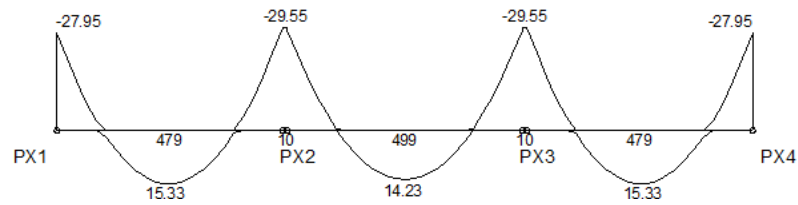


**Diagramas: VIGA VXT1'1 - TIPO 1**

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

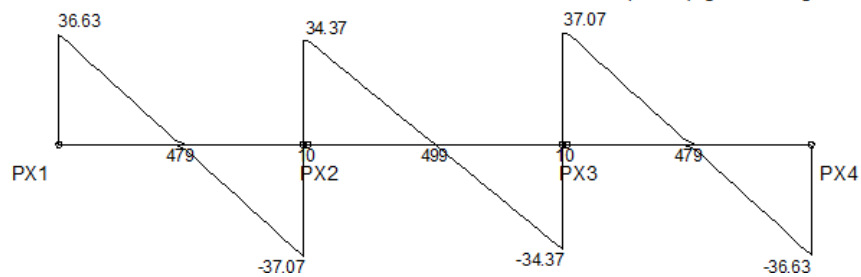


MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

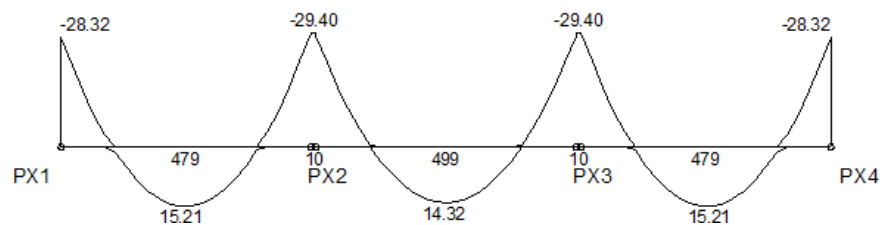


**Diagramas: VIGA VXT2'1 - TIPO 2**

ESFORÇOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

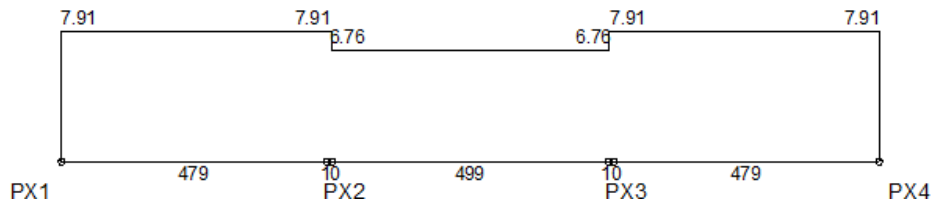


MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

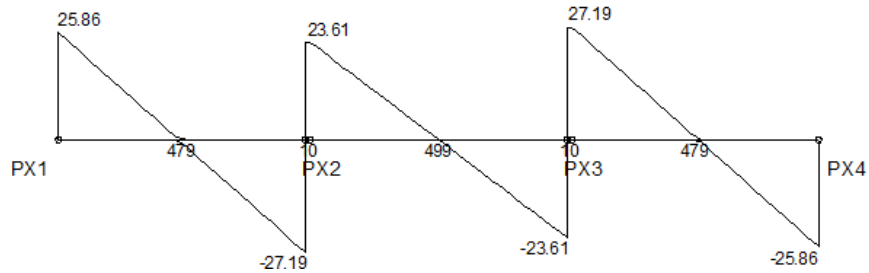


**Diagramas: VIGA VXC1 - COBERTURA**

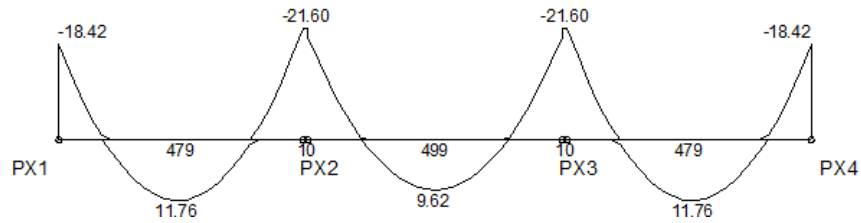
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**

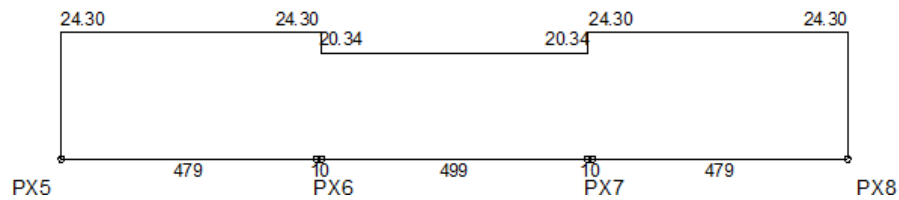


**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

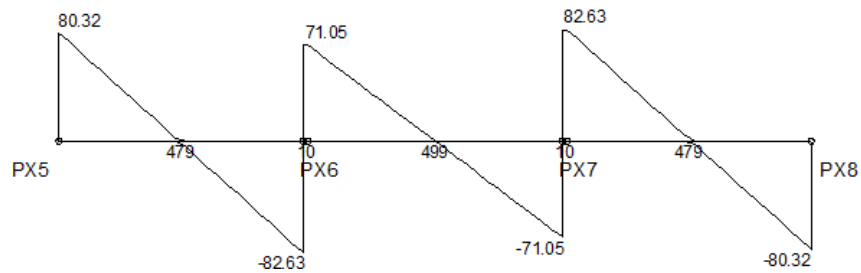


**Diagramas: VIGA VXB2 – BALDRAME**

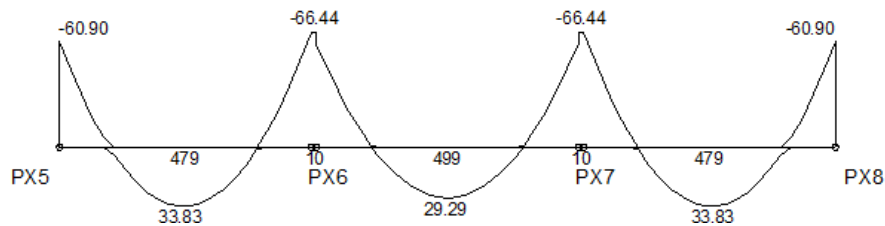
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



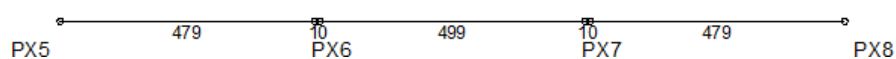
**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**



### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

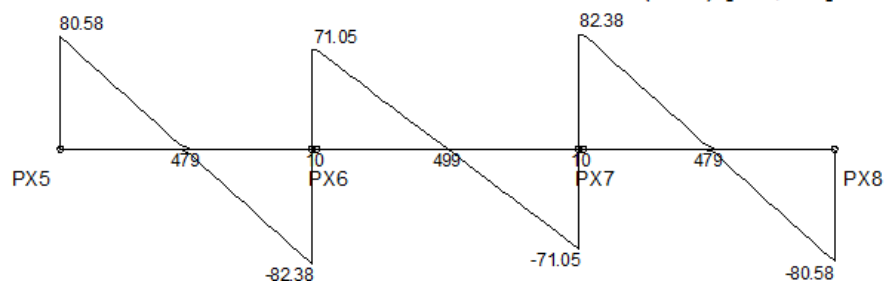


### MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO ( $M_{td}$ ) [kN.m;cm]

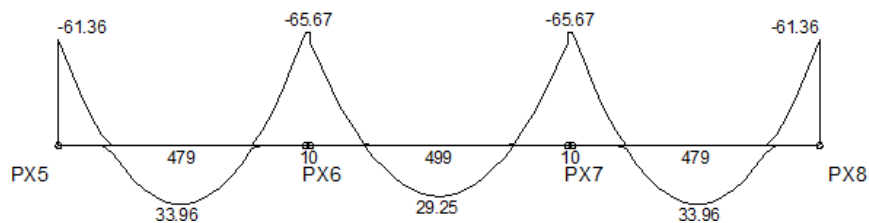


### Diagramas: VIGA VXT2 - TÉRREO

### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

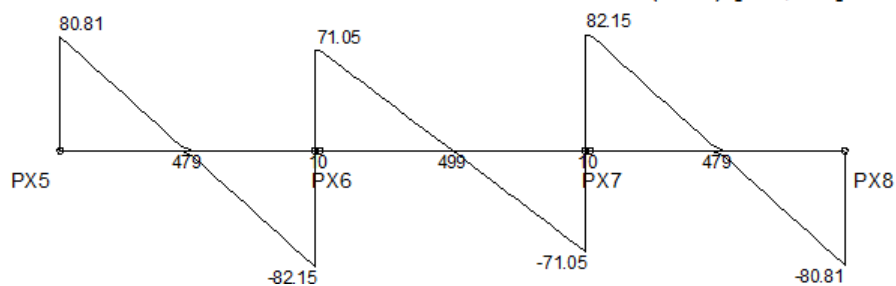


### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

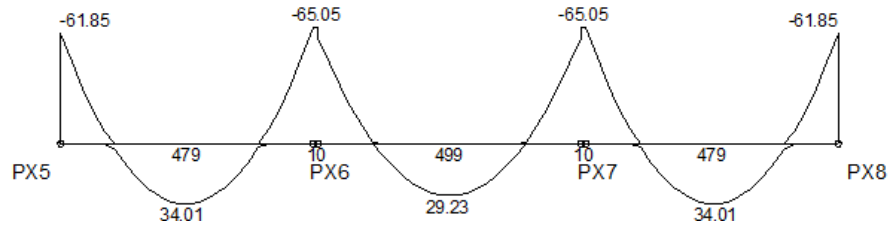


### Diagramas: VIGA VXT1'2 - TIPO 1

### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

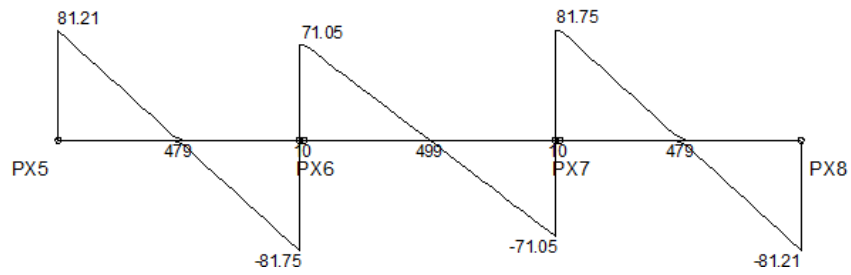


**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

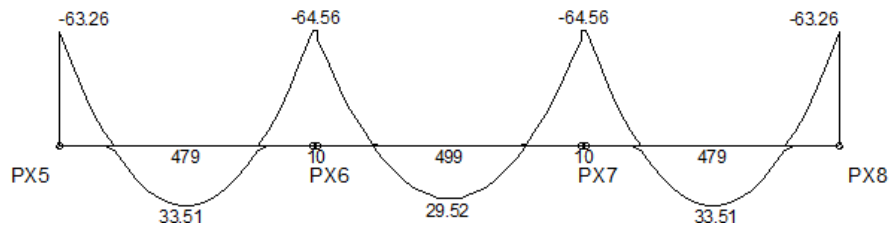


**Diagramas: VIGA VXT2'2 - TIPO 2**

**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**

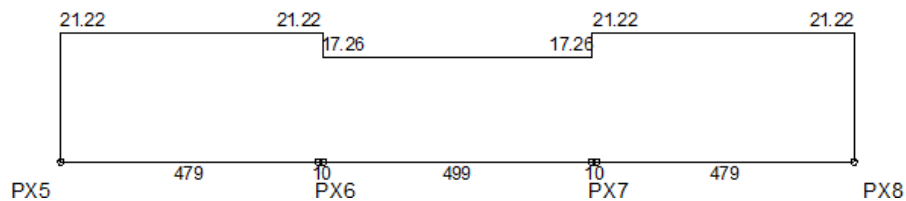


**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

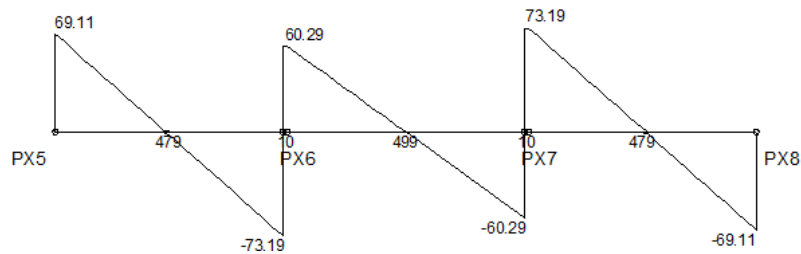


**Diagramas: VIGA VXC2 - COBERTURA**

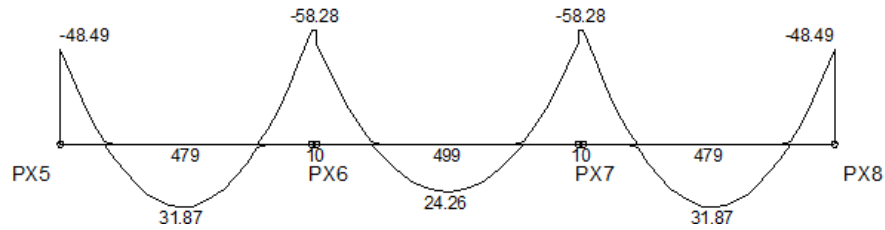
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**

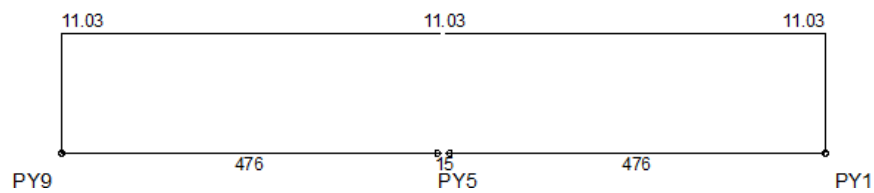


### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

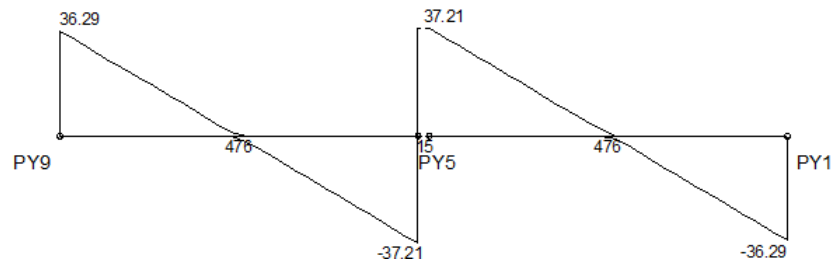


### Diagramas: VIGA VYB4 - BALDRAME

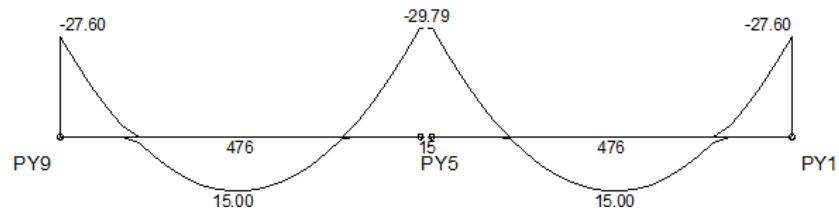
#### CARREGAMENTO [kN/m;cm]



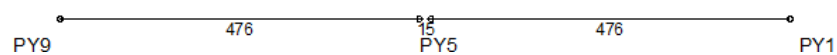
#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]



#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

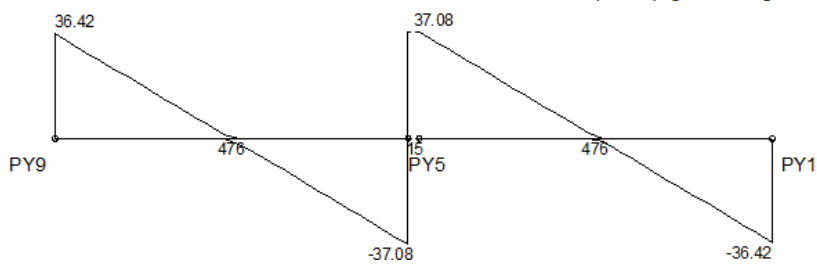


#### MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO ( $M_{td}$ ) [kN.m;cm]

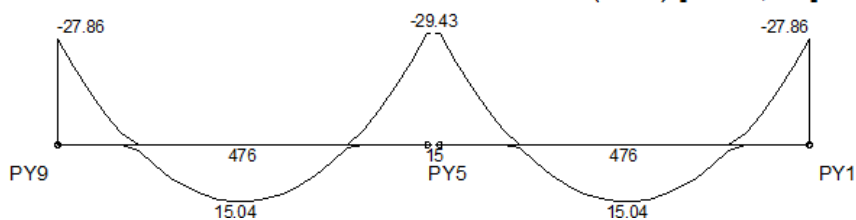


### Diagramas: VIGA VYT4 – TÉRREO

ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

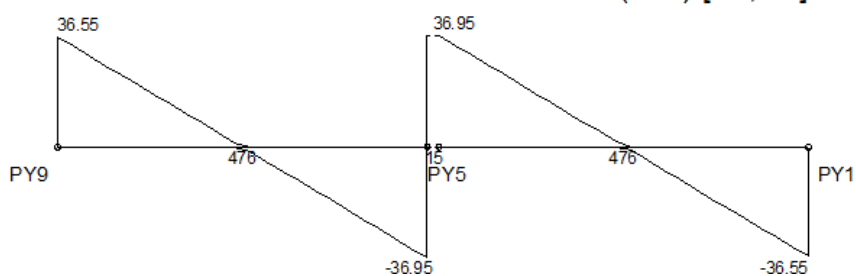


MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

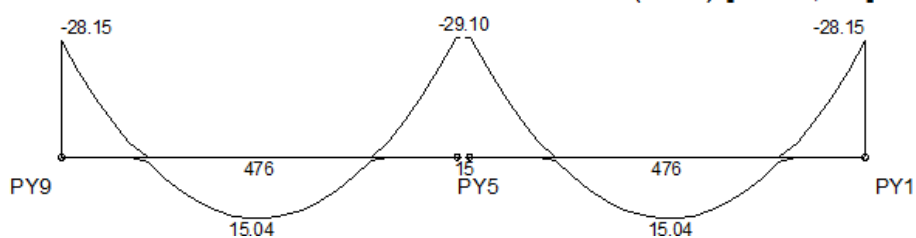


### Diagramas: VIGA VYT1'4 - TIPO 1

ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

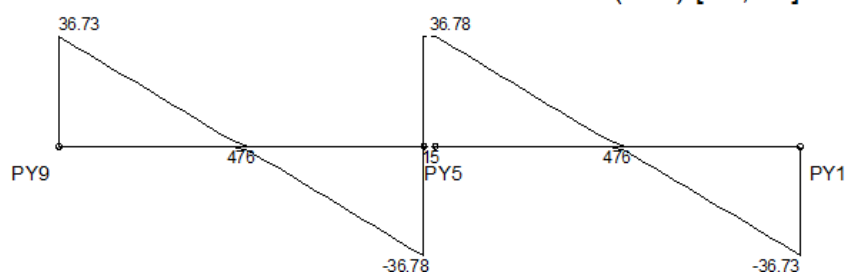


MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

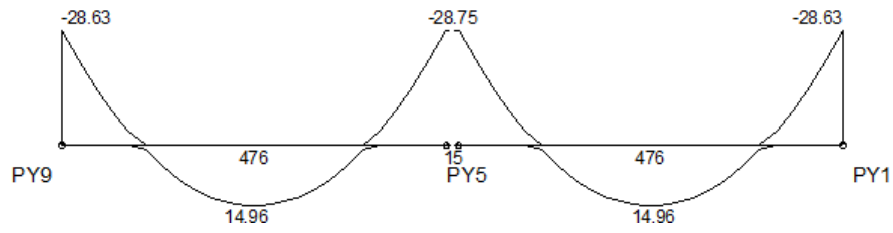


### Diagramas: VIGA VYT2'4 - TIPO 2

ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

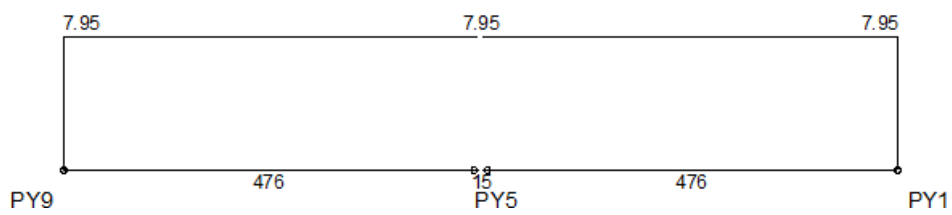


**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

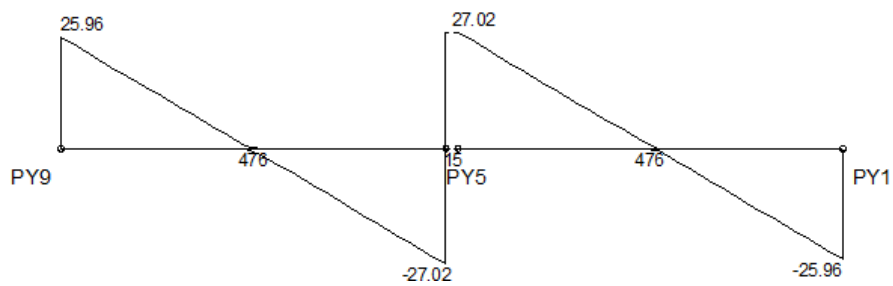


**Diagramas: VIGA VYC4 – COBERTURA**

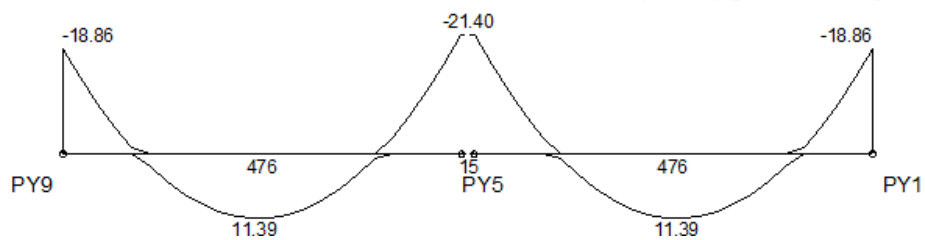
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**

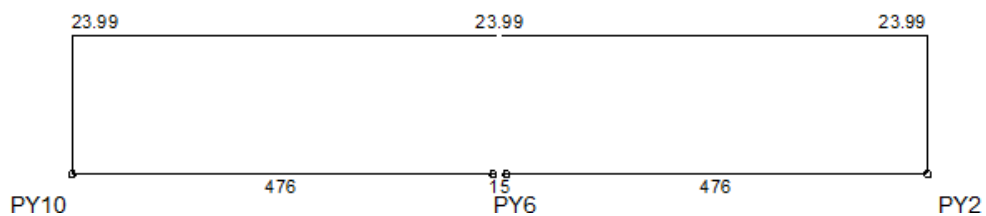


**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

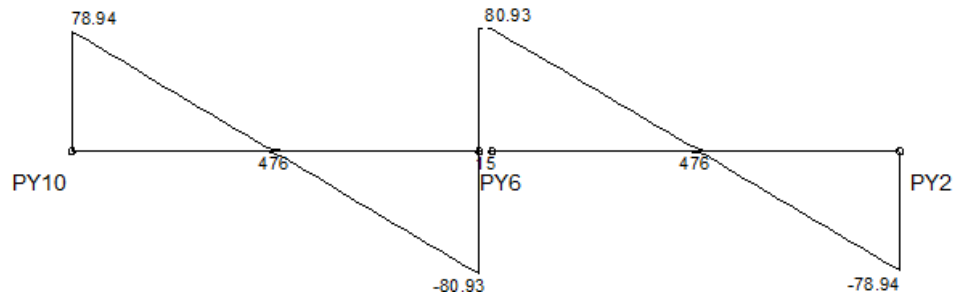


**Diagramas: VIGA VYB5 - BALDRAME**

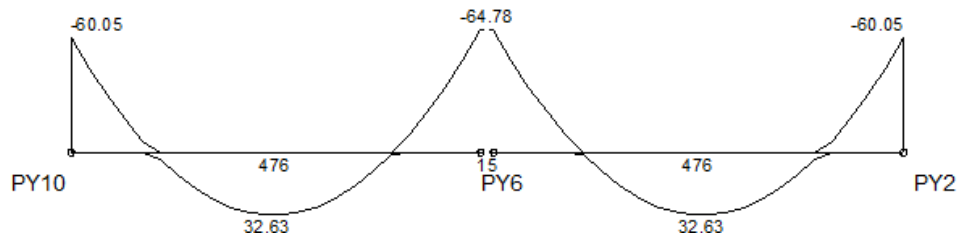
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



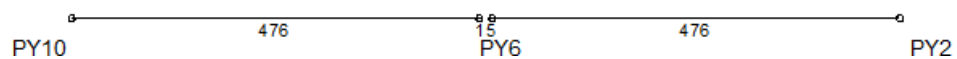
### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]



### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

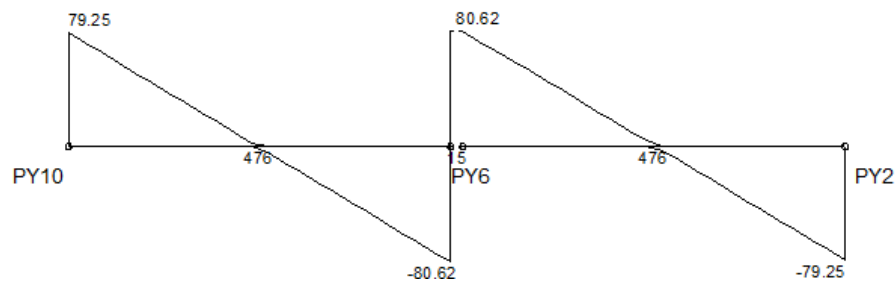


### MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO ( $M_{td}$ ) [kN.m;cm]

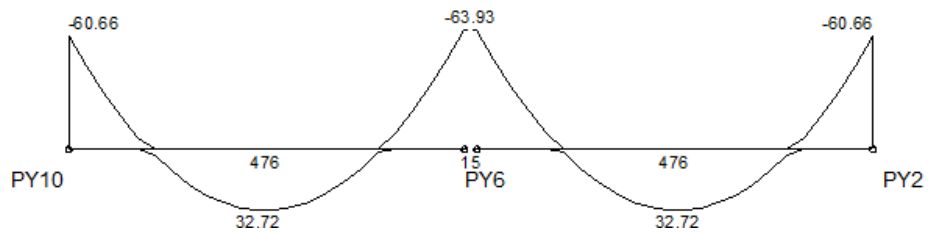


## Diagramas: VIGA VYT5 – TÉRREO

### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

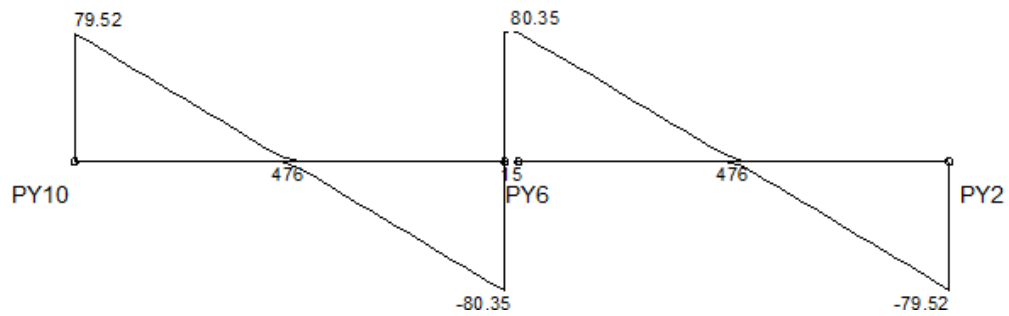


### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

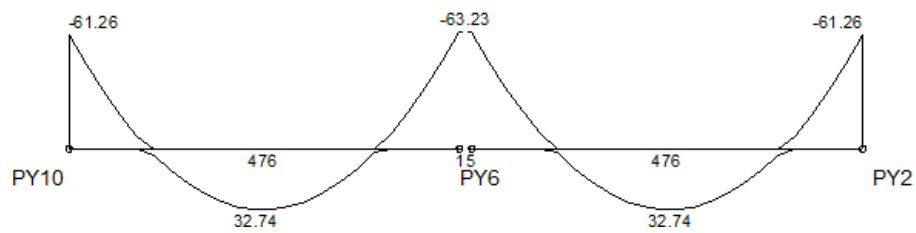


### Diagramas: VIGA VYT1'5 - TIPO 1

#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

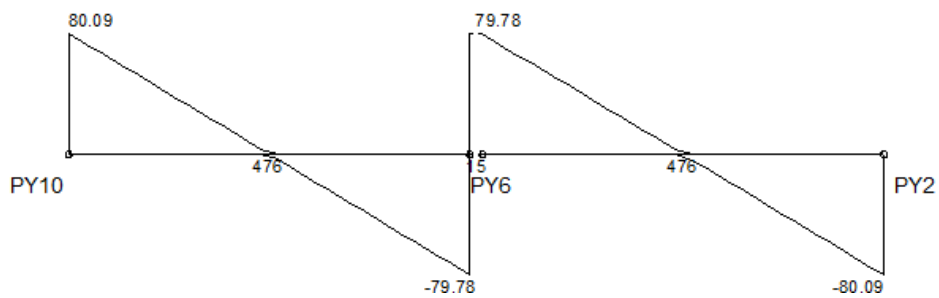


#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

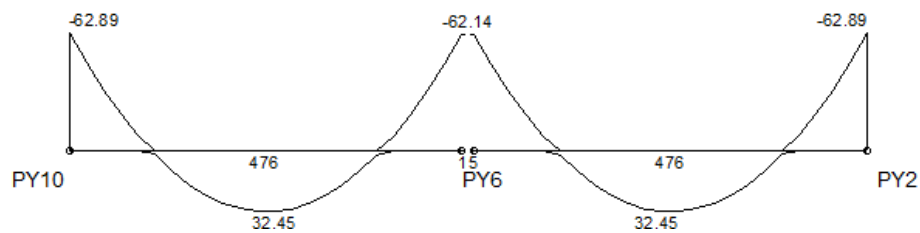


### Diagramas: VIGA VYT2'5 - TIPO 2

#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

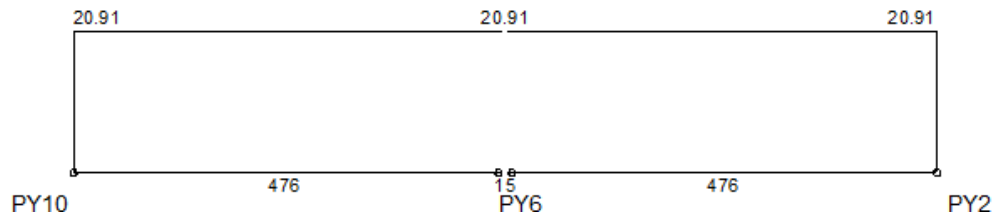


#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

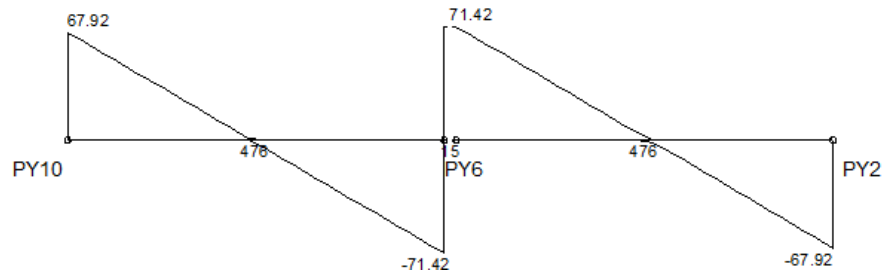


### Diagramas: VIGA VYC5 – COBERTURA

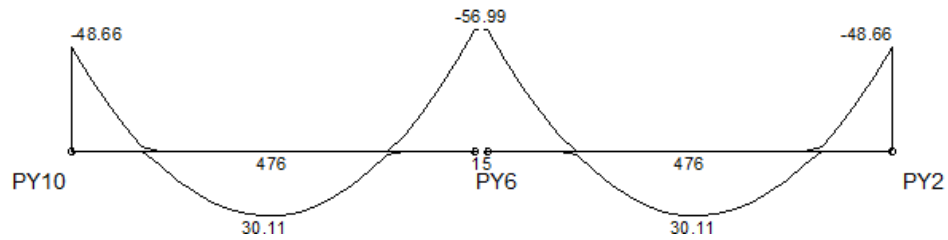
#### CARREGAMENTO [kN/m;cm]



#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]

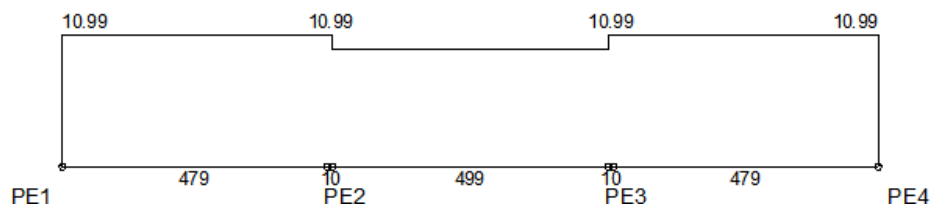


#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]

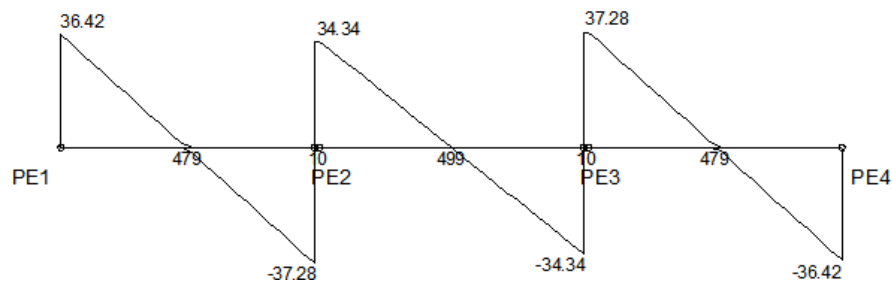


### Diagramas: VIGA VE1B = VE3B – BALDRAME

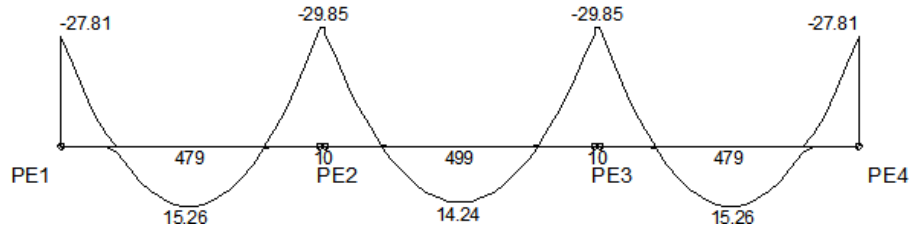
#### CARREGAMENTO [kN/m;cm]



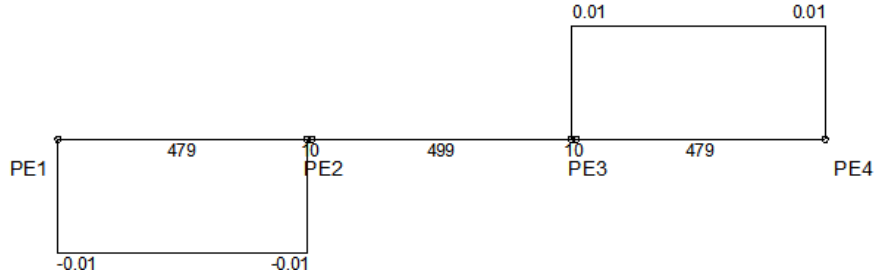
#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]



**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

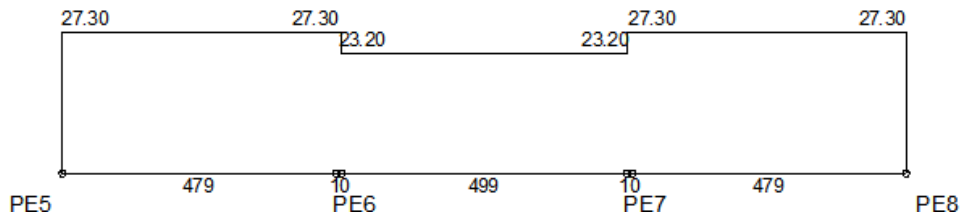


**MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO (Mtd) [kN.m;cm]**

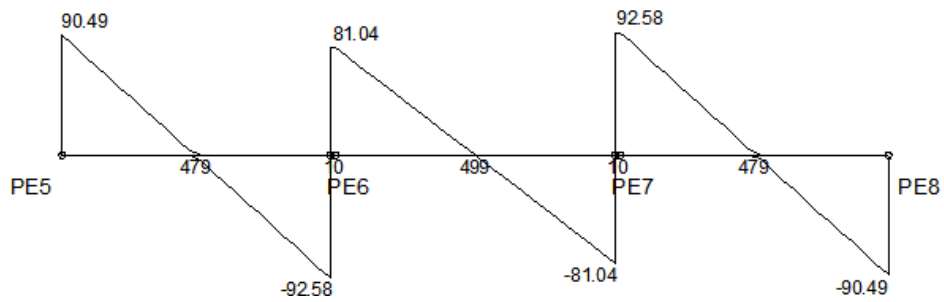


**Diagramas: VIGA VE2T – BALDRAME**

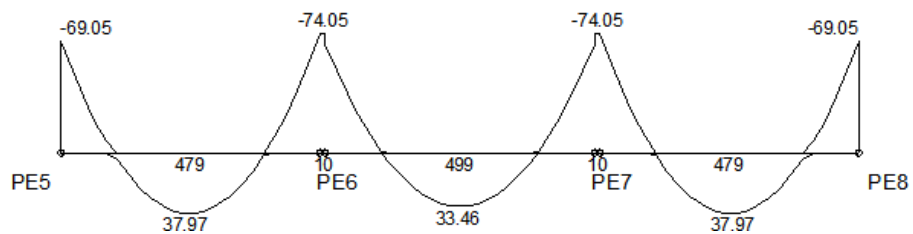
**CARREGAMENTO [kN/m;cm]**



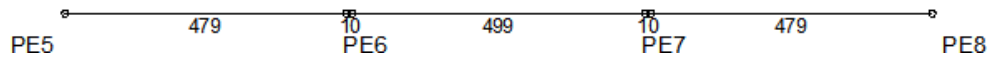
**ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]**



**MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]**

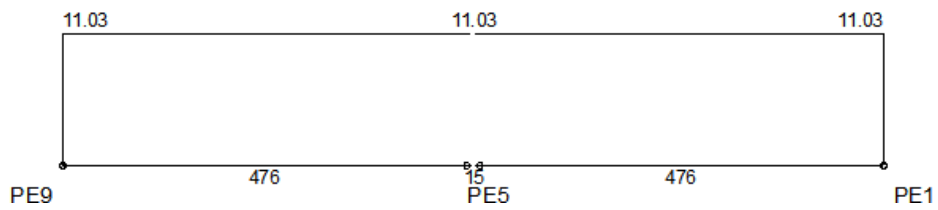


## MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO (Mtd) [kN.m;cm]

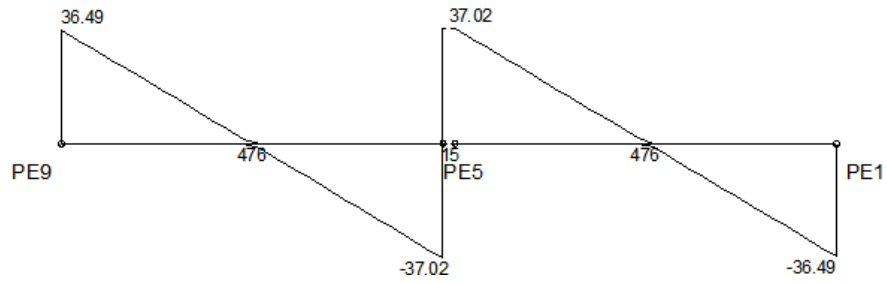


### Diagramas: VIGA VE4B = VE8B - BALDRAME

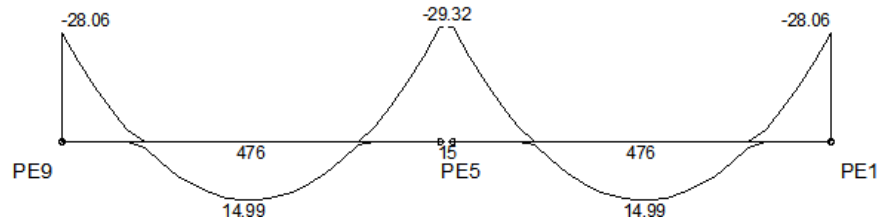
#### CARREGAMENTO [kN/m;cm]



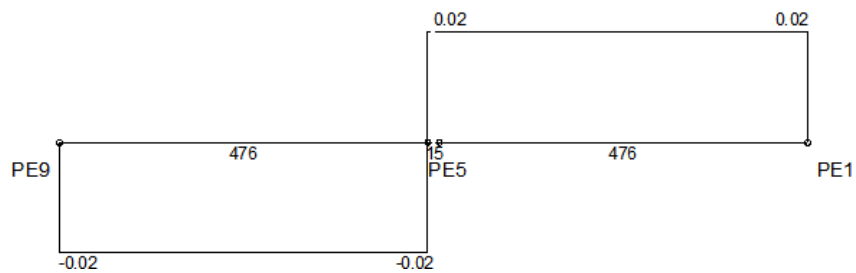
#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO (Vdx) [kN;cm]



#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO (Mdx) [kN.m;cm]

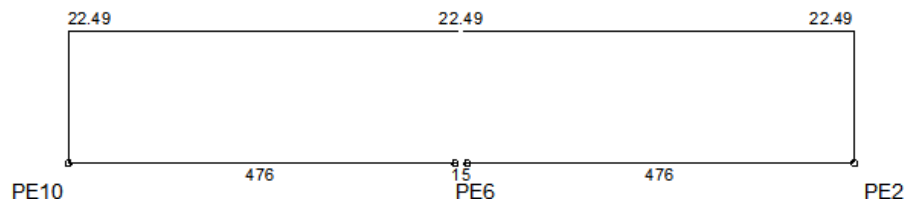


#### MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO (Mtd) [kN.m;cm]

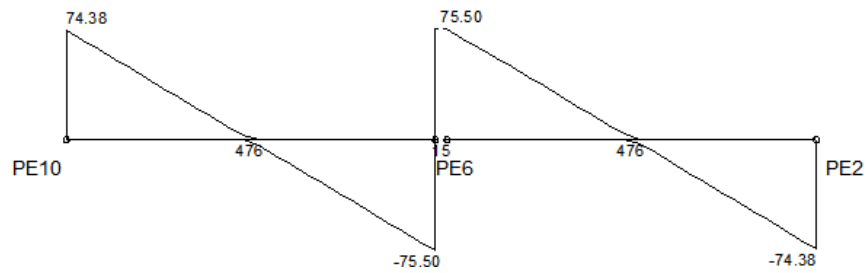


### Diagramas: VIGA VE5B = VE6B – BALDRAME

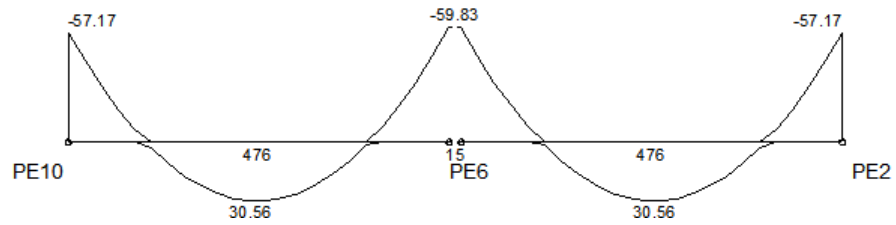
#### CARREGAMENTO [kN/m;cm]



#### ESFORCOS CORTANTES DE CÁLCULO ( $V_{dx}$ ) [kN;cm]



#### MOMENTOS FLETORES DE CÁLCULO ( $M_{dx}$ ) [kN.m;cm]



#### MOMENTOS TORSORES DE CÁLCULO ( $M_{td}$ ) [kN.m;cm]

