

REDE DOCTUM DE ENSINO  
FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

ALEXANDRE OLIVEIRA CABRAL SILVA  
CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO VENTO NA ESTRUTURA DE UM  
EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO NA REGIÃO CENTRAL DA CI-  
DADE DE CARATINGA.**

CARATINGA - MG

2016

ALEXANDRE OLIVEIRA CABRAL SILVA  
CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO VENTO NA ESTRUTURA DE UM  
EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO NA REGIÃO CENTRAL DA CI-  
DADE DE CARATINGA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, como parte das exigências para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil e como requisito parcial para à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do professor Jose Salvador Alves.

CARATINGA - MG

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO

**ANÁLISE DA INTERFERÊNCIA DO VENTO NA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO DE CONCRETO ARMADO NA REGIÃO CENTRAL DA CIDADE DE CARATINGA**

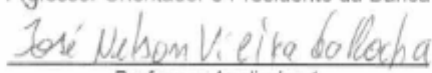
Nome completo do aluno: ALEXANDRE OLIVEIRA CABRAL SILVA / CARLOS EDUARDO DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado perante a Banca de Avaliação composta pelos professores José Salvador Alves, José Nelson Vieira da Rocha e Bárbara Dutra da Silva, às 19 horas do dia 12 de julho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil. Após a avaliação de cada professor e discussão, a Banca Avaliadora considerou o trabalho: APROVADO (aprovado ou não aprovado), com a qualificação: ÓTIMA (Excelente, Ótima, Bom, Satisfatório ou Insatisfatório).

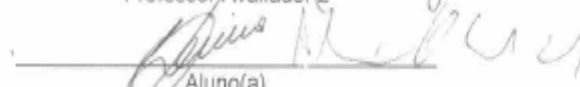
Trabalho indicado para publicação: ( ) SIM ( ) NÃO

Caratinga, 12 de julho de 2016

  
Professor Orientador e Presidente da Banca

  
Professor Avaliador 1

  
Professor Avaliador 2

  
Aluno(a)

  
Coordenador(a) do Curso

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, por nos permitir buscar e alcançar mais um grande objetivo de nossas vidas, a graduação em engenharia civil.

Aos nossos pais Cabral e Rosele, Onésimo e Sebastiana, e todos nossos irmãos, que sempre nos apoiaram e incentivaram em todas as etapas de formação.

Ao nosso orientador Jose Salvador Alves, por contribuir constantemente, com confiança, incentivo, orientação e esclarecendo nossas duvidas na realização deste trabalho.

Agradecemos também a todos aqueles professores que no decorrer do curso, proporcionaram a nós o acréscimo de conhecimento, para que ao término da graduação possamos estar preparados para o mercado de trabalho.

E a todos os colegas que no decorrer de toda a trajetória, puderam ajudar em momentos de dúvidas e pelos grandes momentos de descontração vividos.

*“Alguns homens vêem as coisas como são, e dizem ‘por quê?’ eu sonho com as coisas que nunca foram e digo ‘por que não?’” (Geroge Bernard Shaw)*

SILVA, Alexandre; OLIVEIRA, Carlos. Análise da interferência do vento na estrutura de um edifício de concreto armado na região central de Caratinga. Caratinga, 2016. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil – Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## RESUMO

A ação horizontal do vento nas estruturas de concreto armado podem gerar cargas significativas, por essa razão a NBR 6123/1988 – força devido ao vento em edificações, fornece os elementos necessários para a consideração dessa carga atuante e de grande importância. A desconsideração sem uma análise técnica se torna um fator de grande risco para segurança e conforto da edificação, podendo ocasionar instabilidades nas estruturas e provocar o desabamento. A estabilidade global da edificação é um fator muito importante na avaliação estrutural, assim todas as cargas estáticas ou dinâmicas as quais exercem ações sobre as estruturas devem ser estimadas e analisadas quanto a sua influência. Para tanto o presente trabalho vem demonstrar a influência de tal ação, através das análises de três modelos propostos, analisadas com 4, 10 e 15 pavimentos, comparando as situações com a consideração de tal fator e sem, analisando também os efeitos de segunda ordem provocados e em quais situações podem ser desprezadas. Por fim com a análise verificamos que a altura da edificação influencia diretamente no quantitativo de aço a ser adicionado para o enrijecimento da estrutura, onde a cada acréscimo de pavimentos a variação da taxa de aço aumenta para tornar o edifício estável quando submetidas ao vento, onde, tal força lateral, condiciona deslocamento excessivo em casos específicos, levando a uma instabilidade global. Demonstrado o grau de interferência estrutural, cria-se uma consciência para que independentemente da quantidade de pavimentos, possa se analisar a estrutura e projetá-la sempre beneficiando os ocupantes e trazendo segurança para o projetista.

Palavras chave: Esforços, estabilidade, deslocamento, ação do vento.

SILVA, Alexandre; OLIVEIRA, Carlos. Análise da interferência do vento na estrutura de um edifício de concreto armado na região central de Caratinga. Caratinga, 2016. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Civil – Curso de Engenharia Civil. Faculdades Integradas de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2016.

## **ABSTRACT**

The wind horizontal action in reinforced concrete structures can generate significant loads, therefore the NBR 6123/1988 - force due to wind on buildings, it provides the necessary elements for the consideration of this active load of great importance. Thoughtlessness without a technical analysis becomes a major risk factor for security and comfort of the building and may cause instabilities in the structures and cause the collapse. The overall stability of the building is a very important factor in structural assessment, so all static or dynamic loads which perform actions on structures must be estimated and analyzed for their influence. To do this work demonstrates the influence of such action through the three proposed models analysis, analyzed with 4, 10 and 15 floors, in comparing the situations with consideration of this factor without also analyzing the effects of second order caused and in which situations can be neglected. Finally the analysis verified that the height of the building influence directly on the steel quantity to be added for stiffening the structure, where each addition of floors variation steel rate increases to make the stable building when subjected to wind, where such lateral force, excessive displacement conditions in specific cases, leading to global instability. Demonstrated the degree of structural interference, it creates an awareness that no matter how many floors, can analyze the structure and design it always benefiting the occupants and bringing security to the designer.

Keywords: Efforts, stability, displacement, wind.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Mapa de Deslocamentos isopletas.....	24
<b>Figura 2</b> - Fator S1 para morros e taludes.....	25
<b>Figura 3</b> - Coeficiente de arrasto com planta retangular para baixa turbulência.....	31
<b>Figura 4</b> - Coeficiente de arrasto com planta retangular para alta turbulência. ....	31
<b>Figura 5</b> -Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos.....	35
<b>Figura 6</b> - Planta baixa da situação 01 - 4 pavimentos.....	36
<b>Figura 7</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.1 .....	40
<b>Figura 8</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 1.1 .....	40
<b>Figura 9</b> - Planta baixa da situação 01 – 10 pavimentos .....	43
<b>Figura 10</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.2.....	47
<b>Figura 11</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 1.2 .....	48
<b>Figura 12</b> - Planta baixa da situação 01 – 15 pavimentos .....	51
<b>Figura 13</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.3.....	56
<b>Figura 14</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 1.3 .....	56
<b>Figura 15</b> - Planta baixa da situação 02 – 4 pavimentos .....	60
<b>Figura 16</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.1 .....	64
<b>Figura 17</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.1 .....	65
<b>Figura 18</b> - Planta baixa da situação 02 – 10 pavimentos .....	67
<b>Figura 19</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.2 .....	71
<b>Figura 20</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.2.....	72
<b>Figura 21</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.2 .....	72
<b>Figura 22</b> - Planta baixa situação 02 – 15 pavimentos .....	75
<b>Figura 23</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.3.....	80
<b>Figura 24</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.3 .....	80
<b>Figura 25</b> - Planta baixa da situação 03 – 4 pavimentos .....	84
<b>Figura 26</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.1 .....	88
<b>Figura 27</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.1 .....	88
<b>Figura 28</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.1 .....	89
<b>Figura 29</b> - Planta baixa situação 03 – 10 pavimentos .....	91
<b>Figura 30</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.2.....	95
<b>Figura 31</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.2 .....	96



<b>Figura 32</b> - Planta baixa da situação 03 – 15 pavimentos .....	99
<b>Figura 33</b> - Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.3 .....	104
<b>Figura 34</b> - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.3 .....	104
<b>Figura 35</b> - Dados para consideração da ação do vento .....	109

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Deslocamento global e local.....	41
<b>Quadro 2</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	42
<b>Quadro 3</b> - Cargas verticais atuantes .....	42
<b>Quadro 4</b> - Deslocamento global e local.....	48
<b>Quadro 5</b> - Cargas verticais atuantes .....	49
<b>Quadro 6</b> - Deslocamento global e local.....	57
<b>Quadro 7</b> - Cargas verticais atuantes .....	58
<b>Quadro 8</b> - Deslocamento global e local.....	65
<b>Quadro 9</b> - Cargas verticais atuantes .....	66
<b>Quadro 10</b> - Deslocamento global e local.....	73
<b>Quadro 11</b> - Cargas verticais atuantes .....	74
<b>Quadro 12</b> - Deslocamento global e local.....	81
<b>Quadro 13</b> - Cargas verticais atuantes .....	82
<b>Quadro 14</b> - Deslocamento global e local.....	89
<b>Quadro 15</b> - Cargas verticais atuantes .....	90
<b>Quadro 16</b> - Deslocamento global e local.....	96
<b>Quadro 17</b> - Cargas verticais atuantes .....	97
<b>Quadro 18</b> - Deslocamento global e local.....	105
<b>Quadro 19</b> - Cargas verticais atuantes .....	106
<b>Quadro 20</b> - Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação .....	110
<b>Quadro 21</b> - Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação .....	111
<b>Quadro 22</b> - Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação .....	111

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetros meteorológicos, p, fr.....	28
<b>Tabela 2</b> - Fator de correção S2. ....	28
<b>Tabela 3</b> - Fator estatístico. ....	29
<b>Tabela 4</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação .....	37
<b>Tabela 5</b> - Cálculo da velocidade característica do vento .....	38
<b>Tabela 6</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	38
<b>Tabela 7</b> - Força de arrasto do vento.....	39
<b>Tabela 8</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação .....	44
<b>Tabela 9</b> - Cálculo da velocidade característica do vento .....	44
<b>Tabela 10</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	45
<b>Tabela 11</b> - Força de arrasto do vento.....	46
<b>Tabela 12</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	50
<b>Tabela 13</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação.....	52
<b>Tabela 14</b> - Cálculo da velocidade característica do vento.....	53
<b>Tabela 15</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	53
<b>Tabela 16</b> - Força de arrasto do vento.....	55
<b>Tabela 17</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	58
<b>Tabela 18</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a 0°.....	61
<b>Tabela 19</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a 90°.....	61
<b>Tabela 20</b> - Cálculo da velocidade característica do vento a 0°.....	62
<b>Tabela 21</b> - Cálculo da velocidade característica do vento a 90°.....	62
<b>Tabela 22</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 0°.....	62
<b>Tabela 23</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 90°.....	62
<b>Tabela 24</b> - Força de arrasto do vento.....	64
<b>Tabela 25</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	67
<b>Tabela 26</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação.....	68
<b>Tabela 27</b> - Cálculo da velocidade característica do vento.....	69
<b>Tabela 28</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	69
<b>Tabela 29</b> - Força de arrasto do vento.....	71
<b>Tabela 30</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	74
<b>Tabela 31</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação.....	76

<b>Tabela 32</b> - Cálculo da velocidade característica do vento.....	77
<b>Tabela 33</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	77
<b>Tabela 34</b> - Força de arrasto do vento.....	79
<b>Tabela 35</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	83
<b>Tabela 36</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a 0°.....	85
<b>Tabela 37</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a 90°.....	85
<b>Tabela 38</b> - Cálculo da velocidade característica do vento a 0°.....	86
<b>Tabela 39</b> - Cálculo da velocidade característica do vento a 90°.....	86
<b>Tabela 40</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 0°.....	86
<b>Tabela 41</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 90°.....	86
<b>Tabela 42</b> - Força de arrasto do vento.....	88
<b>Tabela 43</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	91
<b>Tabela 44</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação.....	92
<b>Tabela 45</b> - Cálculo da velocidade característica do vento.....	93
<b>Tabela 46</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	93
<b>Tabela 47</b> - Força de arrasto do vento.....	95
<b>Tabela 48</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	98
<b>Tabela 49</b> - Fator de rugosidade e dimensões da edificação.....	100
<b>Tabela 50</b> - Cálculo da velocidade característica do vento.....	101
<b>Tabela 51</b> - Cálculo da pressão de obstrução do vento.....	101
<b>Tabela 52</b> - Força de arrasto do vento.....	103
<b>Tabela 53</b> - Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração) .....	107

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS</b> .....	<b>19</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>23</b>
3.1 AÇÕES DO VENTO .....	23
3.1.1 Velocidade básica do vento.....	24
3.1.2 S1 (fator Topográfico).....	25
3.1.3 S2 (fator de rugosidade do terreno e dimensões de edificação) .....	26
3.1.4 S3 (fator estatístico) .....	29
3.1.5 Pressões dinâmica (q vento). .....	29
3.1.6 Coeficientes de arrasto (ca) .....	30
3.1.7 Força de arrasto (fa).....	32
3.2 INÉRCIA EQUIVALENTE DO PILAR .....	33
3.3 COEFICIENTE GAMA Z.....	34
3.4 DESLOCAMENTOS-LIMITES.....	35
<b>4 ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>36</b>
4.1 ANALISE DA SITUAÇÃO 1 .....	36
4.1.1 Situação 1.1- edifício de planta horizontal 10x12m com 4 andares, pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50 .....	36
4.1.1.1 <i>Ações do vento que atuam na edificação</i> .....	37
4.1.1.2 <i>Cálculo da pressão de obstrução (Qvento) que atua na edificação</i> .....	38
4.1.1.3 <i>Cálculo do coeficiente de arrasto (Ca) que atua na edificação</i> .....	38
4.1.1.4 <i>Cálculo da força de arrasto (fa) que atua na edificação</i> .....	39
4.1.1.5 <i>Análise da situação proposta 1.1</i> .....	40
4.1.1.6 <i>Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.1</i> .....	41
4.1.1.7 <i>Coeficiente <math>\gamma_z</math></i> .....	42
4.1.2 Situação 1.2- edifício de planta horizontal 10x12m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	43

4.1.2.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	43
4.1.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	45
4.1.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	45
4.1.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	46
4.1.2.5 Análise da situação proposta 1.2.....	47
4.1.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.2.....	48
4.1.2.7 Coeficiente $\Upsilon_z$ .....	49
4.1.3 Situação 1.3- edifício de planta horizontal 10x12m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	50
4.1.3.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	51
4.1.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	53
4.1.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	53
4.1.3.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	54
4.1.3.5 Análise da situação proposta 1.3.....	55
4.1.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.3.....	56
4.1.3.7 Coeficiente $\Upsilon_z$ .....	58
4.2 ANALISE DA SITUAÇÃO 2.....	59
4.2.1 Situação 2.1 – edifício de planta horizontal 10x20m com 4 andares, pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50.....	59
4.2.1.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	60
4.2.1.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	62
4.2.1.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	62
4.2.1.4 Cálculo da força de arrasto ( $f_a$ ) que atua na edificação.....	64
4.2.1.5 Análise da situação proposta 2.1.....	64
4.2.1.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.1.....	65
4.2.1.7 Coeficiente $v_z$ .....	66
4.2.2 Situação 2.2 - edifício de planta horizontal 10x20m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	67

4.2.2.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	68
4.2.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	69
4.2.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	69
4.2.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $f_a$ ) que atua na edificação.....	70
4.2.2.5 Análise da situação proposta 2.2.....	71
4.2.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.2.....	72
4.2.2.7 Coeficiente $\Upsilon_z$ .....	74
4.2.3 Situação 2.3 - edifício de planta horizontal 10x20m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	75
4.2.3.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	76
4.2.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	77
4.2.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	78
4.2.3.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	79
4.2.3.5 Análise da situação proposta 2.3.....	79
4.2.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.3.....	81
4.2.3.7 Coeficiente $\Upsilon_z$ .....	82
4.3 ANALISE DA SITUAÇÃO 3.....	83
4.3.1 Situação 3.1 - edifício de planta horizontal 10x30m com 4 andares, pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50.....	83
4.3.1.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	84
4.3.1.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação.....	86
4.3.1.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	86
4.3.1.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	87
4.3.1.5 Análise da situação proposta 3.1.....	88
4.3.1.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.1.....	89
4.3.1.7 Coeficiente $\Upsilon_z$ .....	90
4.3.2 Situação 3.2 – edifício de planta horizontal 10x30m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	91

4.3.2.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	92
4.3.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{vento}$ ) que atua na edificação.....	93
4.3.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	93
4.3.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	94
4.3.2.5 Análise da situação proposta 3.2.....	95
4.3.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.2.....	96
4.3.2.7 Coeficiente $\Upsilon Z$ .....	97
4.3.3 Situação 3.3 - edifício de planta horizontal 10x30m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50. ....	98
4.3.3.1 Ações do vento que atuam na edificação.....	99
4.3.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{vento}$ ) que atua na edificação.....	101
4.3.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação.....	102
4.3.3.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação.....	103
4.3.3.5 Análise da situação proposta 3.3.....	103
4.3.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.3.....	105
4.3.3.7 Coeficiente $\Upsilon Z$ .....	106
<b>5 ANÁLISE DO QUANTITATIVO DE AÇO ADICIONADO .....</b>	<b>108</b>
5.1 ANÁLISE DOS DADOS.....	110
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>113</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>114</b>



## 1 INTRODUÇÃO

As cidades vêm numa crescente constante, crescente essa, impulsionada principalmente pela construção civil, construindo edifícios cada vez mais esbeltos e com maiores números de pavimentos.

Existem inúmeros fatores que influenciam e impulsionam a construção de grandes edifícios verticais. Hoje, as cidades não dispõem de áreas centrais com grandes dimensões para empreendimentos com tal necessidade, além dos valores altos cobrados por metro quadrado nas localidades, assim, a grande saída é a verticalização desses projetos, que vem possibilitar a realização do mesmo, em quaisquer áreas comumente encontrada. Outro fator contribuinte se dá também pela visão “futurista” que a nova engenharia está tendo e impondo constantemente, o desenvolvimento tecnológico também contribui de forma significativa, tanto se referindo ao aprimoramento das propriedades do concreto e do aço, quanto ao aperfeiçoamento do cálculo estrutural, tornando possível e seguro a construção de edifícios de concreto armado com grande esbeltez, e cada vez maiores números de pavimentos.

Acompanhado desse impulso vertical das construções, deve vir à atenção e o cuidado ao se projetar, evitando problemas que porventura poderão vir. A “esses problemas” pode-se citar à ação do vento na edificação, onde quanto maior for o número de pavimento erguidos, mais significativo e imprescindível torna-se a análise dessa ação, devida ao momento de grande influência estrutural provocada por ela, necessitando de sua análise de forma mais adequada e correta.

Como cita Blessmann (2001), “O vento passou a ser considerado um fator relevante conforme as construções foram adquirindo mais esbeltez, e as estruturas promovendo cada vez uma menor quantidade de material.”.

É comum em construções de edifícios de concreto armado de pequeno e médio porte a desconsideração do efeito do vento nas estruturas, porém, não se pode desconsiderá-la sem antes realizar uma análise técnica, salientando que conforto e segurança dos usuários são esferas essenciais a serem seguidas para se projetar, quando uma estrutura for concebida sem a devida análise, ao ser submetida à ação, a edificação poderá trazer tanto incomodo aos usuários, quanto instabilidade estrutural, tornando-a incômoda e preocupante, permitindo ser observada e sentida e podendo vir à ruína total ou parcial.

O vento é uma ação dinâmica. Considerando seu efeito estático na estrutura, é possível determinar o grau de interferência desta força, para com isso, designar o necessário para enrijecer e manter estável o edifício proposto, salientando ainda o quanto é influenciável tal força horizontal em estruturas cada vez mais altas e mais leves, e quanto representa estruturalmente tal redimensionamento.

Baseando nesses fundamentos e observando tal importância do assunto, busca-se demonstrar de forma específica e por meio de estudo de caso, a consideração do fator vento, atuante em três edifícios com mesma largura e comprimentos diferentes, subdividindo-os em três alturas específicas de 4, 10 e 15 pavimentos, localizados em região central da cidade de Caratinga, estado de Minas Gerais, Brasil.

Demonstrando tal influência dentro das estruturas propostas e esclarecendo a importância de uma análise correta, seja a edificação de pequena, média ou grande esbeltez, cria-se uma consciência do quão influente, cabendo examiná-la de forma correta, para sua consideração no enrijecimento da estrutura, e quando solicitada venha contrapor a ação do vento, trazendo segurança para o projetista e construtor, beneficiando os ocupantes quanto à durabilidade do imóvel e o conforto trago em edifícios não oscilantes.

## 2 CONSIDERAÇÕES CONCEITUAIS

A NBR 6118/2014 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define o concreto armado como “aqueles elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplica alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência”.

De acordo com que uma estrutura venha a ter uma altura considerável, ou que tenha uma relação expressiva entre altura e maior dimensão em planta, o vento passa a ser uma das ações mais importantes atuantes na edificação, podendo desencadear situações de instabilidade. Essa ação ao atuar em estruturas de concreto armado pode gerar cargas significativas, portanto devem ser levados em consideração para o cálculo estrutural da edificação, como cita a NBR 6118/2014:

“Os esforços devido a ação do vento devem ser considerados e recomenda-se que sejam determinados de acordo com o prescrito pela NBR 6123/1988, permitindo-se o emprego de regras simplificadas previstas em normas brasileiras específicas”.

Esses esforços devem ser calculados separadamente para, elementos de vedação, partes da estrutura e estrutura como um todo, sendo sua instabilidade relacionada com o equilíbrio de todos os elementos mencionados, sendo suas ações absorvidas e transferidas para cada elemento até serem dissipadas para fundação

A NBR 6123/1988 que trata das forças devidas ao vento em edificações é a principal norma que rege essa ação, e que vem orientar para sua adequada consideração no cálculo das edificações no Brasil, nela é sugerida alguns métodos para se obter essas forças atuantes, tornando possível o dimensionamento adequado de grandes estruturas de forma segura e possibilitando conforto aos usuários que a utilizam.

Gonçalves et al. (2007) define o vento como:

“O movimento das massas de ar decorrentes das diferenças de pressões atmosférica, que ao encontrar um obstáculo exercerá uma ação sobre o mesmo, podendo ter fluxo de ar médio denominadas de rajadas (ou turbulência), com uma velocidade superior à média, com caráter aleatório quanto à intensidade, duração e sentido, e que deverá ser considerado na determinação das forças que irão produzir solicitações nas edificações”. (Gonçalves et al. 2007)

A característica desse fluxo de ar depende de muitos fatores, dentre eles a topografia do terreno, a forma, dimensões e distribuições de barreiras, onde qual-

quer obstáculo natural ou artificial pode alterar consideravelmente o campo aerodinâmico e os esforços exercidos pelo vento, resultando em ventos de alta ou baixa turbulência.

São comumente relatados em sites, jornais e televisão, ruínas totais ou parciais de construções tais como (casas, torres, silos, caixilhos, galpões, pontes, etc.), sejam elas por estarem mal executadas ou mal dimensionadas.

Historicamente já foram registrados inúmeros acidentes envolvendo de forma direta ou indireta a ação do vento, seja com a consideração inadequada desse fator, ou mesmo a desconsideração dele. No dia 29 de janeiro de 2011, o edifício Real Class que estava em processo construtivo desabou, segundo laudos emitidos por engenheiros da UFPA, o principal fator para queda foi a não consideração do efeito do vento, onde no dia do acidente os ventos eram de 40 km/h. A edificação levou cerca de 10 segundos para desabar<sup>1</sup>.

A quantificação do efeito estático dessa ação dinâmica e de caráter aleatório é considerada difícil, mas baseando-se em normas pode se obter os valores mais próximos. Além disso, segundo Gonçalves et al. (2007), para uma quantificação mais próxima da realidade, esta velocidade deve ser avaliada através de considerações relacionadas com o local, rugosidade e tipo do terreno, e também a altura e a finalidade da edificação, sendo tais características influenciáveis no resultado.

Antes de determinar a força aplicada pelo vento nas edificações é preciso conhecer, de acordo com a NBR 6123/1988, alguns termos importantes que ajudam a compreender seus efeitos, destacando inicialmente que o vento sempre atua perpendicularmente a superfície que obstrui sua passagem:

- a) Barlavento: região da edificação atingida diretamente pelo vento;
- b) Sotavento: região oposta de onde sopra o vento, em relação a edificação;
- c) Sobrepressão: pressão efetiva acima da atmosférica;
- d) Sucção: pressão efetiva abaixo da pressão atmosférica de referência;

A verificação adequada dessa ação horizontal em uma edificação pode impor a consideração do efeito de segunda ordem de forma global. A NBR 6118/2014 define os efeitos de segunda ordem como sendo aqueles provocados por forças verticais e horizontais (vento), que se somam aos obtidos de primeira ordem, quando a

---

<sup>1</sup> Prédio que desabou em Belém tinha erro de cálculo, diz laudo, São Paulo, SP. Disponível em: <<https://ibape-nacional.com.br/site/predio-que-desabou-em-belem-tinha-erro-de-calculo-diz-laudo/>>. Acesso em out. 2015.

análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada e um comportamento não linear dos materiais, podendo ser desprezadas quando a mesma não representar um acréscimo superior a 10% nas reações e solicitações relevantes na estrutura. O efeito de primeira ordem é aquela deformação existente devido ao momento fletor gerado pela presença da carga vertical e da carga horizontal (vento) aplicada na estrutura, são os esforços gerados a partir da geometria inicial da estrutura. Em acompanhamento, o efeito de segunda ordem é aquele resultante do deslocamento multiplicado pela distância deformada, são aqueles oriundos a partir da deformação da estrutura. Após a análise de tal influência e considerada quando necessária, quando solicitada, a armadura dimensionada e presente possa agir para contrapor essa ação, por essa razão o projetista deve sempre adotar a direção do vento que seja mais desfavorável para a estrutura.

Toda estrutura deve ser projetada de forma que mesmo submetidas a variadas ações esteja sempre estável, assim analisando de forma global a edificação, pode-se caracterizar a estrutura quanto ao seu grau de mobilidade, classificando a estrutura quanto há nós fixos e móveis, e por decorrência considerar ou desprezar os efeitos de segunda ordem no cálculo da estrutura.

Carvalho & Pinheiro (2009) define como nós fixos aqueles em que os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos, e por decorrência o efeito de segunda ordem desprezível, considerando somente os de primeira ordem. Os nós móveis são definidos por tal, como aqueles deslocamentos horizontais consideráveis, e em decorrência, os efeitos globais de segunda ordem importantes, sendo considerados ambos.

A formação do pórtico dos edifícios dados pelo elemento vertical (pilares) e pelo elemento horizontal (vigas) atua de maneira favorável para absorção dos esforços provocados pela ação do vento, devendo ser concebido de forma que possa ser o mais resistente possível a essa ação.

Sendo assim Carvalho & Pinheiro (2014) afirmam, que supondo simetria de distribuição de pilares e vigas, das características geométricas e da ação do vento é possível admitir que a ação do vento possa ser analisada considerando que os pórticos estejam alinhados em série, ligados por elementos de grande área, mas que não tem a capacidade de transmitir momentos fletores (fazem o papel das lajes), e sujeitos a ação total do vento.

Um arranjo adequado e bem organizado da estrutura da edificação contribui de forma significativa para o seu comportamento, quando a mesma é submetida às ações. Segundo a NBR 6118/2014, as estruturas devem ser construídas de forma que, sob condições ambientais previstas e respeitadas, conservem sua segurança, estabilidade, aptidão em serviço e aparência aceitável, durante um período prefixado de tempo, sem exigir medidas extras de manutenção e reparo.

A composição correta dos elementos estruturais possibilita modificar a estrutura de modo a proporcionar aumento de rigidez nas direções mais críticas do conjunto, para que venha se comportar melhor quando submetidas a ação horizontal, esse método é denominado de contraventamento, e tem sua definição na NBR 6118/2014: “por conveniência de análise, é possível identificar, dentro da estrutura, subestruturas, que devido a sua grande rigidez às ações horizontais, resistem a maior parte dos esforços decorrentes dessas ações”, podemos citar como elementos de contraventamento dentro de uma estrutura as caixas dos elevadores e pilares parede de concreto armado, que são representados por pilares de grande rigidez ou núcleos de rigidez, ou mesmo elementos de pequenas rigidez, que em conjunto venha contribuir de forma significativa na rigidez das ações horizontais.

Essa presente consideração conceitual, aborda conceitos que foram julgados essenciais para uma melhor compreensão e análise do tema proposto, com base em todas as informações e de outros conceitos essenciais torna-se possível analisar o comportamento de edificações, quantificando tal ação e determinando o que é preciso para combater tal efeito.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 AÇÕES DO VENTO

A velocidade característica é o valor que o vento atuará na determinada edificação, ela particulariza cada caso específico considerando:

a) Topografia do local: dependendo da localização da construção da edificação, pode haver alteração considerável no valor do resultado;

b) Rugosidade do terreno: a presença ou não de obstáculos, onde a disposição e a altura dos obstáculos aos arredores, muda o perfil de velocidade do vento;

c) Altura da edificação e dimensões da edificação: onde quanto mais alto a edificação maior será a ação do vento, e maior será o tempo de incidência da mesma;

d) Tipos de ocupação: deve estabelecer critérios que possam considerar riscos de vida dos envolvidos, depende exclusivamente do objetivo da construção, sendo previstos tanto a vida útil quanto quantidade de ocupantes da mesma.

Faz-se necessário a análise do local e a consideração real dos elementos mencionados, tendo eles influência direta na força dessa ação na edificação, permitindo a construção de uma estrutura preparada para tal esforço quando sujeita a mesma. Nesse sentido a NBR 6123/2013, propõe como procedimento para determinação da velocidade característica a seguinte equação:

$$VK = V0 \times S1 \times S2 \times S3 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

- $V0$  é a velocidade básica do vento (imagem 1);
- $S1$  é um fator que depende da topografia (fator topográfico);
- $S2$  é o fator rugosidade do terreno (dimensões e altura da edificação);
- $S3$  é o fator estatístico.

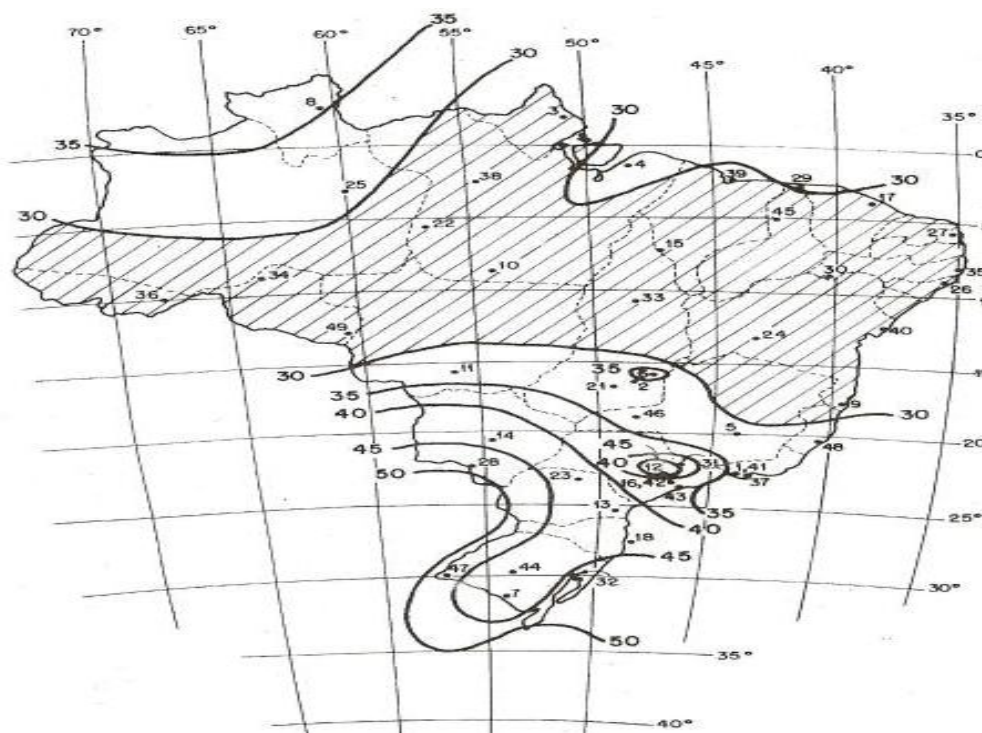
Ambos os fatores visam corrigir a velocidade característica do vento em função da localização do empreendimento.

### 3.1.1 Velocidade básica do vento

A NBR 6123/88 determina a intensidade do vento por regiões, que é medida através de anemômetros ou anemógrafos, porém considerações de variabilidade devem ser levadas em conta, admitindo a incidência do vento na edificação em quaisquer direções. Segundo a presente norma a velocidade básica do vento é um fator indicado pelo mapa de isopletas (figura 1), definida através de muitos estudos, onde foi determinada a velocidade máxima média que o vento pode alcançar em 3 segundos, em um período de retorno de 50 anos, a uma altura de 10 metros do nível do terreno, considerando um terreno plano, em campo aberto e sem obstruções.

A NBR 6123/88 coloca à disposição os valores da velocidade básica, na forma de mapa de isopletas, conforme a figura abaixo:

**Figura 1-** Mapa de isopletas.



Fonte: NBR 6123:88

A imagem apresenta um mapa característico que orienta quanto a consideração de uma determinada velocidade básica, essas linhas seguem um alinhamento considerando uma possível conformidade quanto à altura da região, sendo orientado de um determinado ponto de referência.



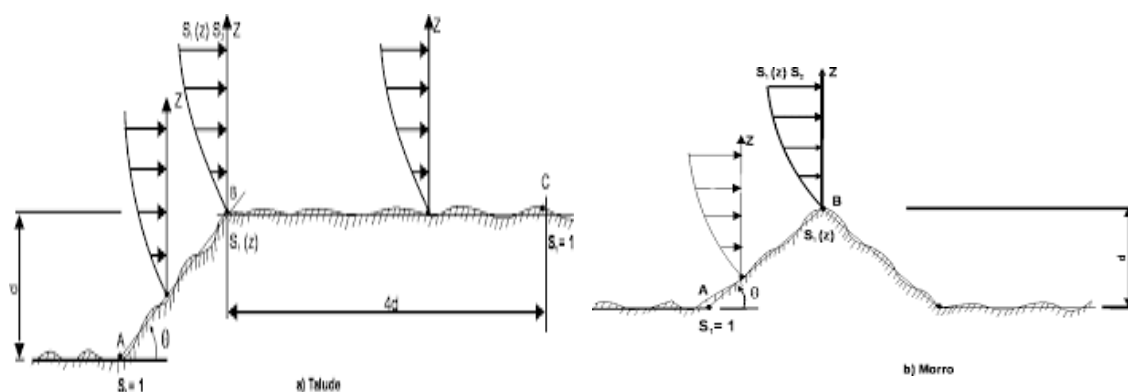
### 3.1.2 S1 (Fator Topográfico)

O fator S1, é um dos fatores de correção da velocidade característica, é relacionado ao relevo presente na região a ser edificada, considerando, portanto, o aumento ou a diminuição da velocidade básica em função da topografia local.

A NBR 6123/2013 considera três situações básicas:

- Terrenos planos com poucas ondulações → S1 = 1,0
- Vales protegidos do vento em todas as direções → S1 = 0,9
- Taludes e morros: valor deve ser encontrado em função do ângulo de inclinação do talude ou do morro. (Figura 2)

**Figura 2 - Fator S1 para morros e taludes.**



Fonte: NBR 6123/1988

No ponto B vale as seguintes equações:

$$\theta \leq 3^\circ \rightarrow S1(z) = 1,0 \quad (\text{Equação 2})$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \rightarrow S1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1 \quad (\text{Equação 3})$$

$$\theta \geq 45^\circ \rightarrow S1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) 0,31 \geq 1 \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

- d é a diferença da base ao topo do talude;
- z é a altura;
- $\theta$  é a inclinação média do talude ou morro.

Analisando os valores admitidos em relação à topografia, observamos que em casos de terrenos planos, o valor estabelecido é 1 (um), isso se deve a existência de poucas ondulações e obstruções no terreno, sendo a ação do vento concebida de forma direta sem nenhuma influência de perda ou ganho de força do meio. No de construções em vales, como a edificação será envolvida por uma espécie de proteção natural, o valor estabelecido é corretivo e tende a diminuir o resultado final com fator 0,9. Em taludes e morros não existe valor fixado pela norma, esse é influenciado pelo grau de inclinação do morro ou talude, pode-se apenas afirmar que seu resultado será sempre maior ou igual a 1 (um), e deverá ser estabelecido pela equação (4).

### **3.1.3 S2 (fator de rugosidade do terreno e dimensões de edificação)**

Outro fator de correção da velocidade característica, também direcionada pela NBR 6123/88, é definida como o fator que considera o efeito combinado da rugosidade e da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte dela em consideração.

Quando se refere à rugosidade do terreno, refere-se à dimensão da edificação e a presença de obstáculos ao redor do mesmo. Podemos atentar que num terreno plano, aberto e sem obstruções a velocidade do vento de incidência vai ser maior do que comparado a lugares com obstáculos, exemplificando grandes metrópoles.

A NBR 6123/2013, estabelece cinco categorias de terreno, em função da presença de obstáculos nos arredores, devendo então ser estabelecida de acordo com a característica de rugosidade no terreno, se subdividem em:

a) CATEGORIA I: superfícies lisas e com grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, ex. mar, lagos e pântanos sem vegetação;

b) CATEGORIA II: terrenos abertos e com poucos obstáculos, tais como árvores e edificações baixas, com cota média inferior a 1 metro. Ex. fazendas sem muros, campos de aviação, pântanos com vegetação rala, etc.

c) CATEGORIA III: terrenos planos ou ondulados com poucos obstáculos, com cota média de 3 metros. Ex. casas de campo, fazendas com muros, subúrbios com casas baixas.

d) CATEGORIA IV: terreno com muitos obstáculos com poucos espaços e situados em zonas florestais, industriais ou urbanizados, com cota média de 10 metros. Ex. cidades pequenas, subúrbios desenvolvidos, etc.

e) CATEGORIA V: terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos, com cota média do topo igual ou superior a 25 metros. Ex. centros de grandes cidades, florestas altas, complexos industriais, etc.

Para classificação pelo fator S2 devem ser observadas também as dimensões da estrutura, onde quanto maior for a edificação, maior será o turbilhão envolvido e o tempo necessário para envolvê-la completamente, e conseqüentemente, menor a velocidade média, ou seja a medida que aumentam as dimensões, aumenta o intervalo de tempo a ser utilizado no cálculo da velocidade e diminui a velocidade característica do vento. É através desse tempo de envoltória da relação tempo/altura que se definem as classes para categoria S2.

A norma brasileira NBR 6123/88, define como três, as classes da edificação e seus elementos, considerando os intervalos de 3,5 e 10 segundos, definidos a seguir:

a) CLASSE A (3 segundos): unidades e sistemas de vedação e fixação, e toda edificação que não exceda a 20 m horizontalmente ou verticalmente;

b) CLASSE B (5 segundos): edificações compreendidas entre 20 e 50 m;

c) CLASSE C (10 segundos): edificação onde maior dimensão horizontal não exceda 50 m.

Após analisadas e definidas as classes e categorias da edificação, utiliza-se da equação (5), para o cálculo do fator rugosidade do terreno. Observamos que há a presença das incógnitas, z, p, Fr, e B na equação, sendo seus valores determinados pelas tabelas 3.1 e 3.2, devendo ser estabelecidos de acordo com a categoria do terreno e a classe da edificação, ambas estabelecidas após a análise do terreno a ser edificado.

$$S2 = B.Fr. \left(\frac{Z}{10}\right)^P \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

Z - é a altura acima do terreno.

Fr - fator de rajada.

B – parâmetro de correção da classe de edificação.

P – parâmetro meteorológico.

Com a tabela 1, podemos definir o valor das incógnitas z, p e fr, essenciais para o cálculo do fator rugosidade do terreno, sendo estabelecidas em função da classe e das 5 categorias da edificação.

**Tabela 1 - Parâmetros meteorológicos, p, fr**

Parâmetros meteorológicos					
Categoria	Z (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,1	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1	1	1
		Fr	1	0,98	0,95
III	350	p	0,085	0,09	0,1
		b	0,94	0,94	0,93
IV	420	p	0,1	0,105	0,115
		b	0,86	0,85	0,84
V	500	p	0,12	0,125	0,135
		b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: NBR 6123/1988

A tabela 2 também é utilizada para determinação do fator S2, sua diferença em relação a tabela anterior, se deve ao fato da mesma possuir várias categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões de edificações.

**Tabela 2 - Fator de correção S2.**

Z (m)	Fator S2														
	Categoria														
	I			II			III			IV			V		
	Classe			Classe			Classe			Classe			Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,96	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,1	1,09	1,06	1	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,8	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,9	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,8	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,1	1,08	1,06	1,05	1,03	1	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,2	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,1	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,1	1,08	1,06	1,01	1	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,2	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,2	1,2	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,2	1,18	1,16	1,14	1,1	1,09	1,07
160	1,3	1,3	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,2	1,18	1,16	1,12	1,11	1,1
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,2	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,2	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,3	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,2	1,2	1,18
300	...	...	...	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	...	...	...	...	...	...	1,34	1,34	1,33	1,32	1,3	1,29	1,26	1,26	1,26
400	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,35	1,35	1,33	1,3	1,3	1,3
450	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,32	1,32	1,32
500	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1,34	1,34	1,34

Fonte: NBR 6123/1988

### 3.1.4 S3 (fator estatístico)

O fator S3 baseia-se em conceitos probabilísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação ou de suas partes.

A NBR 6123/2013 estabelece como vida útil da edificação um período de 50 anos, que pode ser um tempo médio de recorrência da velocidade básica do vento, e com uma probabilidade de 63% desse valor ser excedido pelo menos uma vez no tempo estimado.

O valor do fator estatístico, é estabelecido pela tabela 3, sendo divididos por 5 grupos de edificação e ocupação. Em observância a tal tabela, compreende-se que quanto maior for a duração do tempo da edificação e a relação com a quantidade de pessoas a ser atendida, mais crescente se torna o valor considerado, tendo variância de 0,83 a 1,10.

**Tabela 3 - Fator estatístico.**

Grupo	Descrição	S3
1	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 comunicação etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústrias com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais etc.).	0,95
4	Vedações (Telhas, painéis de vedação etc.).	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas do grupo 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: NBR 6123/1988.

### 3.1.5 Pressões dinâmica (q vento).

Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), a pressão de obstrução causada pelo vento (pressão dinâmica do vento), correspondente a velocidade característica pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$q=0,613V_K^2$$

(Equação 6)

Com a velocidade característica determinada é possível encontrar a pressão dinâmica pela formula acima. Essa pressão tem incidência perpendicular à superfície da estrutura, e é de extrema importância, pois será a referência para todos os demais pontos na determinação da estática total, sendo solicitada para o cálculo da força de arrasto.

### 3.1.6 Coeficientes de arrasto ( $c_a$ )

O coeficiente de arrasto é utilizado na avaliação da força global na estrutura, sendo determinado pelo item 6.3 da NBR 6123/1988, podendo variar de 0,7 a 2,2 tendo esse valor em função da forma da edificação.

Como mencionado, o coeficiente de arrasto é utilizado num contexto global da edificação, baseando a atuação do vento sempre perpendicular a edificação, são considerados quando a edificação tem uma grande altura, superando em muito as dimensões em planta, ou que possua várias aberturas que possibilitem diferentes valores de coeficiente de pressão interno.

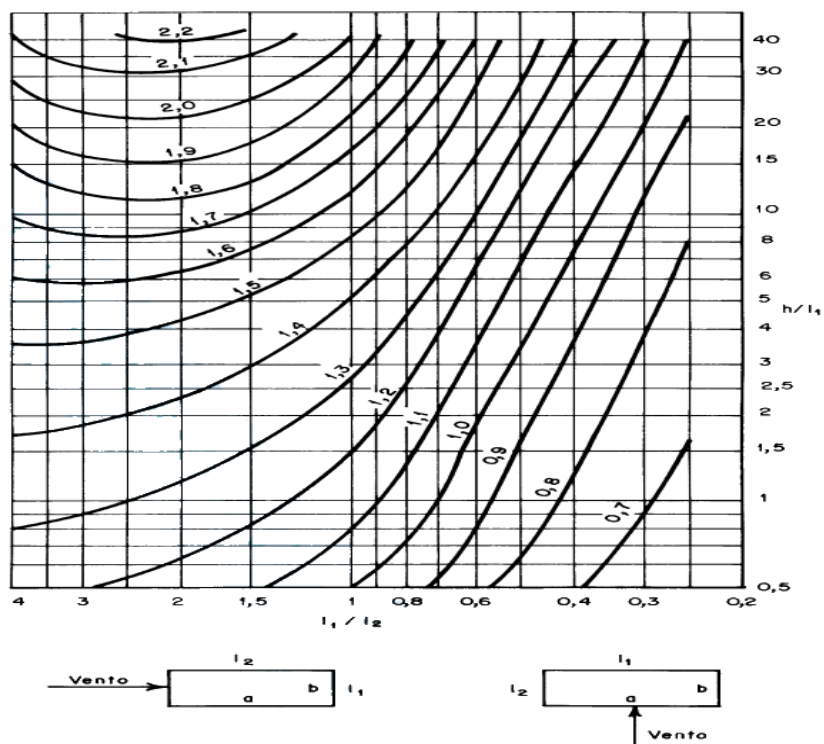
De acordo com a NBR 6123/1998, na determinação do Coeficiente de arrasto para edificações de plantas retangulares (edifícios de andares múltiplos), devem ser analisadas principalmente as condições de turbulência ou não do vento.

Os gráficos, ilustrados nas figuras 3 e 4 vêm mostrar os valores do coeficiente de arrasto para baixa e alta turbulência.

A figura 3 exemplifica o coeficiente de arrasto para baixa turbulência, ou seja, a possível construção em campos abertos e planos, caracterizados pela ausência de obstrução.

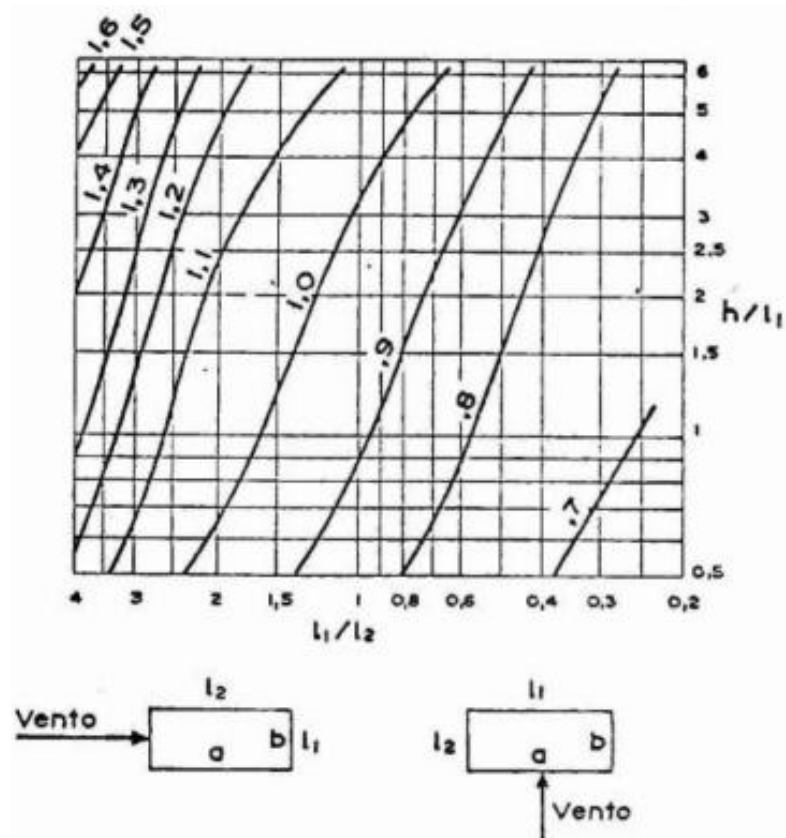
A figura 4 é para edificações consideradas de alta turbulência, característicos de grandes cidades com categoria IV e V, em que geralmente há uma diminuição no coeficiente, pois a sucção a Sotavento é reduzida.

**Figura 3** - Coeficiente de arrasto com planta retangular para baixa turbulência



Fonte: NBR 6123/1988

**Figura 4:** Coeficiente de arrasto com planta retangular para alta turbulência.



Fonte: NBR 6123/1988

O coeficiente é estabelecido baseado nas relações  $H/L1$  e  $L1/L2$ , onde  $h$  é a altura da edificação acima do terreno,  $L1$  é a largura da edificação (perpendicular ao vento) e  $L2$  é a profundidade da edificação (na direção do vento).

Para se admitir que o vento é de fato turbulento, a NBR 6123/1988, descreve algumas recomendações com condições mínimas para tal consideração, sendo estas transcritas a seguir:

É considerada de alta turbulência quando sua altura não exceda duas vezes a média das edificações vizinhas, estendendo na direção do vento, a distância de:

- a) 500 metros, para edificações de até 40 metros de altura;
- b) 1000 metros, para edificação de até 55 metros de altura;
- c) 2000 metros, para edificação de até 70 metros de altura;
- d) 3000 metros, para uma edificação de até 80 metros de altura.

Para a definição do tipo de turbulência, basta analisar as edificações vizinhas, obter a média e situá-las a uma distância 'd' mínima na direção incidente do vento. Existem mais casos particulares e que podem vir a influenciar, porém, não é de interesse do trabalho descrever toda NBR 6123/1988, uma vez que os itens descritos anteriormente satisfazem uma boa dedução de tal importância e do objeto em análise.

### **3.1.7 Força de arrasto ( $f_a$ ).**

A força de arrasto é a componente da força global na direção do vento, a aplicação mais comum dessa força, ocorre na determinação da ação em múltiplos andares, torres e estruturas isoladas, tal força é de grande importância, permitindo determinar ações características em toda estrutura, onde obter a força global numa direção se torna mais simples do que em várias superfícies.

Definido o coeficiente de arrasto ( $C_a$ ), a pressão dinâmica do vento ( $q_{vento}$ ) baseado nas premissas mencionadas nos itens anteriores, e com a área frontal efetiva perpendicular à direção do vento ( $A_e$ ), é possível calcular a força de arrasto atuante na edificação, através da equação (7).

$$F_a = C_a \times q \times A_e$$

(Equação 7)



### 3.2 INÉRCIA EQUIVALENTE DO PILAR

De acordo com Carvalho & Pinheiro (2009), é usual considerar o conjunto de vigas e pilares comportando-se como um pórtico. Para isso, interessa definir para um determinado pórtico um pilar equivalente, ou seja, um pilar que tenha a mesma rigidez do pórtico. Isto é feito admitindo que atue no pórtico uma força horizontal igual a  $F$  e calculando o deslocamento do seu topo, chamado de  $\delta_{\text{pórtico}}$ .

Para o cálculo desse deslocamento, pode-se usar de softwares como o FTOOL, basta tomar um pilar engastado na base e livre na outra extremidade, com a mesma altura e submetido à mesma força horizontal  $F$  do pórtico, e tendo um deslocamento.  $\delta_{\text{pilar}} = \delta_{\text{pórtico}}$ . O deslocamento horizontal do pilar no topo é dado por:

$$\delta_{\text{pilar}} = (F.H^3) / (3.E.I) \quad (\text{Equação 8})$$

Com o valor do deslocamento, obtido através da (equação 3.8), é possível descobrir a rigidez equivalente do pórtico através da seguinte equação.

$$(E.I)_{\text{pilar}} = (F.H^3) / (3.E. \delta_{\text{pórtico}}) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

$F$ : força horizontal aplicada;

$H$ : altura da edificação ou pórtico;

$(E.I)$ : rigidez equivalente do pórtico;

$\delta$ : deslocamento do pórtico.

Segundo a NBR 6118/2003, o deslocamento máximo no topo de uma edificação é calculado por:

$$\delta_{\text{MÁX}} = (H) / (1700) \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

$H_{\text{tot}}$ : Altura total da Edificação.

### 3.3 COEFICIENTE GAMA Z

Como já mencionado, uma estrutura deve sempre estar estável, fazendo necessário a análise e a consideração de todos os efeitos influenciáveis, citando o vento com uma das principais causadoras de instabilidade.

Uma forma de avaliar a estabilidade das estruturas de concreto armado é o coeficiente gama z, sendo capaz de avaliar a estabilidade de forma simples e bastante eficiente, estimando os esforços de segunda ordem por uma simples majoração em relação aos de primeira ordem.

O coeficiente gama z faz a avaliação dos esforços de segunda ordem globais, válidos para estruturas reticuladas de no mínimo 4 andares. Para determinar este fator existem três formas, porém será adotado o coeficiente  $\gamma_z$ , em que segundo a NBR 6118/2014, item 15.5.3 “ele pode ser determinado a partir dos resultados de uma análise linear de primeira ordem, para cada caso de carregamento, adotando-se os valores de rigidez”.

O valor de  $\gamma_z$  é encontrado pela formula:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad \text{(Equação 11)}$$

Onde:

$M_{1,tot,d}$ : é o momento de tombamento

$\Delta M_{tot,d}$ : é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura.

Considera como nós fixos quando  $\gamma_z < 1,1$  e de nós móveis válidos para  $1,1 < \gamma_z < 1,3$ , onde é majorado  $0,95 \cdot \gamma_z$  nos esforços horizontais da combinação de carregamento dos nós móveis, para assim determinar o valor do momento fletor na base do pilar estudado.

Para combater essa diferença de força horizontal e momentos acrescidos, deve-se enrijecer a estrutura, geralmente na parte crítica da ação do vento, reforçando a estrutura com acréscimo de aço e/ou criando subestruturas de contraventamento.

### 3.4 DESLOCAMENTOS-LIMITES

Visando verificar e atender o estado-limite de deformação, a nbr 6118:2014 cria grupos e tabela (Figura 5) auxiliando assim o controle. A ação do vento, dentro deste elemento da norma, encontra-se especificada no grupo “efeitos em elementos não estruturais” em que leva em consideração a movimentação lateral de edifícios, considerando efeito global e local de movimentação da estrutura conforme a tabela 13.3 da Nbr.

**Figura 5 – Tabela 13.3 – Limites para deslocamentos**

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell / 250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell / 350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell / 250^{1)}$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total Ocorrido após a construção do piso	$\ell / 350+$ contraflecha <sup>2)</sup> $\ell / 600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell / 500^{3)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell / 250^{3)}$ ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente ( $\psi_1=0,30$ )	$H/1700$ ou $H/850^{5)}$ entre pavimentos <sup>6)</sup>
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell / 400^{7)}$ ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$\ell / 350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$\ell / 175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenação	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		

<sup>1)</sup> As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.  
<sup>2)</sup> Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que  $\ell / 350$ .  
<sup>3)</sup> O vão  $\ell$  deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.  
<sup>4)</sup> Rotação nos elementos que suportam paredes.  
<sup>5)</sup>  $H$  é a altura total do edifício e  $H_1$  o desnível entre dois pavimentos vizinhos.  
<sup>6)</sup> Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando  $H_1$  representa o comprimento do lintel.  
<sup>7)</sup> O valor  $\ell$  refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

**NOTAS**  
1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão  $\ell$  suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.  
2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor  $\ell$  é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.  
3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11.  
4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

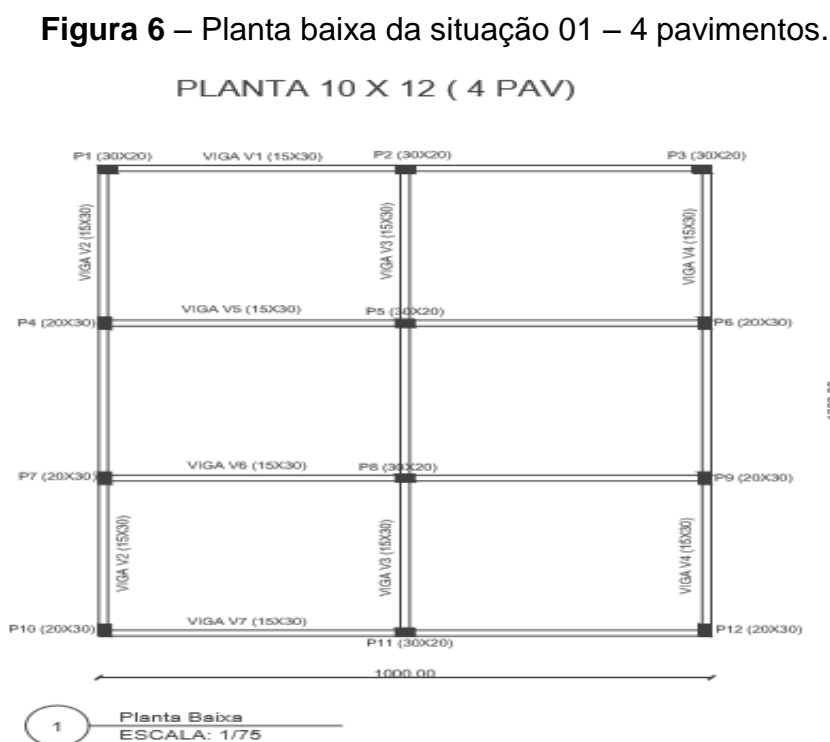
## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso se baseia na análise de três edifícios de diferentes medidas, subdividindo-os em alturas específicas de 4, 10 e 15 pavimentos, localizados em região central da cidade de Caratinga, estado de Minas Gerais, Brasil, em que será quantificado a ação do vento desta região e verificado a influência desta força nas estruturas, a pesquisa será dividida nas correspondentes etapas:

- Calculo da ação do vento na região determinada;
- Calculo do deslocamento horizontal da edificação;
- Análise do parâmetro Gama Z
- Verificação de deslocamento excessivo na estrutura
- Redimensionamento estrutural

### 4.1 ANÁLISE DA SITUAÇÃO 1

#### 4.1.1 Situação 1.1- edifício de planta horizontal 10x12m com 4 andares, pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50



Fonte:Próprio Autor (2016)

#### 4.1.1.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_0.S1.S2.S3$$

$V_0 = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isoplefas NBR 6123/1988).

$S1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota média do topo dos obstáculos é considerada igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20m, significa edificação de classe A.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela fórmula (12):

$$S_2 = b.Fr.\left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad \text{(Equação 12)}$$

Em que:

$Z$  consiste na altura acima do terreno;

$Fr$  é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

$b$  é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

$p$  é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 4, NBR 6123:1988).

$S3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 4 - Fator de rugosidade e dimensões da edificação**

Altura(m)	$S_2$
3,0	0,744
6,0	0,809
9,0	0,849
12,0	0,879

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 5** - Cálculo da velocidade característica do vento

Altura(m)	Vk(m/s)
3,0	22,32
6,0	24,27
9,0	25,47
12,0	26,37

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.1.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $Q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (\text{Equação 13})$$

**Tabela 6** - Cálculo da pressão de obstrução do vento

Altura(m)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,305
6,0	0,361
9,0	0,397
12,0	0,426

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.1.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de alta turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 5 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a 0°):

$$H/l_1 = 12/10$$

$$H/l_1 = 1,2 \quad (\text{Equação 14})$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/12 = 0,83 \quad (\text{Equação 15})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a 90°):

$$H/l_1 = 12/12$$

$$H/l_1 = 1,0 \quad (\text{Equação 16})$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 12/10 = 1,2 \quad (\text{Equação 17})$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a 90° por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 3 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 0,944$

#### 4.1.1.4 Cálculo da força de arrasto ( $f_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 18})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

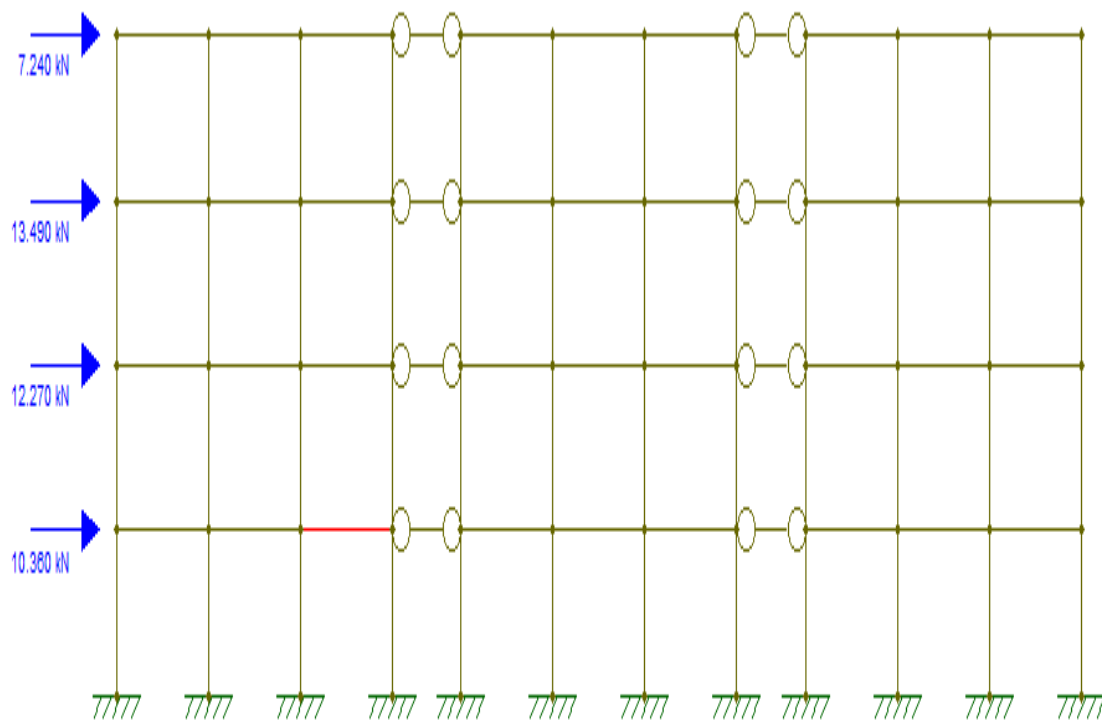
**Tabela 7 – Força de arrasto do vento**

Pav	H(m)	Vk(m/s)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$A_e$ (m <sup>2</sup> )	$C_a$	$F_a$ (kN)
1	3,0	22,32	0,305	36,0	0,944	10,36
2	6,0	24,27	0,361	36,0	0,944	12,27
3	9,0	25,47	0,397	36,0	0,944	13,49
4	12,0	26,37	0,426	18,0	0,944	7,24
<b>TOTAL</b>						<b>43,36</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

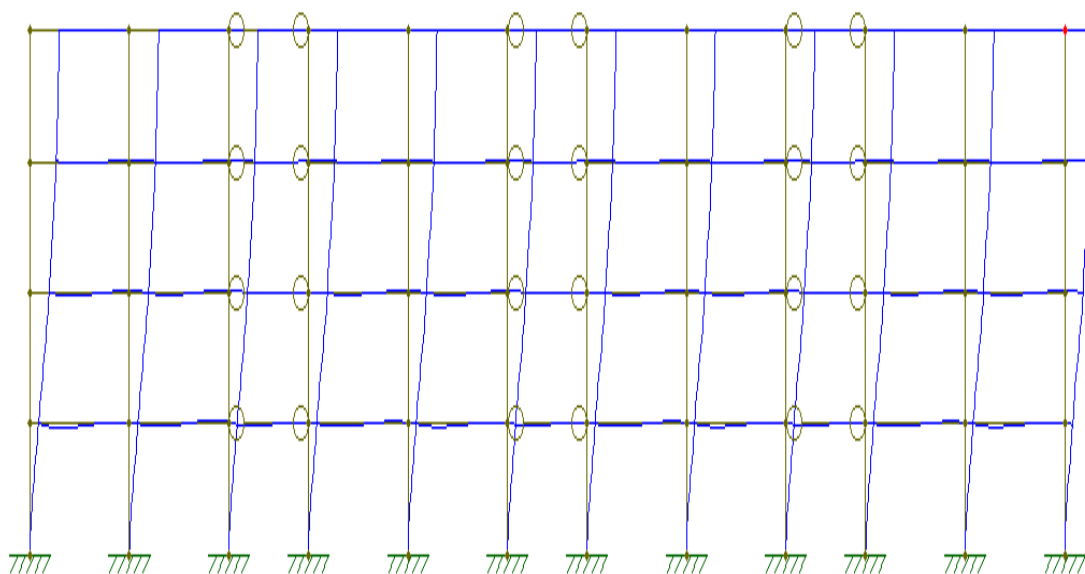
#### 4.1.1.5 Análise da situação proposta 1.1

**Figura 7** -Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.1



Fonte: Software Ftool

**Figura 8** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 1.1



Fonte: Software Ftool



#### 4.1.1.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.1

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 1 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{ipvto}$
4	0,29	0,09	0,01
3	0,27	0,08	0,02
2	0,21	0,06	0,03
1	0,11	0,03	0,03

Fonte: Próprio Autor (2016)

Em que:

$\delta h_i$ : deslocamento horizontal por pavimento;

$\delta h_i \cdot \Psi_1$ : deslocamento horizontal multiplicado pelo fator de ponderação;

$\delta h_{ipvto}$ : diferença deslocamento horizontal entre pavimentos.

O deslocamento no topo da edificação é de 0,29cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,09cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\max} = H/1700$$

$$\delta h_{i\max} = 12/1700 = 0,70 \text{ cm} \quad (\text{Equação 19})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,\text{local}} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,\text{local}} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 20})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,03cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85.5600.251/2 = 2,38.10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 21})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F.H^3) / (3.E.I)$$

$$I = (43,36.12^3) / (3. 2,38.10^7 . 0,0009) = 0,185 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 22})$$

#### 4.1.1.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 2– Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.12.1,5=	180
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>180</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.12.1,5=	180
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.12.18=	108
Permanente	Paredes de 15cm	(10.4+12.3).0,15.2,70.18=	554,04
Permanente	Vigas de 15x50cm	(4.10 + 3.12).0,15.0,50.25=	142,50
Permanente	Pilares de 20x30cm	0,20.0,30.3,00.12.25	54
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1038,54</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>1218,54</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4P_{gi} + 1,4q_i) \cdot \delta h_i \quad (\text{Equação 23})$$

**Quadro 2 – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)**

<b>Andar</b>	<b>Peso (kN)</b>	<b>Coeficiente</b>	<b><math>\delta h_i</math> (cm)</b>	<b><math>\Delta M_{dtot,d}</math> (kN.m)</b>
4	1218,54	1,4	0,29	4,95
3	1218,54	1,4	0,27	4,61

2	1218,54	1,4	0,21	3,58
1	1218,54	1,4	0,11	1,88
<b>Σ Total</b>				<b>15,02</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum Hvi \cdot hi \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad (\text{Equação 24})$$

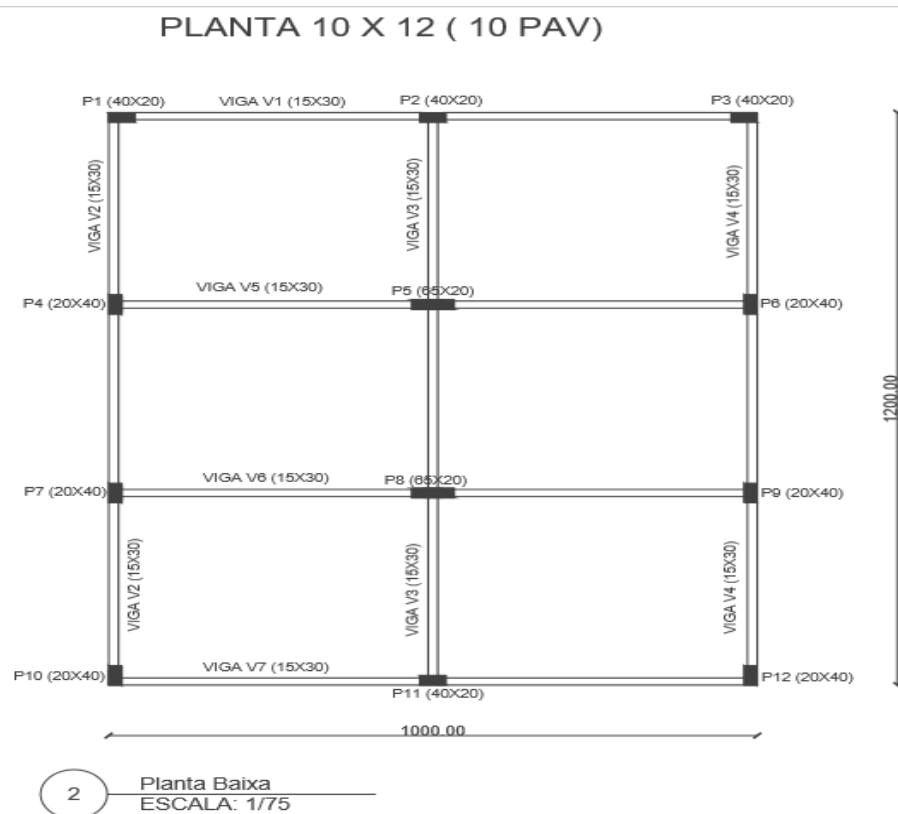
$$M_{1,av} = 0,84 \cdot 4 \cdot (10,36 \cdot 3,00 + 12,27 \cdot 6,00 + 13,49 \cdot 9,00 + 12,00 \cdot 7,24) = 1051,64 \text{KNm}$$

$$\text{Assim } Yz = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{15,02}{1051,64}} = 1,01 < 1,1 \quad (\text{Equação 25})$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

#### 4.1.2 Situação 1.2- edifício de planta horizontal 10x12m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.

**Figura 9**–Planta baixa da situação 01 – 10 pavimentos.



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.2.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (\text{Equação 26})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isopletras NBR 6123 (1988) ).

$S1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 27})$$

Em que:

$Z$  consiste na altura acima do terreno;

$Fr$  é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

$b$  é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

$p$  é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

$S3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 8** - Fator de rugosidade e dimensões da edificação

Altura(m)	S2
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 9** - Cálculo da velocidade característica do vento

<b>Altura(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25

Fonte: Próprio Autor (2016)

4.1.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2k \quad (\text{Equação 28})$$

**Tabela 10** - Cálculo da pressão de obstrução do vento

<b>Altura(m)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>
3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524

Fonte: Próprio Autor (2016)

4.1.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a 0°):

$$H/l_1 = 30/10$$

$$H/l_1 = 3,0$$

(Equação 29)

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/12 = 0,83 \quad (\text{Equação 30})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 30/12$$

$$H/l_1 = 2,5 \quad (\text{Equação 31})$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 12/10 = 1,2 \quad (\text{Equação 32})$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a  $90^\circ$  por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 1,333$

#### 4.1.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 33})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

**Tabela 11 – Força de arrasto do vento**

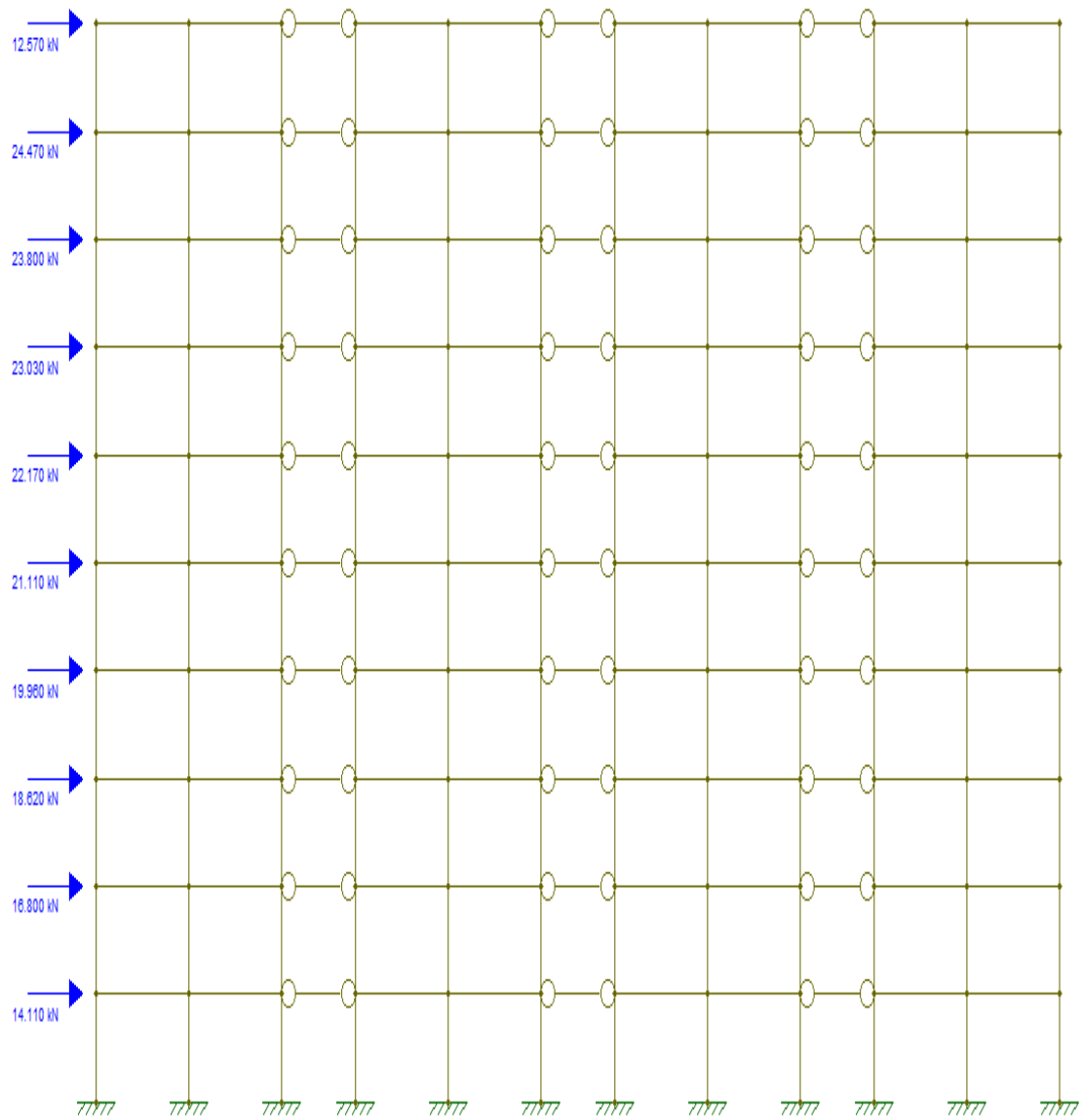
$P_{av}$	H(m)	$V_k$ (m/s)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$A_e$ (m <sup>2</sup> )	$C_a$	$F_a$ (kN)
----------	------	-------------	---	-------------------------	-------	------------

1	3,0	21,93	0,294	36,0	1,333	14,11
2	6,0	23,91	0,350	36,0	1,333	16,80
3	9,0	25,17	0,388	36,0	1,333	18,62
4	12,0	26,07	0,416	36,0	1,333	19,96
5	15,0	26,82	0,440	36,0	1,333	21,11
6	18,0	27,45	0,462	36,0	1,333	22,17
7	21,0	27,99	0,480	36,0	1,333	23,03
8	24,0	28,44	0,496	36,0	1,333	23,80
9	27,0	28,86	0,510	36,0	1,333	24,47
10	30,0	29,25	0,524	18,0	1,333	12,57
					<b>TOTAL</b>	<b>196,64</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.2.5 Análise da situação proposta 1.2

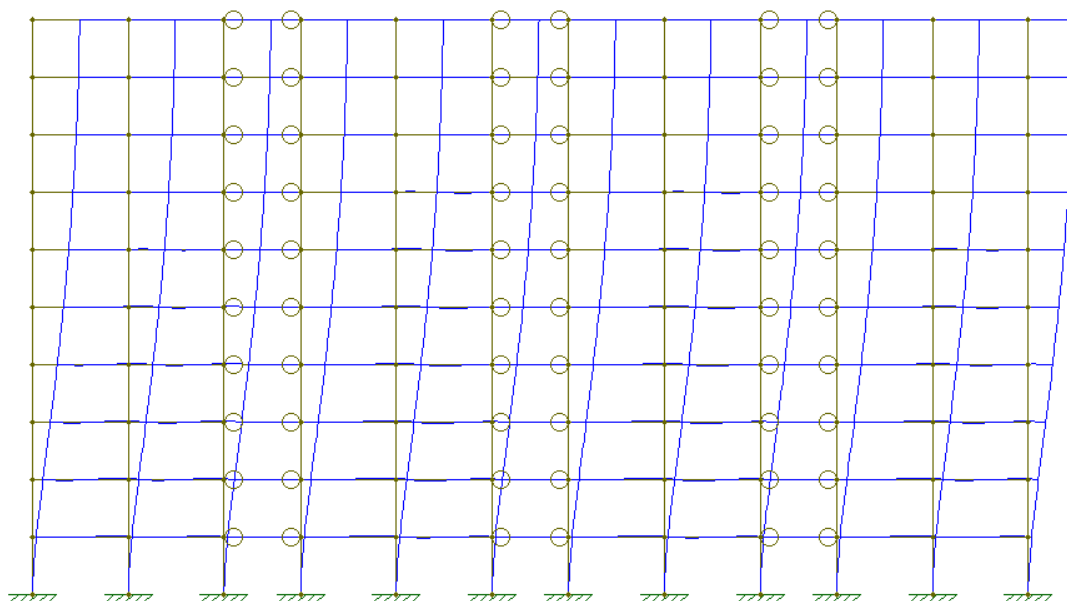
**Figura 10** -Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.2



Fonte: Software Ftool

**Figura 11** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta1.2





Fonte: Software Ftool

#### 4.1.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.2

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 4 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta_{hi}$ (cm)	$\Delta_{hi} \cdot \Psi_1$	$\delta_{hipvto}$
10	2,50	0,75	0,02
9	2,44	0,73	0,03
8	2,33	0,70	0,05
7	2,17	0,65	0,07
6	1,95	0,58	0,07
5	1,69	0,51	0,10
4	1,38	0,41	0,10
3	1,04	0,31	0,11
2	0,66	0,20	0,12
1	0,26	0,08	0,08

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 2,50cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,75cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i,máx} = H/1700$$

$$\delta h_{i,máx} = 30/1700 = 1,76 \text{ cm} \quad (\text{Equação 34})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,local} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,local} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 35})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,12cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 36})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I)$$

$$I = (196,64 \cdot 30^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0075) = 9,91 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 37})$$

#### 4.1.2.7 COEFICIENTE $\gamma_z$

**Quadro 5– Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.12.1,5=	180,00
<b>Total parcial</b>	<b>acidental</b>		<b>180,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.12.1,5=	180,00

Sobrecarga permanente	Pavimento	$0,05.10.12.18=$	108,00
Permanente	Paredes de 15cm	$(10.4+12.3).0,15.2,70.18=$	554,04
Permanente	Vigas de 15x50cm	$(4.10 + 3.12).0,15.0,50.25=$	142,50
Permanente	Pilares de 20x40cm	$0,40.0,20.3,00.10.25=$	60,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	$0,65.0,20.3,00.2.25=$	19,50
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1064,04</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>1244,04</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4 P_{gi} + 1,4 q_i) \cdot \delta h_i \quad (\text{Equação 38})$$

**Tabela 12** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coefficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{dtot,d}$ (kN.m)
10	1244,04	1,4	2,50	43,54
9	1244,04	1,4	2,44	42,49
8	1244,04	1,4	2,33	40,58
7	1244,04	1,4	2,17	37,79
6	1244,04	1,4	1,95	33,96
5	1244,04	1,4	1,69	29,43
4	1244,04	1,4	1,38	24,03
3	1244,04	1,4	1,04	18,11
2	1244,04	1,4	0,66	11,49
1	1244,04	1,4	0,26	4,53
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>285,98</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum H v_i \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad (\text{Equação 39})$$

$$M_{1,av} = 0,84.4(14,11.3,00 + 16,80.6,00 + 18,62.9,00 + 12,00.19,62 + 15,00.21,11 + 18,00.22,17 + 21,00.23,03 + 24,00.23,80 + 27,00.24,47 + 30,00.12,57) = 11271,05 \text{KNm}$$

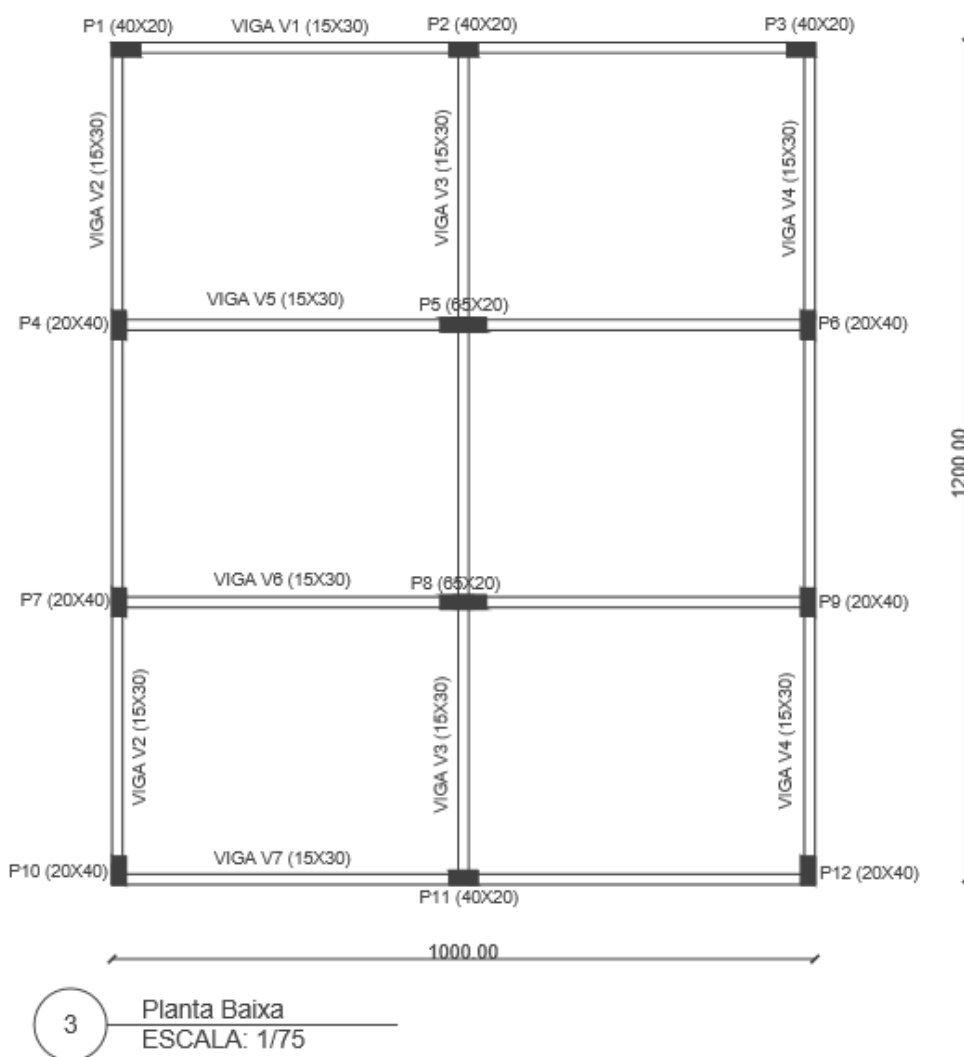
$$\text{Assim } Y_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{285,98}{11271,05}} = 1,03 < 1,1 \quad (\text{Equação 40})$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

#### 4.1.3 Situação 1.3- edifício de planta horizontal 10x12m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.

Figura 12–Planta baixa situação 01 – 15 pavimentos.

#### PLANTA 10 X 12 ( 15 PAV)



Fonte: Próprio Autor (2016)

##### 4.1.3.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (\text{Equação 41})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isopletas NBR 6123:1988).

$S1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota média do topo dos obstáculos é considerada igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela fórmula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 42})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

$S3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 13** - Fator de rugosidade e dimensões da edificação

Altura(m)	S2
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975
33,0	0,986
36,0	0,997
39,0	1,007
42,0	1,017

45,0	1,025
------	-------

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 14 - Cálculo da velocidade característica do vento**

Altura(m)	V <sub>k</sub> (m/s)
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25
33,0	29,58
36,0	29,91
39,0	30,21
42,0	30,51
45,0	30,75

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2k$$

(Equação 43)

**Tabela 15 - Cálculo da pressão de obstrução do vento**

Altura(m)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524
33,0	0,536
36,0	0,548
39,0	0,559
42,0	0,570
45,0	0,579

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.1.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a  $0^\circ$ ):

$$H/l_1 = 45/10$$

$$H/l_1 = 4,5 \quad \text{(Equação 44)}$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/12 = 0,83 \quad \text{(Equação 45)}$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 45/12$$

$$H/l_1 = 3,75 \quad \text{(Equação 46)}$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 12/10 = 1,2 \quad \text{(Equação 47)}$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a 90° por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 1,395$

#### 4.1.3.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 48})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

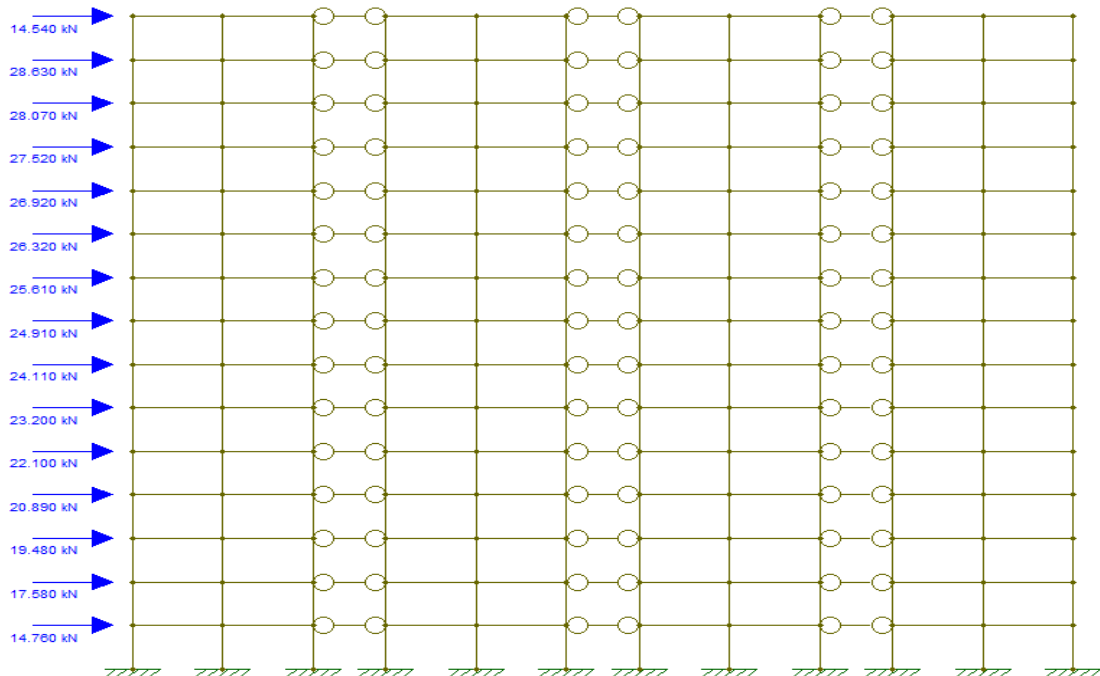
**Tabela 16 – Força de arrasto do vento**

<b>Pav</b>	<b>H(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>e</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>a</sub>(kN)</b>
1	3,0	21,93	0,294	36,0	1,395	14,76
2	6,0	23,91	0,350	36,0	1,395	17,58
3	9,0	25,17	0,388	36,0	1,395	19,48
4	12,0	26,07	0,416	36,0	1,395	20,89
5	15,0	26,82	0,440	36,0	1,395	22,10
6	18,0	27,45	0,462	36,0	1,395	23,20
7	21,0	27,99	0,480	36,0	1,395	24,11
8	24,0	28,44	0,496	36,0	1,395	24,91
9	27,0	28,86	0,510	36,0	1,395	25,61
10	30,0	29,25	0,524	36,0	1,395	26,32
11	33,0	29,58	0,536	36,0	1,395	26,92
12	36,0	29,91	0,548	36,0	1,395	27,52
13	39,0	30,21	0,559	36,0	1,395	28,07
14	42,0	30,51	0,570	36,0	1,395	28,63
15	45,0	30,75	0,579	18,0	1,395	14,54
<b>TOTAL</b>						<b>344,64</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

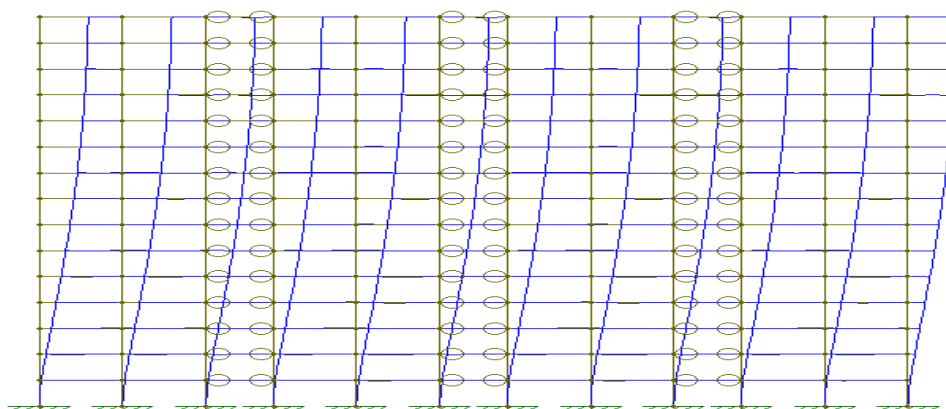
#### 4.1.3.5 Análise da situação proposta 1.3



**Figura 13 - Carregamento dos pórticos da situação proposta 1.3**

Fonte: Software Ftool

**Figura 14 - Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 1.3**



Fonte: Software Ftool

#### 4.1.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 1.3

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 6 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta_{hi}$ (cm)	$\Delta_{hi} \cdot \Psi_1$	$\delta_{hipvto}$
15	7,31	2,19	0,04
14	7,17	2,15	0,06
13	6,97	2,09	0,08
12	6,71	2,01	0,10
11	6,38	1,91	0,11
10	6,00	1,80	0,13
9	5,56	1,67	0,15
8	5,07	1,52	0,16
7	4,53	1,36	0,18
6	3,94	1,18	0,19
5	3,30	0,99	0,20
4	2,63	0,79	0,21
3	1,92	0,58	0,23
2	1,18	0,35	0,21

1	0,46	0,14	0,14
---	------	------	------

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 7,31cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 2,19cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\text{máx}} = H/1700$$

$$\delta h_{i\text{máx}} = 45/1700 = 2,65 \text{ cm} \quad (\text{Equação 49})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,\text{local}} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,\text{local}} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 50})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,23cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 51})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I)$$

$$I = (344,64 \cdot 45^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0075) = 58,65 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 52})$$

#### 4.1.3.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 7 – Cargas verticais atuantes**

Carga	Tipo	Valor	Total Parcial (KN)
-------	------	-------	--------------------

Acidental	Laje pavimento	10.12.1,5=	180,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>180,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.12.1,5=	180,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.12.18=	108,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.4+12.3).0,15.2,70.18=	554,04
Permanente	Vigas de 15x50cm	(4.10 + 3.12).0,15.0,50.25=	142,50
Permanente	Pilares de 20x40cm	0,40.0,20.3,00.10.25=	60,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	0,65.0,20.3,00.2.25=	19,50
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1064,04</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>1244,04</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4 P_{gi} + 1,4 q_i) \cdot \delta h_i$$

(Equação 53)

**Tabela 17** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coeficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{dtot,d}$ (kN.m)
15	1244,04	1,4	7,31	127,31
14	1244,04	1,4	7,17	124,88
13	1244,04	1,4	6,97	121,39
12	1244,04	1,4	6,71	116,86
11	1244,04	1,4	6,38	111,12
10	1244,04	1,4	6,00	104,50
9	1244,04	1,4	5,56	96,84
8	1244,04	1,4	5,07	88,30
7	1244,04	1,4	4,53	78,90
6	1244,04	1,4	3,94	68,62
5	1244,04	1,4	3,30	57,47
4	1244,04	1,4	2,63	45,81
3	1244,04	1,4	1,92	33,44
2	1244,04	1,4	1,18	20,55
1	1244,04	1,4	0,46	80,12
<b>Σ Total</b>				<b>1204,01</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum H v_i \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \text{ (Equação 54)}$$

$$M_{1,av} = 0,84.4(14,76.3,00 + 17,58.6,00 + 19,48.9,00 + 12,00.20,89 + 15,00.22,10 + 18,00.23,20 + 21,00.24,11 + 24,00.24,91 + 27,00.25,61 + 30,00.26,32 + 33,00.26,92 + 36,00.27,52 + 39,00.28,07 + 42,00.28,63 + 45,00.14,54) = 29368,58\text{KNm}$$

$$\text{Assim } Yz = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{rot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{1204,01}{29368,58}} = 1,04 < 1,1 \quad (\text{Equação 55})$$

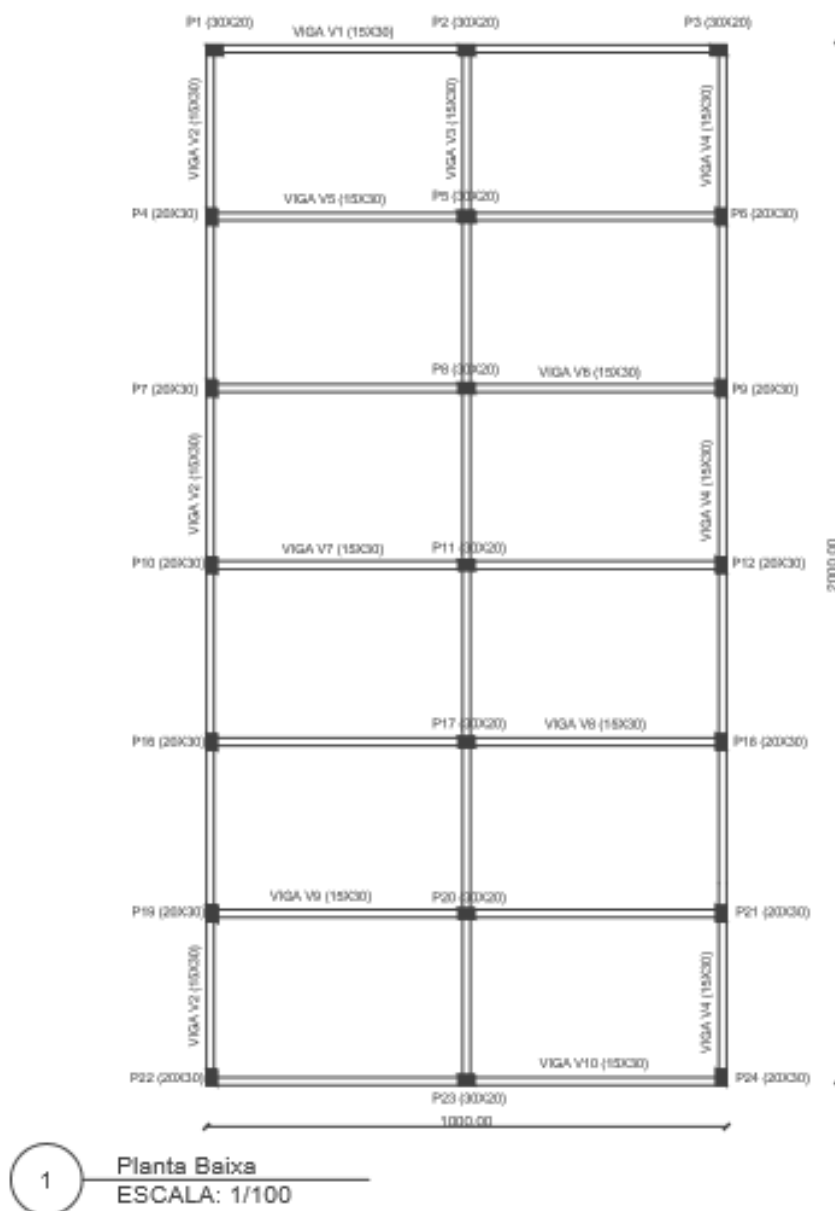
A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

## 4.2 ANALISE DA SITUAÇÃO 2

### 4.2.1 Situação 2.1 – edifício de planta horizontal 10x20m com 4 andares e pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50

**Figura 15** – Planta baixa da situação 02 – 4 pavimentos.

### PLANTA 10 X 20 ( 4 PAV)



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.1.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga .

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3$$

(Equação 56)

$V_0 = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isopletas NBR 6123 (1988)).

$S_1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S_2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV.(Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20m, significa edificação de classe A considerando ação do vento a  $0^\circ$  e classe B com ação do vento em  $90^\circ$  onde a superfície de contato com o vento esteja entre 20 a 50m.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b.Fr.\left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 57})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de(tabela 1, NBR 6123:1988).

$S_3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 18** - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a  $0^\circ$

Altura(m)	$S_2$
3,0	0,744
6,0	0,809
9,0	0,849
12,0	0,879

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 19** - Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a  $90^\circ$

Altura(m)	$S_2$
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839

12,0	0,869
------	-------

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 20** - Cálculo da velocidade característica do vento a 0°

Altura(m)	V <sub>k</sub> (m/s)
3,0	22,32
6,0	24,27
9,0	25,47
12,0	26,37

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 21** - Cálculo da velocidade característica do vento a 90°

Altura(m)	V <sub>k</sub> (m/s)
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.1.2 Cálculo da pressão de obstrução (q<sub>vento</sub>) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2 k \quad (\text{Equação 58})$$

**Tabela 22** - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 0°

Altura(m)	q <sub>vento</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,305
6,0	0,361
9,0	0,397
12,0	0,426

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela23** - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 90°

Altura(m)	q <sub>vento</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,295
6,0	0,350
9,0	0,387
12,0	0,417

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.1.3 Cálculo do coeficiente de arrasto (C<sub>a</sub>) que atua na edificação



Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de alta turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 5 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a  $0^\circ$ ):

$$H/l_1 = 12/10$$

$$H/l_1 = 1,20 \quad \text{(Equação 59)}$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/20 = 0,50 \quad \text{(Equação 60)}$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 12/20$$

$$H/l_1 = 0,6 \quad \text{(Equação 61)}$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 20/10 = 2,0 \quad \text{(Equação 62)}$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a  $90^\circ$  por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 0,994$

#### 4.2.1.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 63})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

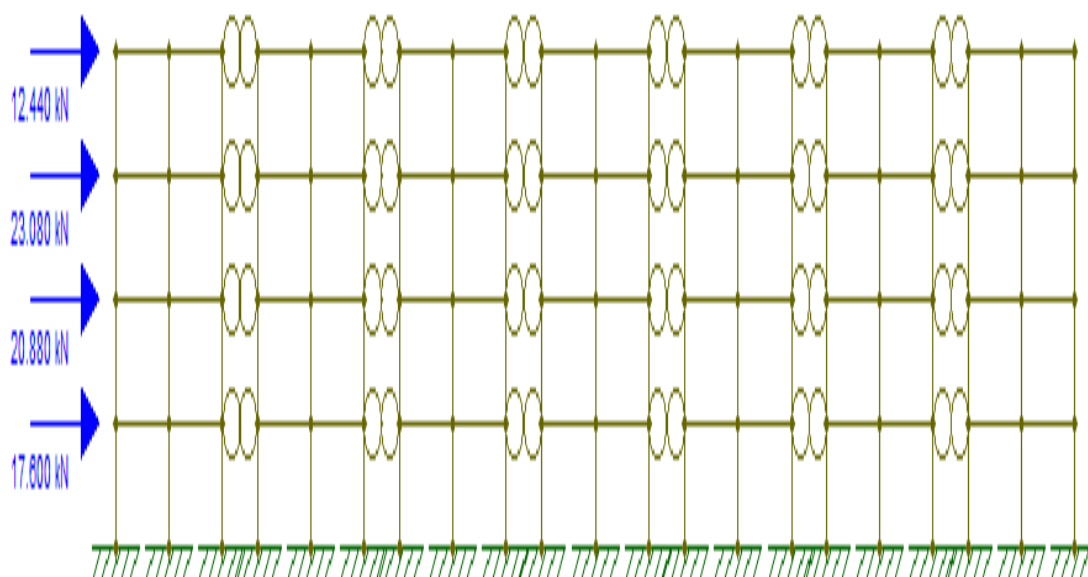
**Tabela24 – Força de arrasto do vento**

Pav	H(m)	$V_k$ (m/s)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$A_e$ (m <sup>2</sup> )	$C_a$	$F_a$ (kN)
1	3,0	21,93	0,295	60,0	0,994	17,60
2	6,0	23,91	0,350	60,0	0,994	20,88
3	9,0	25,17	0,387	60,0	0,994	23,08
4	12,0	26,07	0,417	30,0	0,994	12,44
<b>TOTAL</b>						<b>74,00</b>

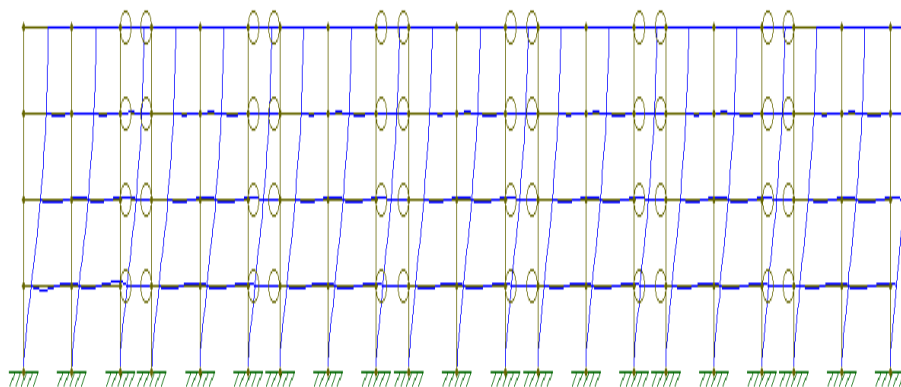
Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.1.5 Análise da situação proposta 2.1

**Figura 16 -Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.1**



Fonte: Software Ftool

**Figura 17** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.1

Fonte: Software Ftool

#### 4.2.1.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.1

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 8** – Deslocamento global e local

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{ipvto}$
4	0,37	0,11	0,01
3	0,35	0,10	0,02
2	0,27	0,08	0,04
1	0,14	0,04	0,04

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 0,37cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,11cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\max} = H/1700$$

$$\delta h_{i\max} = 12/1700 = 0,70 \text{ cm}$$

(Equação 64)

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta_{hi,local} = H_i/850$$

$$\delta_{hi,local} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 65})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,04cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 66})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot l)$$

$$I = (74,00 \cdot 12^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0011) = 1,63 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 67})$$

#### 4.2.1.7 Coeficiente Yz

**Quadro 9 – Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.20.1,5=	300,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>300,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.20.1,5=	300,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.20.18=	180,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.7+20.3).0,15.2,70.18=	947,70
Permanente	Vigas de 15x50cm	(7.10 + 3.20) .0,15.0,50.25=	243,75
Permanente	Pilares de 20x30cm	0,20.0,30.3,00.21.25	94,50
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1765,95</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>2065,95</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4 P_{gi} + 1,4 q_i) \cdot \delta_{hi} \quad (\text{Equação 68})$$

**Tabela 25** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coefficiente	$\bar{\delta}hi$ (cm)	$\Delta M_{tot,d}$ (kN.m)
4	2065,95	1,4	0,69	10,70
3	2065,95	1,4	0,63	10,12
2	2065,95	1,4	0,47	7,81
1	2065,95	1,4	0,22	4,05
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>32,68</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum Hvi \cdot hi \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad (\text{Equação 69})$$

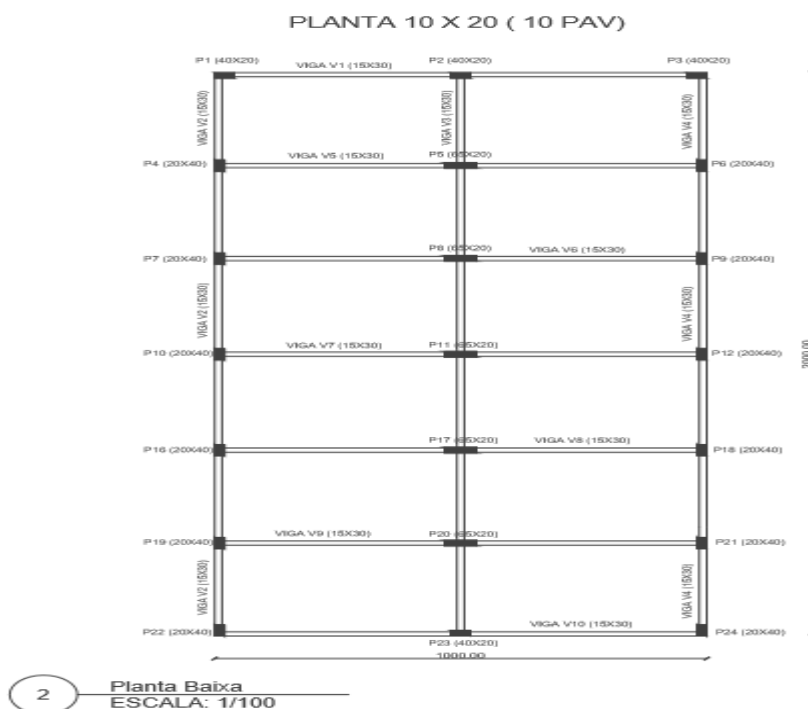
$$M_{1,av} = 0,84.7(17,60.3,00 + 20,88.6,00 + 23,08.9,00 + 12,00.12,44) = 3146,27\text{KNm}$$

$$\text{Assim } Yz = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{32,68}{3146,27}} = 1,01 < 1,1 \quad (\text{Equação 70})$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

**4.2.2 Situação 2.2 - edifício de planta horizontal 10x20m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.**

**Figura 18** – Planta baixa da situação 02 – 10 pavimentos.



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.2.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{Equação 71})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isoplelas NBR 6123 (1988) ).

$S_1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S_2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left( \frac{Z}{10} \right)^p \quad (\text{Equação 72})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

S3 = 1,00 Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 26** - Fator de rugosidade e dimensões da edificação

Altura(m)	S2
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 27** - Cálculo da velocidade característica do vento

Altura(m)	Vk(m/s)
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{vento}$ ) que atua na edificação

$$q_{vento} = 0,613 \cdot V^2k$$

(Equação 73)

**Tabela 28** - Cálculo da pressão de obstrução do vento

Altura(m)	$q_{\text{vento}}(\text{kN/m}^2)$
3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a  $0^\circ$ ):

$$H/l_1 = 30/10 \quad (\text{Equação 74})$$

$$H/l_1 = 3,0$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/20 = 0,5 \quad (\text{Equação 75})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 30/20 \quad (\text{Equação 76})$$

$$H/l_1 = 1,5$$

Em que:



H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 20/10 = 2,0 \quad (\text{Equação 77})$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a  $90^\circ$  por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 1,335$

#### 4.2.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $f_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 78})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

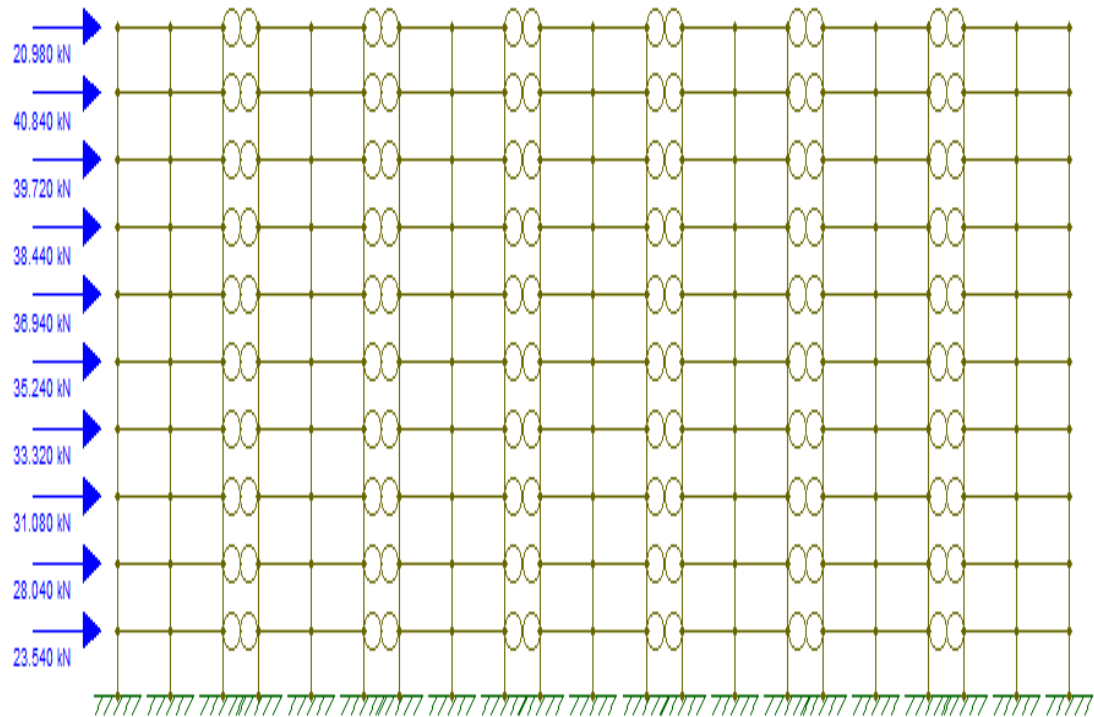
**Tabela 29 – Força de arrasto do vento**

<b>Pav</b>	<b>H(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>e</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>a</sub>(kN)</b>
1	3,0	21,93	0,294	60,0	1,335	23,54
2	6,0	23,91	0,350	60,0	1,335	28,04
3	9,0	25,17	0,388	60,0	1,335	31,08
4	12,0	26,07	0,416	60,0	1,335	33,32
5	15,0	26,82	0,440	60,0	1,335	35,24
6	18,0	27,45	0,462	60,0	1,335	36,94
7	21,0	27,99	0,480	60,0	1,335	38,44
8	24,0	28,44	0,496	60,0	1,335	39,72
9	27,0	28,86	0,510	60,0	1,335	40,84
10	30,0	29,25	0,524	30,0	1,335	20,98
<b>TOTAL</b>						<b>328,14</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.2.5 Análise da situação proposta 2.2

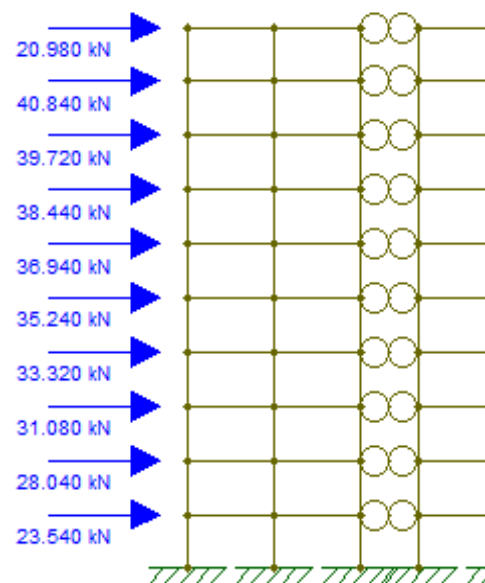
**Figura 19** -Carregamento dos pórticos da situação proposta



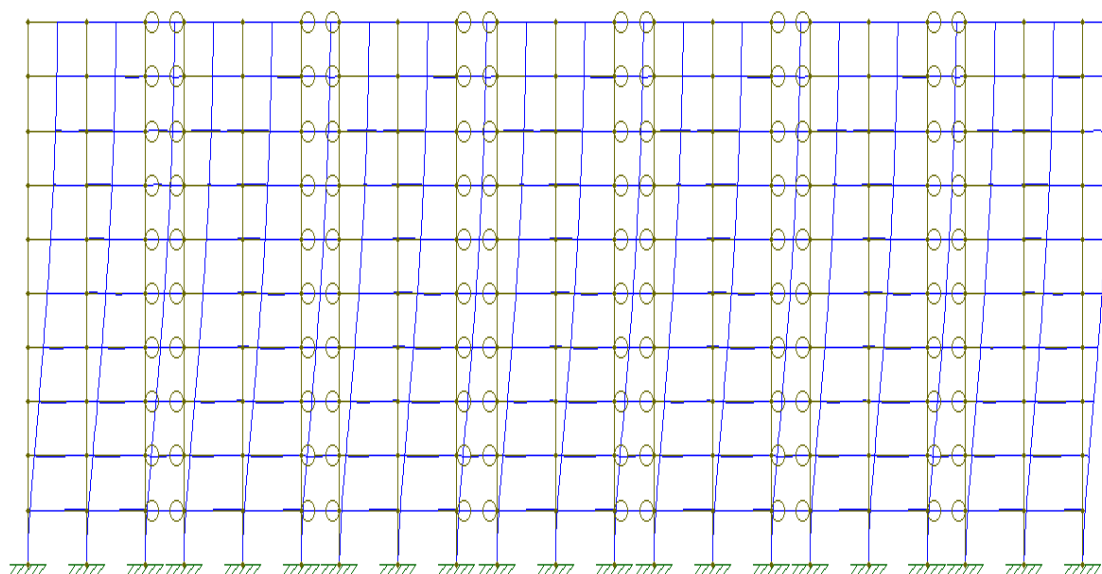
2.2

Fonte: Software Ftool

**Figura 20** -Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.2



Fonte: Software Ftool

**Figura 21** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.2

Fonte: Software Ftool

#### 4.2.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.2

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 10** – Deslocamento global e local

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{pvt}$
10	2,36	0,71	0,02
9	2,31	0,69	0,03
8	2,21	0,66	0,04
7	2,06	0,62	0,07
6	1,85	0,55	0,07
5	1,61	0,48	0,08
4	1,32	0,40	0,11
3	0,98	0,29	0,10
2	0,62	0,19	0,12
1	0,25	0,07	0,07

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 2,36cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,71cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77(Figura 5) é de:

$$\delta h_{i,máx} = H/1700$$

$$\delta h_{i,máx} = 30/1700 = 1,76 \text{ cm} \quad (\text{Equação 79})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,local} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,local} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 80})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,12cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 81})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I)$$

$$I = (328,14 \cdot 30^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0071) = 17,48 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 82})$$

#### 4.2.2.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 11– Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.20.1,5=	300,00
<b>Total parcial</b>	<b>acidental</b>		<b>300,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.20.1,5=	300,00

Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.20.18=	180,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.7+20.3).0,15.2,70.18=	947,70
Permanente	Vigas de 15x50cm	(7.10 + 3.20).0,15.0,50.25=	243,75
Permanente	Pilares de 20x40cm	0,40.0,20.3,00.16.25=	96,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	0,65.0,20.3,00.5.25=	48,75
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1816,20</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>2116,20</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{tot,d} = \sum_i^n (1,4P_{gi} + 1,4q_i) \cdot \delta h_i \text{ (Equação 83)}$$

**Tabela 30** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coefficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{tot,d}$ (kN.m)
10	2116,20	1,4	6.10	180,72
9	2116,20	1,4	5.95	176,28
8	2116,20	1,4	5.66	167,69
7	2116,20	1,4	5.24	155,24
6	2116,20	1,4	4.69	138,95
5	2116,20	1,4	4.00	118,51
4	2116,20	1,4	3.19	94,51
3	2116,20	1,4	2.28	67,55
2	2116,20	1,4	1.34	39,70
1	2116,20	1,4	0.47	13,92
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>1153,08</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum H v_i \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad \text{(Equação 84)}$$

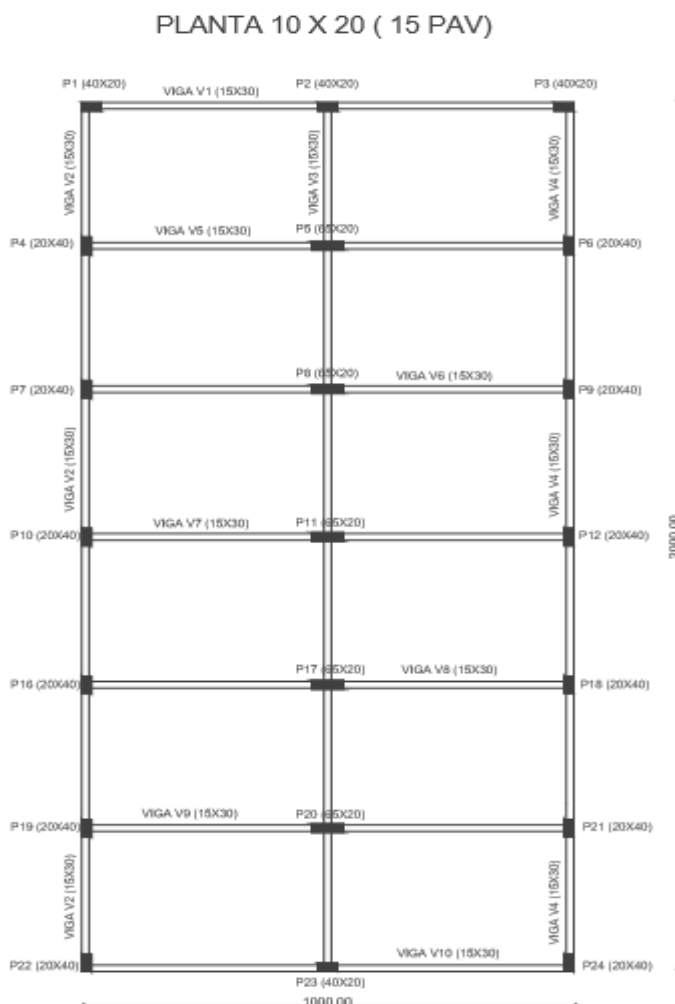
$$M_{1,av} = 0,84.7(23,54.3,00 + 28,04.6,00 + 31,08.9,00 + 12,00.33,32 + 15,00.35,24 + 18,00.36,94 + 21,00.38,44 + 24,00.39,72 + 27,00.40,84 + 30,00.20,98) = 32954,69 \text{KNm}$$

$$\text{Assim } Y_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{1153,08}{32954,69}} = 1,04 < 1,1 \quad \text{(Equação 85)}$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

### 4.2.3 Situação 2.3 - edifício de planta horizontal 10x20m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.

**Figura 22**–Planta baixa situação 02 – 15 pavimentos.



3 Planta Baixa  
ESCALA: 1/100

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.3.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga .

Velocidade Característica do Vento :

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3$$

(Equação 86)

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isoletas NBR 6123:1988).

S1 = 1,00 – Terreno Plano NBR 6123:1988.

S2: Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV.(Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b.Fr.\left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 87})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de(tabela 1, NBR 6123:1988).

S3 = 1,00 Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 31-** Fator de rugosidade e dimensões da edificação

<b>Altura(m)</b>	<b>S2</b>
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975
33,0	0,986
36,0	0,997
39,0	1,007
42,0	1,017
45,0	1,025

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 32 -** Cálculo da Velocidade Característica do vento

<b>Altura(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25
33,0	29,58
36,0	29,91
39,0	30,21
42,0	30,51
45,0	30,75

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2k \quad (\text{Equação 88})$$

**Tabela 33** - Cálculo da pressão de obstrução do vento

<b>Altura(m)</b>	<b><math>q_{\text{vento}}</math>(kN/m<sup>2</sup>)</b>
3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524
33,0	0,536
36,0	0,548
39,0	0,559
42,0	0,570
45,0	0,579

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.2.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação



Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a 0°):

$$H/l_1 = 45/10 \quad (\text{Equação 89})$$

$$H/l_1 = 4,5$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/20 = 0,5 \quad (\text{Equação 90})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a 90°):

$$H/l_1 = 45/20 \quad (\text{Equação 91})$$

$$H/l_1 = 2,25$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 20/10 = 2,0 \quad (\text{Equação 92})$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a 90° por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 1,396$

#### 4.2.3.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a$$

(Equação 93)

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

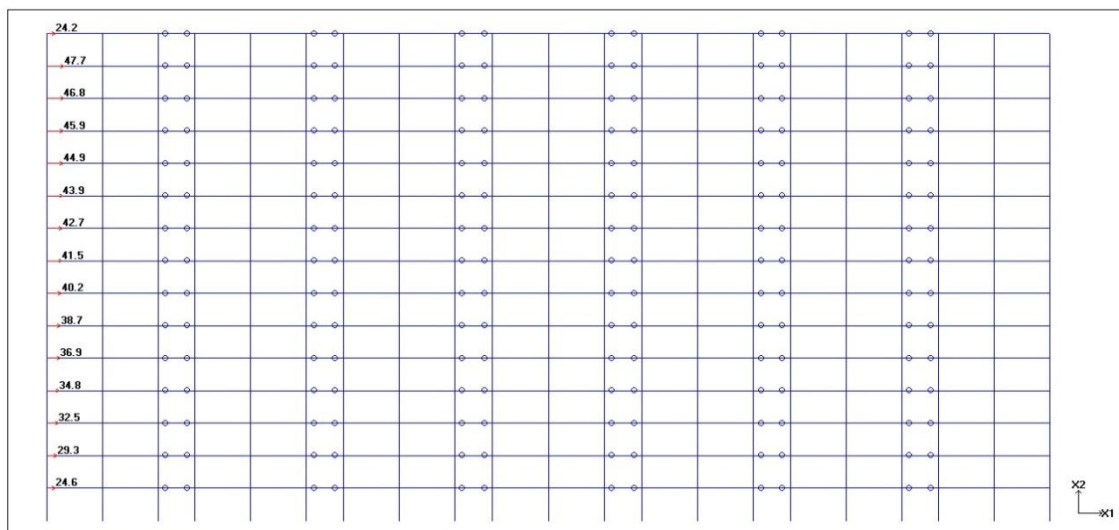
**Tabela 34 – Força de arrasto do vento**

<b>Pav</b>	<b>H(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>e</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>a</sub>(kN)</b>
1	3,0	21,93	0,294	60,0	1,396	24,62
2	6,0	23,91	0,350	60,0	1,396	29,32
3	9,0	25,17	0,388	60,0	1,396	32,50
4	12,0	26,07	0,416	60,0	1,396	34,84
5	15,0	26,82	0,440	60,0	1,396	36,86
6	18,0	27,45	0,462	60,0	1,396	38,70
7	21,0	27,99	0,480	60,0	1,396	40,20
8	24,0	28,44	0,496	60,0	1,396	41,54
9	27,0	28,86	0,510	60,0	1,396	42,72
10	30,0	29,25	0,524	60,0	1,396	43,90
11	33,0	29,58	0,536	60,0	1,396	44,89
12	36,0	29,91	0,548	60,0	1,396	45,90
13	39,0	30,21	0,559	60,0	1,396	46,82
14	42,0	30,51	0,570	60,0	1,396	47,74
15	45,0	30,75	0,579	30,0	1,396	24,24
					<b>TOTAL</b>	<b>574,80</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

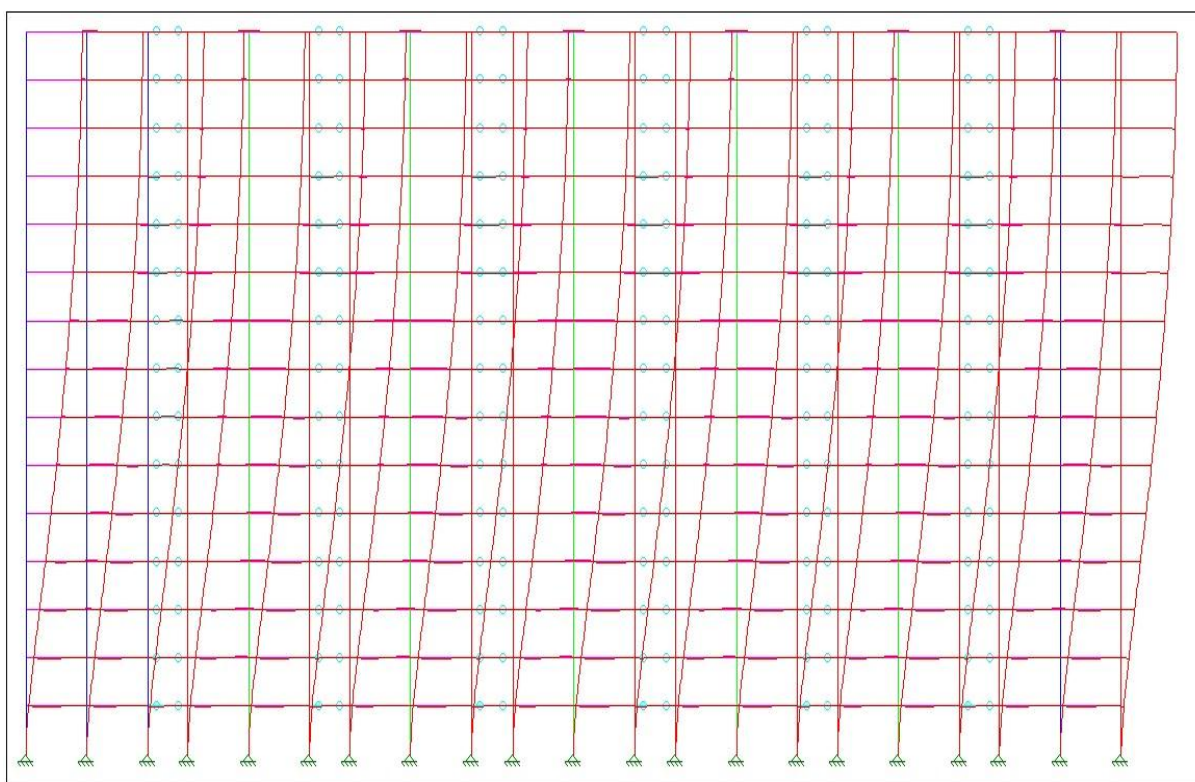
#### 4.2.3.5 Análise da situação proposta 2.3

**Figura 23 - Carregamento dos pórticos da situação proposta 2.3**



Fonte: Software Strap

**Figura 24** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 2.3



Fonte: Software Strap

#### 4.2.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 2.3

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 12 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{pvto}$
15	7,00	2,10	0,04
14	6,86	2,06	0,06
13	6,67	2,00	0,07
12	6,44	1,93	0,10
11	6,11	1,83	0,11
10	5,74	1,72	0,12
9	5,34	1,60	0,15
8	4,84	1,45	0,16
7	4,31	1,29	0,17
6	3,75	1,12	0,18
5	3,12	0,94	0,21
4	2,45	0,73	0,20
3	1,76	0,53	0,21
2	1,06	0,32	0,19
1	0,42	0,13	0,13

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 7,00cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 2,10cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\max} = H/1700$$

$$\delta h_{i\max} = 45/1700 = 2,65 \text{ cm}$$

(Equação 94)

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta_{hi,local} = H_i/850$$

$$\delta_{hi,local} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 95})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,21cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 96})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I)$$

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot I) = (574,80 \cdot 45^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,021) = 34,93 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 97})$$

#### 4.2.3.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 13 – Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.20.1,5=	300,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>300,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.20.1,5=	300,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.20.18=	180,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.7+20.3).0,15.2,70.18=	947,70
Permanente	Vigas de 15x50cm	(7.10 + 3.20).0,15.0,50.25=	243,75
Permanente	Pilares de 20x40cm	0,40.0,20.3,00.16.25=	96,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	0,65.0,20.3,00.5.25=	48,75
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>1816,20</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>2116,20</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{tot,d} = \sum_i^n (1,4 P_{gi} + 1,4 q_i) \cdot \delta h_i$$

(Equação 98)

**Tabela 35** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coefficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{tot,d}$ (kN.m)
15	2116,20	1,4	7,00	207,39
14	2116,20	1,4	6,86	203,24
13	2116,20	1,4	6,67	197,61
12	2116,20	1,4	6,44	190,79
11	2116,20	1,4	6,11	181,02
10	2116,20	1,4	5,74	170,06
9	2116,20	1,4	5,34	158,21
8	2116,20	1,4	4,84	143,40
7	2116,20	1,4	4,31	127,69
6	2116,20	1,4	3,75	111,10
5	2116,20	1,4	3,12	92,43
4	2116,20	1,4	2,45	72,58
3	2116,20	1,4	1,76	52,14
2	2116,20	1,4	1,06	31,40
1	2116,20	1,4	0,42	12,44
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>1951,52</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum H v_i \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \text{ (Equação 99)}$$

$$M_{1,av} = 0,84 \cdot 7(24,62 \cdot 3,00 + 29,32 \cdot 6,00 + 32,50 \cdot 9,00 + 12,00 \cdot 34,84 + 15,00 \cdot 36,86 + 18,00 \cdot 38,70 + 21,00 \cdot 40,20 + 24,00 \cdot 41,54 + 27,00 \cdot 42,72 + 30,00 \cdot 43,90 + 33,00 \cdot 44,89 + 36,00 \cdot 45,90 + 39,00 \cdot 46,82 + 42,00 \cdot 47,74 + 45,00 \cdot 24,24) = 85713,29 \text{ KNm}$$

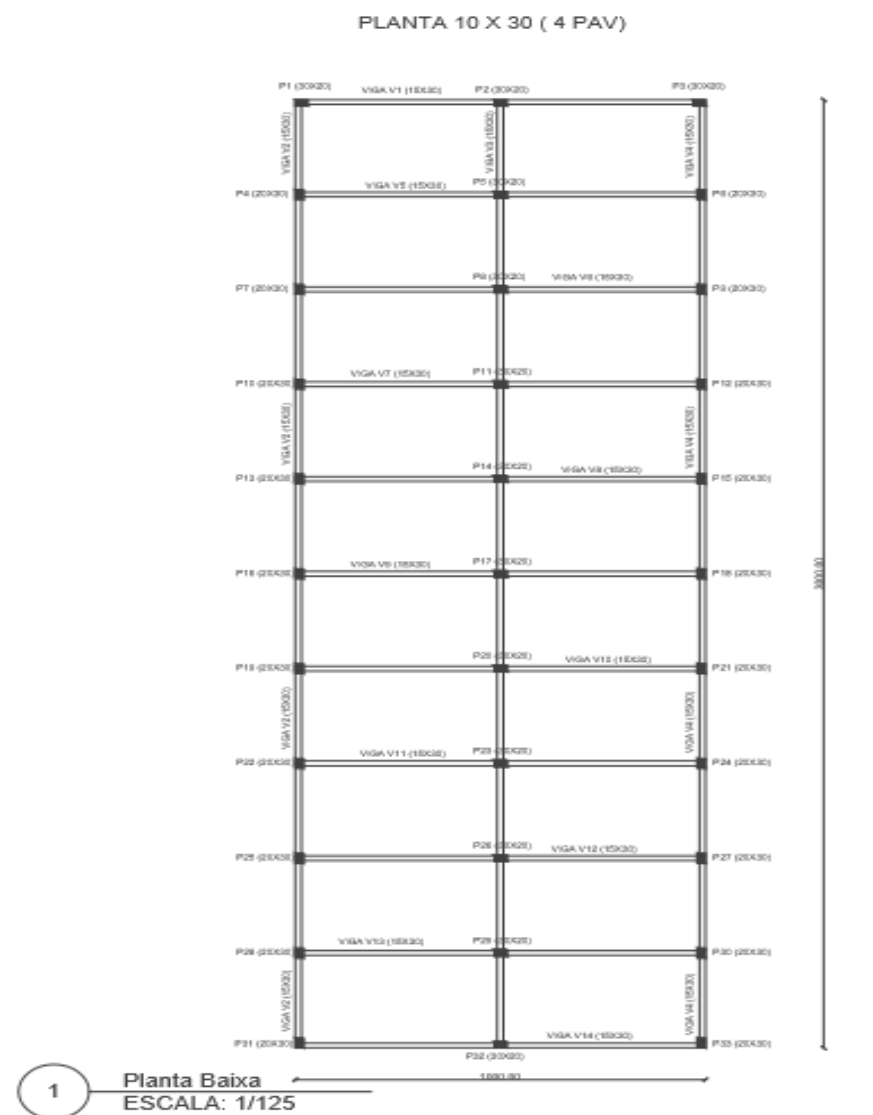
$$\text{Assim } \gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{1951,52}{85713,29}} = 1,02 < 1,1 \text{ (Equação 100)}$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

### 4.3 ANALISE DA SITUAÇÃO 3

#### 4.3.1 Situação 3.1 - edifício de planta horizontal 10x30m com 4 andares, pilares retangulares de seção 20x30 e vigas 15x50

**Figura 25**–Planta baixa da situação 03 – 4 pavimentos



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.1.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (\text{Equação 101})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isopletas NBR 6123 (1988)).

$S1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20m, significa edificação de classe A considerando ação do vento a  $0^\circ$  e classe B com ação do vento em  $90^\circ$  onde a superfície de contato com o vento esteja entre 20 a 50m.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 102})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

Fr é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

$S3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 36-** Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a  $0^\circ$

Altura(m)	$S_2$
3,0	0,744
6,0	0,809
9,0	0,849
12,0	0,879

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 37-** Fator de rugosidade e dimensões da edificação do vento a  $90^\circ$

Altura(m)	$S_2$
3,0	0,731
6,0	0,797



9,0	0,839
12,0	0,869

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 38** - Cálculo da velocidade característica do vento a 0°

Altura(m)	V <sub>k</sub> (m/s)
3,0	22,32
6,0	24,27
9,0	25,47
12,0	26,37

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 39** - Cálculo da velocidade característica do vento a 90°

Altura(m)	V <sub>k</sub> (m/s)
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.1.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2k$$

(Equação 103)

**Tabela 40** - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 0°

Altura(m)	q <sub>vento</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,305
6,0	0,361
9,0	0,397
12,0	0,426

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 41** - Cálculo da pressão de obstrução do vento a 90°

Altura(m)	q <sub>vento</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
3,0	0,295
6,0	0,350
9,0	0,387
12,0	0,417

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.1.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de alta turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 5 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a  $0^\circ$ ):

$$H/l_1 = 12/10 \quad \text{(Equação 104)}$$

$$H/l_1 = 1,20$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/30 = 0,33 \quad \text{(Equação 105)}$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 12/30 \quad \text{(Equação 106)}$$

$$H/l_1 = 0,4$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 30/10 = 3,0 \quad \text{(Equação 107)}$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a 90° por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos  $C_a = 1,052$

#### 4.3.1.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 108})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

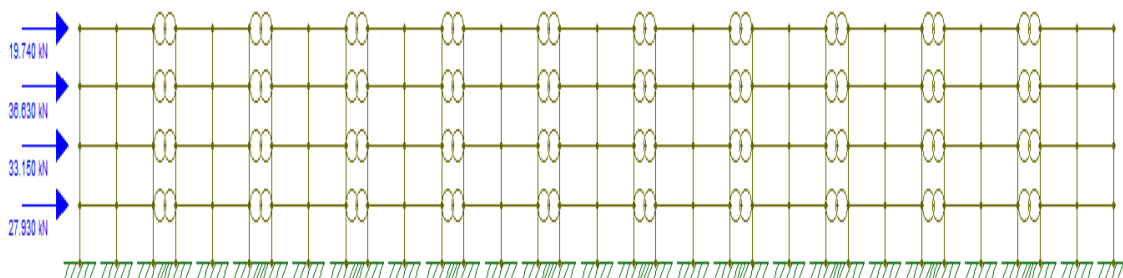
**Tabela 42 – Força de arrasto do vento**

Pav	H(m)	$V_k$ (m/s)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$A_e$ (m <sup>2</sup> )	$C_a$	$F_a$ (kN)
1	3,0	21,93	0,295	90,0	1,052	27,93
2	6,0	23,91	0,350	90,0	1,052	33,15
3	9,0	25,17	0,387	90,0	1,052	36,63
4	12,0	26,07	0,417	45,0	1,052	19,74
<b>TOTAL</b>						<b>117,45</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

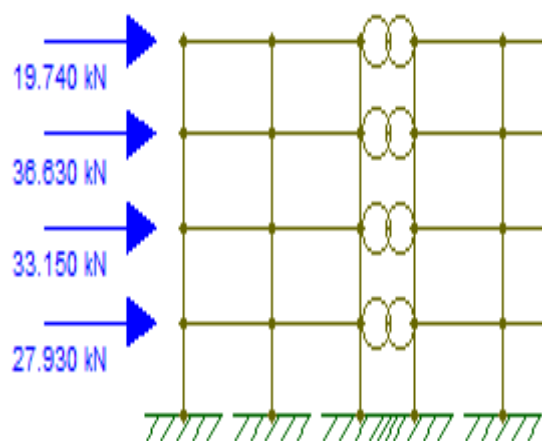
#### 4.3.1.5 Análise da situação proposta 3.1

**Figura 26 -Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.1**



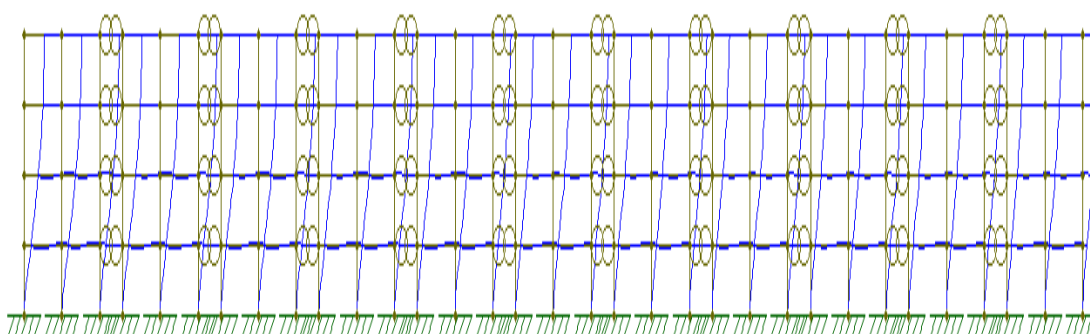
Fonte: Software Ftool

**Figura 27 -Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.1**



Fonte: Software Ftool

**Figura 28** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.1



Fonte: Software Ftool

#### 4.3.1.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.1

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 14** – Deslocamento global e local

Andar	$\delta_{hi}$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta_{hipvto}$
4	0,40	0,12	0,01
3	0,39	0,11	0,02
2	0,31	0,09	0,04
1	0,17	0,05	0,05

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 0,40cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,12cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i,máx} = H/1700$$

$$\delta h_{i,máx} = 12/1700 = 0,70 \text{ cm} \quad (\text{Equação 109})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,local} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,local} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 110})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,05cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 111})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot l)$$

$$I = (117,45 \cdot 12^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0012) = 2,37 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 112})$$

#### 4.3.1.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 15 – Cargas verticais atuantes**

Carga	Tipo	Valor	Total Parcial (KN)
Acidental	Laje pavimento	10.30.1,5=	450,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>450,00</b>

Permanente	Laje do pavimento	10.30.1,5=	450,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.30.18=	270,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.11+30.3).0,15.2,70.18=	1458,00
Permanente	Vigas de 15x50cm	(11.10 + 3.30) .0,15.0,50.25=	375,00
Permanente	Pilares de 20x30cm	0,20.0,30.3,00.33.25	148,50
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>2701,50</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>3151,50</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4P_{gi} + 1,4q_i) \cdot \delta h_i \text{ (Equação 113)}$$

**Tabela 43** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coeficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{dtot,d}$ (kN.m)
4	3151,50	1,4	0,40	17,65
3	3151,50	1,4	0,39	17,21
2	3151,50	1,4	0,31	13,68
1	3151,50	1,4	0,17	7,50
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>56,04</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum Hvi \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad \text{(Equação 114)}$$

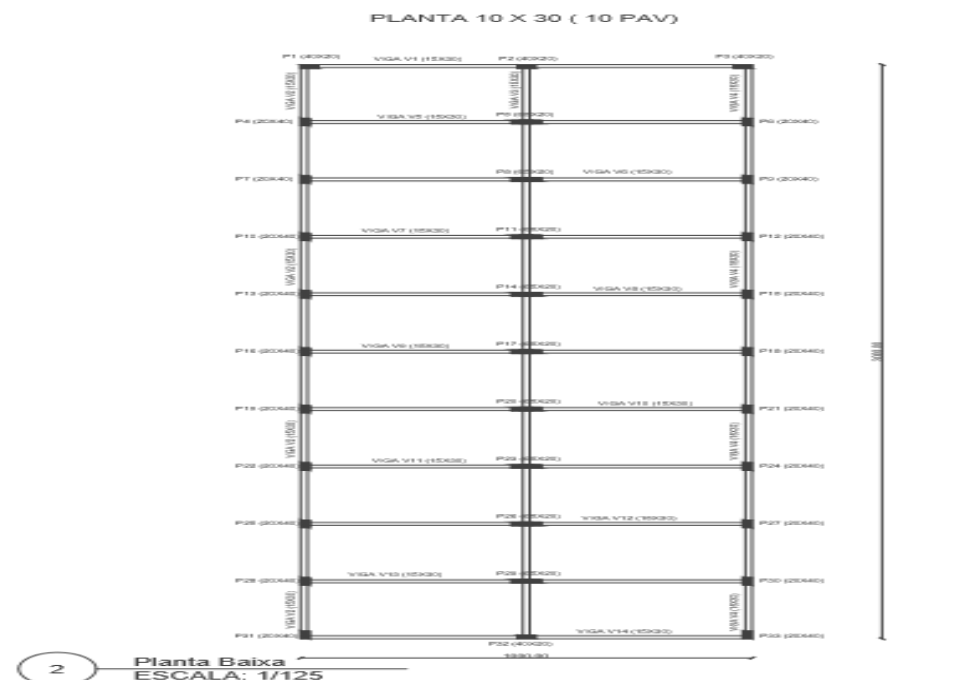
$$M_{1,av} = 0,84.11(27,93.3,00 + 33,15.6,00 + 36,63.9,00 + 12,00.19,74) = 7846,98 \text{KNm}$$

$$\text{Assim } Yz = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{56,04}{7846,98}} = 1,01 < 1,1 \quad \text{(Equação 115)}$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

**4.3.2 Situação 3.2** – edifício de planta horizontal 10x30m com 10 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.

**Figura 29**–Planta baixa situação 03 – 10 pavimentos



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.2.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga .

Velocidade Característica do Vento :

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{Equação 116})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isoplelas NBR 6123:1988 ).

$S_1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S_2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 117})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

$F_r$  é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

$S_3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 44-** Fator de rugosidade e dimensões da edificação

Altura(m)	S2
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Tabela 45 -** Cálculo da velocidade característica do vento

Altura(m)	$V_k$ (m/s)
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.2.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2k$$

(Equação 118)

**Tabela 46 -** Cálculo da pressão de obstrução do vento

Altura(m)	$q_{\text{vento}}$ (kN/m <sup>2</sup> )
-----------	---



3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524

Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.2.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a  $0^\circ$ ):

$$H/l_1 = 30/10 \quad (\text{Equação 119})$$

$$H/l_1 = 3,0$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/30 = 0,33 \quad (\text{Equação 120})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a  $90^\circ$ ):

$$H/l_1 = 30/30 \quad (\text{Equação 121})$$

$$H/l_1 = 1,0$$

Em que:

H é a altura da edificação e  $l_1$  é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 30/10 = 3,0 \quad (\text{Equação 122})$$

Em que:

$l_2$  é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a  $90^\circ$  por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) tem  $C_a = 1,311$ .

#### 4.3.2.4 Cálculo da força de arrasto ( $F_a$ ) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \quad (\text{Equação 123})$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

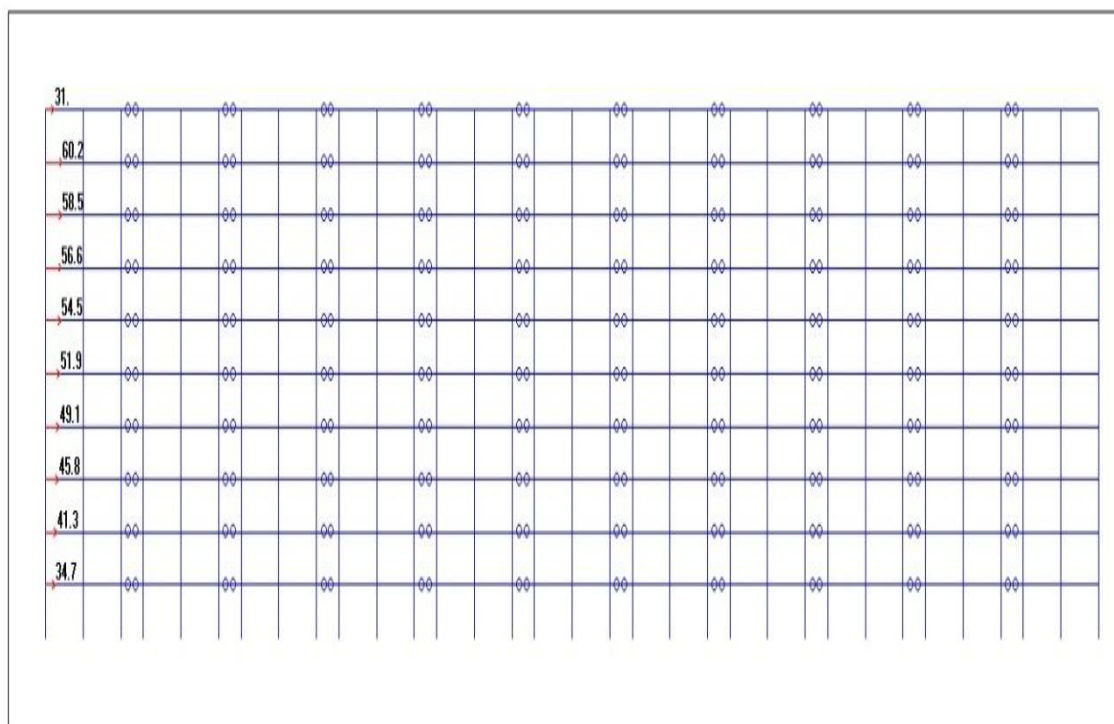
**Tabela 47–** Força de arrasto do vento

<b>Pav</b>	<b>H(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>e</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>a</sub>(kN)</b>
1	3,0	21,93	0,294	90,0	1,311	34,68
2	6,0	23,91	0,350	90,0	1,311	41,28
3	9,0	25,17	0,388	90,0	1,311	45,78
4	12,0	26,07	0,416	90,0	1,311	49,08
5	15,0	26,82	0,440	90,0	1,311	51,90
6	18,0	27,45	0,462	90,0	1,311	54,51
7	21,0	27,99	0,480	90,0	1,311	56,64
8	24,0	28,44	0,496	90,0	1,311	58,62
9	27,0	28,86	0,510	90,0	1,311	60,18
10	30,0	29,25	0,524	45,0	1,311	30,90
<b>TOTAL</b>						<b>483,57</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

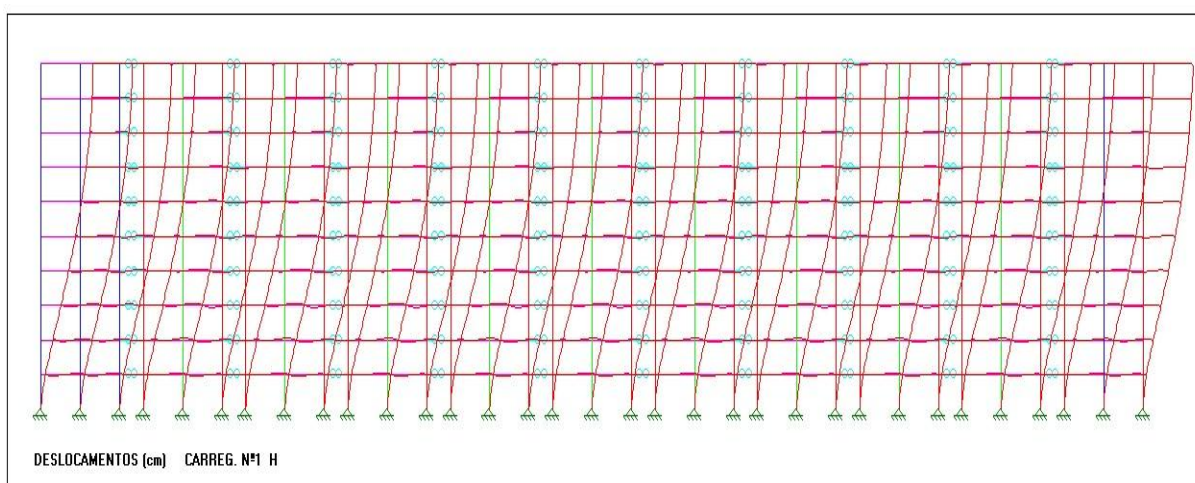
#### 4.3.2.5 Análise da situação proposta 3.2

**Figura 30** -Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.2



Fonte: Software Strap

**Figura 31** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.2



Fonte:Software Strap

#### 4.3.2.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.2

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 16 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{ipvto}$
10	2,26	0,68	0,02
9	2,21	0,66	0,02
8	2,13	0,64	0,04
7	2,00	0,60	0,06
6	1,79	0,54	0,08
5	1,53	0,46	0,09
4	1,24	0,37	0,08
3	0,96	0,29	0,11
2	0,61	0,18	0,11
1	0,25	0,07	0,07

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 2,26cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 0,68cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\max} = H/1700$$

$$\delta h_{i\max} = 30/1700 = 1,76 \text{ cm} \quad (\text{Equação 124})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,\text{local}} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,\text{local}} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 125})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor en-

contrado é de 0,11cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85.5600.251/2 = 2,38.107 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 126})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F.H^3) / (3.E.I)$$

$$I = (483,57.30^3) / (3. 2,38.10^7 . 0,0068) = 26,89 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 127})$$

#### 4.3.2.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 17**– Cargas verticais atuantes

Carga	Tipo	Valor	Total Parcial (KN)
Acidental	Laje pavimento	10.30.1,5=	450,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>450,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.30.1,5=	450,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.30.18=	270,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.11+30.3).0,15.2,70.18=	1458,00
Permanente	Vigas de 15x50cm	(11.10 + 3.30).0,15.0,50.25=	375,00
Permanente	Pilares de 20x40cm	0,40.0,20.3,00.24.25=	144,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	0,65.0,20.3,00.9.25=	87,75
<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>2784,75</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>3234,75</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{dtot,d} = \sum_i^n (1,4P_{gi} + 1,4q_i) . \delta h_i \quad (\text{Equação 128})$$

**Tabela 48** –Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

Andar	Peso (kN)	Coeficiente	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta M_{dtot,d}$ (kN.m)
10	3234,75	1,4	2,26	102,35
9	3234,75	1,4	2,21	100,08
8	3234,75	1,4	2,13	96,46

7	3234,75	1,4	2,00	90,57
6	3234,75	1,4	1,79	81,06
5	3234,75	1,4	1,53	69,29
4	3234,75	1,4	1,24	56,16
3	3234,75	1,4	0,96	43,48
2	3234,75	1,4	0,61	27,62
1	3234,75	1,4	0,25	11,32
			<b>Σ Total</b>	<b>678,39</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum Hvi \cdot hi \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \text{ (Equação 129)}$$

$$M_{1,av} = 0,84 \cdot 11(34,68 \cdot 3,00 + 41,28 \cdot 6,00 + 45,78 \cdot 9,00 + 12,00 \cdot 49,08 + 15,00 \cdot 51,90 + 18,00 \cdot 54,51 + 21,00 \cdot 56,64 + 24,00 \cdot 58,62 + 27,00 \cdot 60,18 + 30,00 \cdot 30,90) = 76327,57 \text{KNm}$$

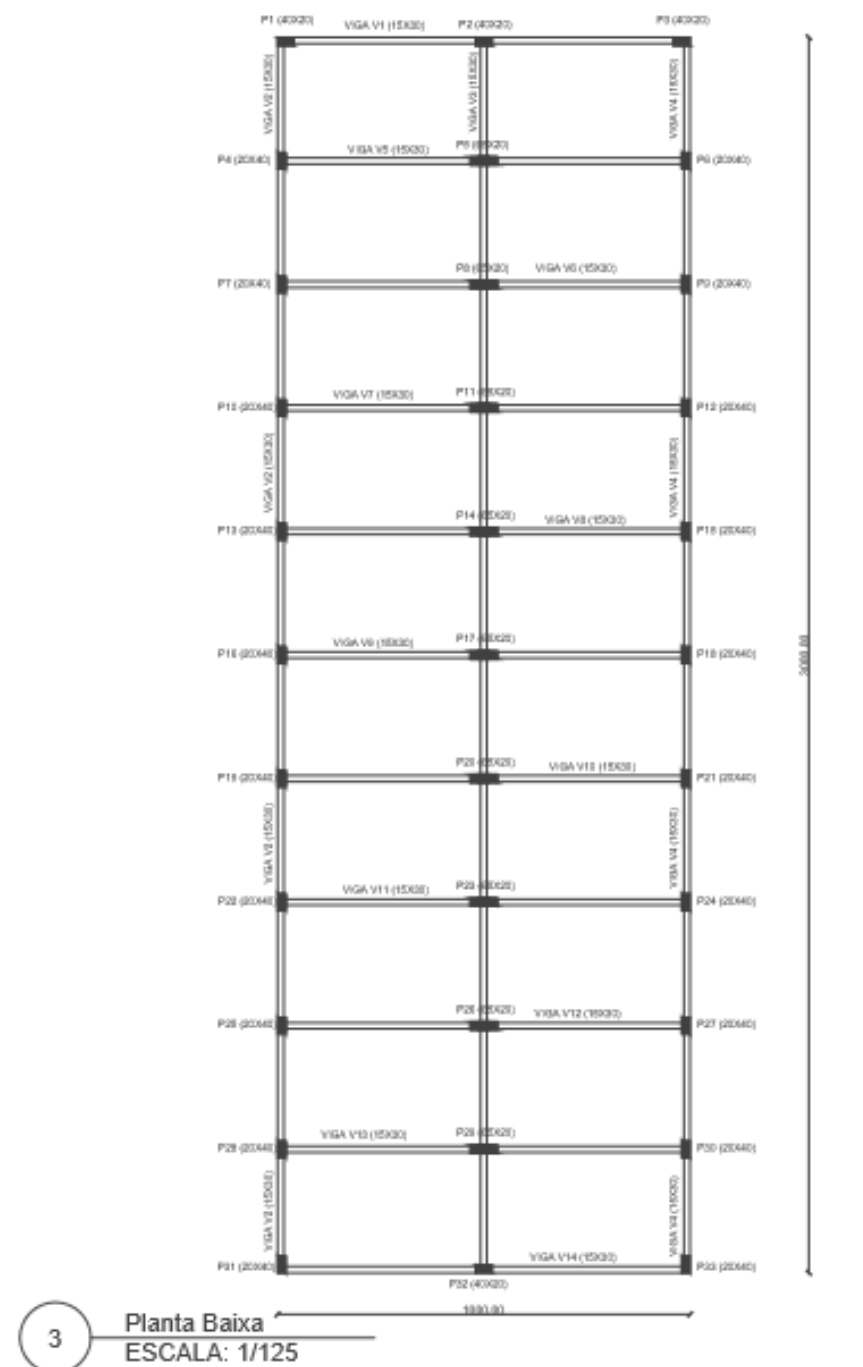
$$\text{Assim } Y_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{678,39}{76327,57}} = 1,01 < 1,1 \text{ (Equação 130)}$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

**4.3.3 Situação 3.3 - edifício de planta horizontal 10x30m com 15 andares, pilares retangulares de seção 40x20 e 65x20 e vigas 15x50.**

**Figura 32**–Planta baixa da situação 03 – 15 pavimentos

## PLANTA 10 X 30 ( 15 PAV)



Fonte: Próprio Autor (2016)

#### 4.3.3.1 Ações do vento que atuam na edificação

Para desenvolvermos o cálculo, consideraremos a estrutura em um terreno plano, em uma região densamente habitada na cidade de Caratinga.

Velocidade Característica do Vento:

$$V_k = V_o \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (\text{Equação 131})$$

$V_o = 30\text{m/s}$  – (Mapa das Isopletas NBR 6123:1988).

$S1 = 1,00$  – Terreno Plano NBR 6123:1988.

$S2$ : Na Avenida Benedito Valadares número 62, região onde se localiza a suposta edificação, atual edifício Monte Azul, significando região que se localiza na categoria IV. (Cota media do topo dos obstáculos é considera igual 10 m).

Pelo fato de toda a edificação na qual dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 e 50 metros, significa edificação de classe B.

Com isso, através da tabela 1 da NBR 6123 (1988) e pela formula:

$$S_2 = b \cdot Fr \cdot \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (\text{Equação 132})$$

Em que:

Z consiste na altura acima do terreno;

$F_r$  é o fator de rajada correspondente (tabela 1, NBR 6123:1988);

b é o parâmetro meteorológico (tabela 1, NBR 6123:1988);

p é o expoente da lei potencial de variação de (tabela 1, NBR 6123:1988).

$S3 = 1,00$  Como a edificação é caracterizada por seu uso residencial com alto teor de ocupação.

**Tabela 49-** Fator de rugosidade e dimensões da edificação

Altura(m)	S2
3,0	0,731
6,0	0,797
9,0	0,839
12,0	0,869
15,0	0,894
18,0	0,915
21,0	0,933
24,0	0,948
27,0	0,962
30,0	0,975
33,0	0,986
36,0	0,997
39,0	1,007
42,0	1,017
45,0	1,025

Fonte: Próprio Autor (2016)



**Tabela 50** - Cálculo da velocidade característica do vento

<b>Altura(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>
3,0	21,93
6,0	23,91
9,0	25,17
12,0	26,07
15,0	26,82
18,0	27,45
21,0	27,99
24,0	28,44
27,0	28,86
30,0	29,25
33,0	29,58
36,0	29,91
39,0	30,21
42,0	30,51
45,0	30,75

Fonte: Próprio Autor (2016)

**4.3.3.2 Cálculo da pressão de obstrução ( $q_{\text{vento}}$ ) que atua na edificação**

$$q_{\text{vento}} = 0,613 \cdot V^2 k$$

(Equação 133)

**Tabela 51** - Cálculo da pressão de obstrução do vento

<b>Altura(m)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>
3,0	0,294
6,0	0,350
9,0	0,388
12,0	0,416
15,0	0,440
18,0	0,462
21,0	0,480
24,0	0,496
27,0	0,510
30,0	0,524
33,0	0,536
36,0	0,548
39,0	0,559
42,0	0,570
45,0	0,579

Fonte: Próprio Autor (2016)

**4.3.3.3 Cálculo do coeficiente de arrasto ( $C_a$ ) que atua na edificação**

Considerando a classificação da edificação como categoria IV, é considerado em zona de vento de baixa turbulência. Para determinarmos o coeficiente de arrasto utilizaremos a figura 4 da NBR 6123:1988.

Analisando o vento indo perpendicularmente a maior dimensão em planta da edificação (vento a 0°):

$$H/l_1 = 45/10 \quad (\text{Equação 134})$$

$$H/l_1 = 4,5$$

Em que:

H é a altura da edificação e l1 é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 10/30 = 0,33 \quad (\text{Equação 135})$$

Analisando o vento indo perpendicularmente a menor dimensão em planta da edificação (vento a 90°):

$$H/l_1 = 45/30 \quad (\text{Equação 136})$$

$$H/l_1 = 1,5$$

Em que:

H é a altura da edificação e l1 é a largura da edificação (dimensão horizontal perpendicular à direção do vento).

$$l_1/l_2 = 30/10 = 3,0 \quad (\text{Equação 137})$$

Em que:

l<sub>2</sub> é a profundidade da edificação (dimensão na direção do vento).

Adotando para efeito de cálculo o vento a 90° por apresentar maior fator de risco. Pelo ábaco, figura 5 NBR 6123 (1988) temos Ca = 1,369

#### 4.3.3.4 Cálculo da força de arrasto (Fa) que atua na edificação

$$F_a = q_{\text{vento}} \cdot A_e \cdot C_a \text{ (Equação 138)}$$

Em que:

$q_{\text{vento}}$ : é a pressão de obstrução do vento;

$A_e$ : é a área frontal efetiva;

$C_a$ : é o coeficiente de arrasto.

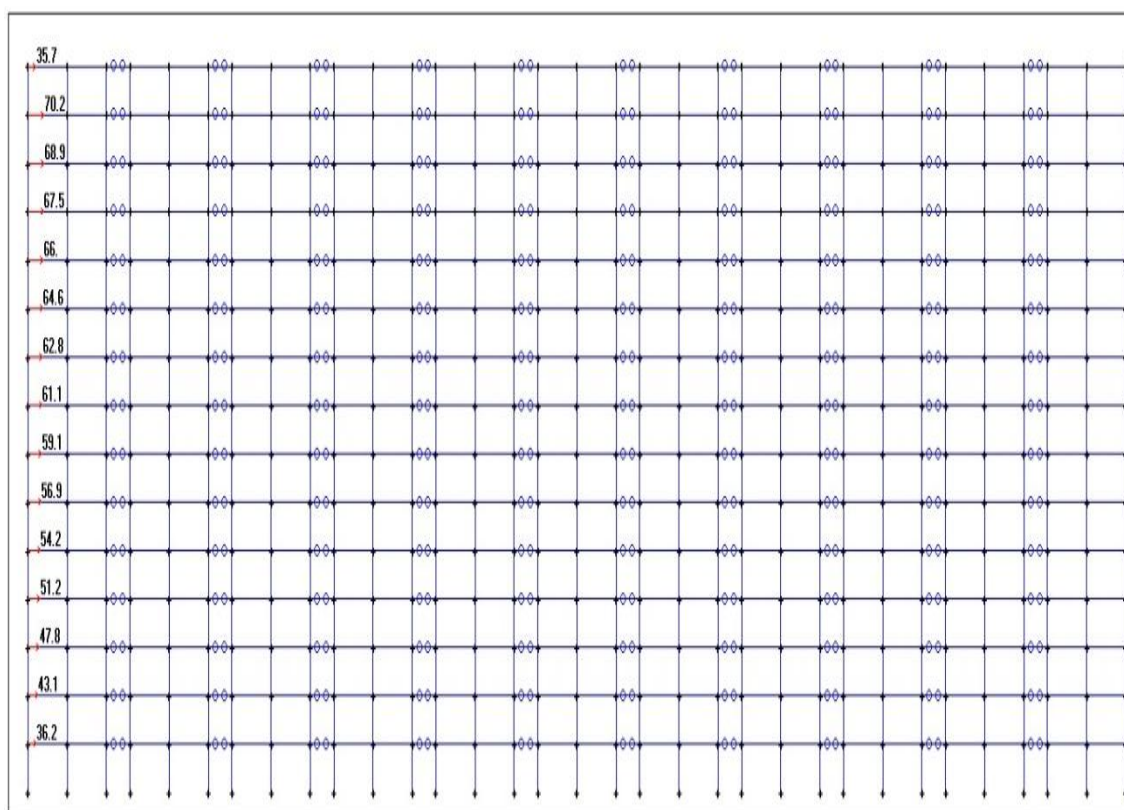
**Tabela 52–** Força de arrasto do vento

<b>Pav</b>	<b>H(m)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q<sub>vento</sub>(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>e</sub>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>a</sub></b>	<b>F<sub>a</sub>(kN)</b>
1	3,0	21,93	0,294	90,0	1,369	36,21
2	6,0	23,91	0,350	90,0	1,369	43,11
3	9,0	25,17	0,388	90,0	1,369	47,82
4	12,0	26,07	0,416	90,0	1,369	51,24
5	15,0	26,82	0,440	90,0	1,369	54,21
6	18,0	27,45	0,462	90,0	1,369	56,91
7	21,0	27,99	0,480	90,0	1,369	59,13
8	24,0	28,44	0,496	90,0	1,369	61,11
9	27,0	28,86	0,510	90,0	1,369	62,85
10	30,0	29,25	0,524	90,0	1,369	64,56
11	33,0	29,58	0,536	90,0	1,369	66,03
12	36,0	29,91	0,548	90,0	1,369	67,53
13	39,0	30,21	0,559	90,0	1,369	68,88
14	42,0	30,51	0,570	90,0	1,369	70,23
15	45,0	30,75	0,579	45,0	1,369	35,67
<b>TOTAL</b>						<b>845,49</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

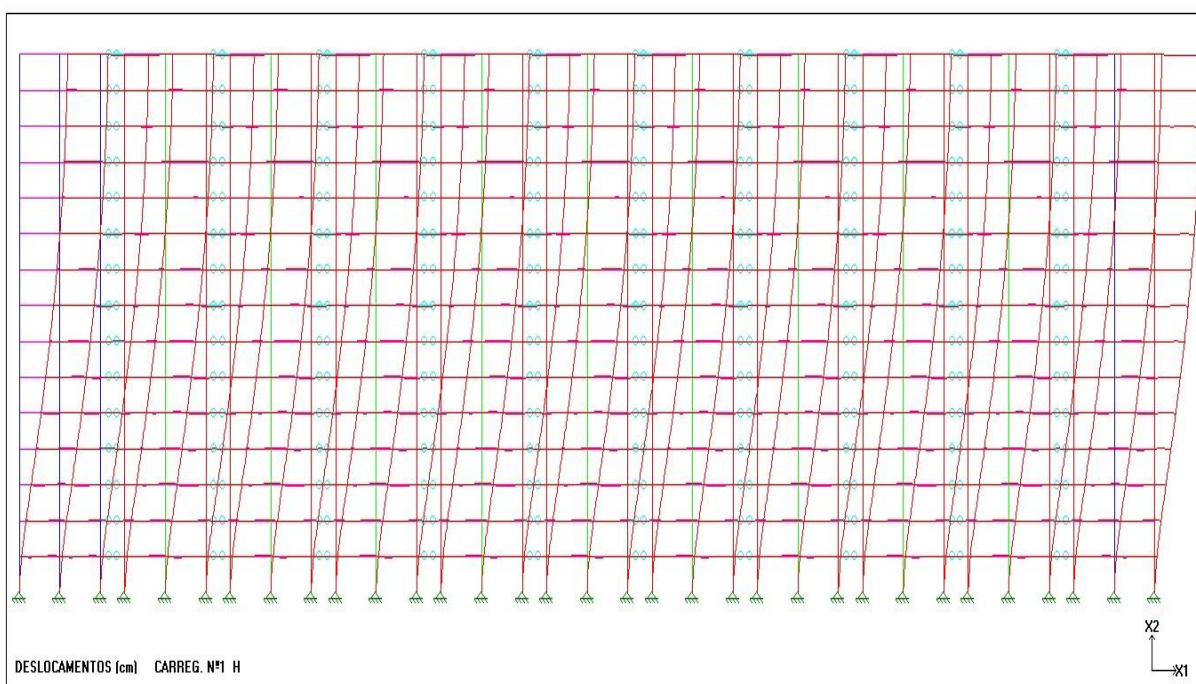
#### 4.3.3.5 Análise da situação proposta 3.3

**Figura 33** -Carregamento dos pórticos da situação proposta 3.3



Fonte:SoftwareStrap

**Figura 34** -Deslocamentos dos pórticos da situação proposta 3.3



Fonte: Software Strap

#### 4.3.3.6 Deslocamentos horizontais do edifício na situação proposta 3.3

Conforme a tabela abaixo segue os valores de deslocamento por pavimento e a variação entre pavimentos para consideração do efeito global e local de movimentação lateral do edifício.

**Quadro 18 – Deslocamento global e local**

Andar	$\delta h_i$ (cm)	$\Delta h_i \cdot \Psi_1$	$\delta h_{ipvto}$
15	6,57	1,97	0,03
14	6,46	1,94	0,06
13	6,28	1,88	0,07
12	6,05	1,81	0,08
11	5,76	1,73	0,11
10	5,39	1,62	0,12
9	4,99	1,50	0,13
8	4,57	1,37	0,15
7	4,08	1,22	0,17
6	3,49	1,05	0,17
5	2,93	0,88	0,19
4	2,29	0,69	0,19
3	1,66	0,50	0,21
2	0,97	0,29	0,16
1	0,42	0,13	0,13

Fonte: Próprio Autor (2016)

O deslocamento no topo da edificação é de 6,57cm, multiplicado pelo fator de redução de combinação frequente para ELS ( $\Psi_1=0,30$ ), resulta numa movimentação de 1,97cm percebe-se que o deslocamento não é excessivo, pois o deslocamento máximo permitido pela NBR-6118:2014 pag. 77 (Figura 5) é de:

$$\delta h_{i\max} = H/1700$$

$$\delta h_{i\max} = 45/1700 = 2,65 \text{ cm} \quad (\text{Equação 139})$$

Observando efeito local, entre pavimentos, deslocamento máximo permitido é dado pela equação:

$$\delta h_{i,\text{local}} = H_i/850$$

$$\delta h_{i,\text{local}} = 300/850 = 0,35 \quad (\text{Equação 140})$$

O deslocamento não é excessivo entre pavimentos, onde o maior valor encontrado é de 0,21cm.

Inércia do pilar equivalente

$$E_c = 0,85 \cdot 5600 \cdot 251/2 = 2,38 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{Equação 141})$$

$E_c$ : ao módulo de elasticidade longitudinal do concreto

$$I = (F \cdot H^3) / (3 \cdot E \cdot l)$$

$$I = (845,49 \cdot 45^3) / (3 \cdot 2,38 \cdot 10^7 \cdot 0,0197) = 55,00 \text{ m}^4 \quad (\text{Equação 142})$$

#### 4.3.3.7 Coeficiente $\gamma_z$

**Quadro 19 – Cargas verticais atuantes**

<b>Carga</b>	<b>Tipo</b>	<b>Valor</b>	<b>Total Parcial (KN)</b>
Acidental	Laje pavimento	10.30.1,5=	450,00
<b>Total parcial</b>	<b>Acidental</b>		<b>450,00</b>
Permanente	Laje do pavimento	10.30.1,5=	450,00
Sobrecarga permanente	Pavimento	0,05.10.30.18=	270,00
Permanente	Paredes de 15cm	(10.11+30.3).0,15.2,70.18=	1458,00
Permanente	Vigas de 15x30cm	(11.10 + 3.30) .0,15.0,50.25=	375,00
Permanente	Pilares de 20x40cm	0,40.0,20.3,00.24.25=	144,00
Permanente	Pilares de 20x65cm	0,65.0,20.3,00.9.25=	87,75

<b>Total Parcial</b>	<b>Permanente</b>		<b>2784,75</b>
<b>Total Final</b>	<b>Acidental + permanente</b>		<b>3234,75</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

$$\Delta M_{tot,d} = \sum_i^n (1,4 P_{gi} + 1,4 q_i) \cdot \delta h_i \quad (\text{Equação 143})$$

**Tabela 53** – Cálculo do momento de segunda ordem (na primeira iteração)

<b>Andar</b>	<b>Peso (kN)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b><math>\delta h_i</math> (cm)</b>	<b><math>\Delta M_{tot,d}</math> (kN.m)</b>
15	3234,75	1,4	6,57	297,53
14	3234,75	1,4	6,46	292,55
13	3234,75	1,4	6,28	284,40
12	3234,75	1,4	6,05	273,98
11	3234,75	1,4	5,76	260,85
10	3234,75	1,4	5,39	244,09
9	3234,75	1,4	4,99	225,98
8	3234,75	1,4	4,57	206,96
7	3234,75	1,4	4,08	184,77
6	3234,75	1,4	3,49	158,05
5	3234,75	1,4	2,93	132,69
4	3234,75	1,4	2,29	103,71
3	3234,75	1,4	1,66	75,18
2	3234,75	1,4	0,97	43,93
1	3234,75	1,4	0,42	19,02
<b><math>\Sigma</math> Total</b>				<b>2803,69</b>

Fonte: Próprio Autor (2016)

O desaprumo devido ao momento de primeira ordem é dado por:

$$M_{1,av} = \sum H v_i \cdot h_i \cdot \gamma_f \cdot \Psi_0 \quad (\text{Equação 47})$$

$$M_{1,av} = 0,84 \cdot 11(36,21 \cdot 3,00 + 43,11 \cdot 6,00 + 47,82 \cdot 9,00 + 12,00 \cdot 51,24 + 15,00 \cdot 54,21 + 18,00 \cdot 56,91 + 21,00 \cdot 59,13 + 24,00 \cdot 61,11 + 27,00 \cdot 62,85 + 30,00 \cdot 64,56 + 33,00 \cdot 66,03 + 36,00 \cdot 67,53 + 39,00 \cdot 68,88 + 42,00 \cdot 70,23 + 45,00 \cdot 35,67) = 198137,02 \text{KNm}$$

$$\text{Assim } Y_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} = \frac{1}{1 - \frac{2803,69}{198137,02}} = 1,01 < 1,1$$

A estrutura pode ser considerada de nós fixos.

## 5 ANÁLISE DO QUANTITATIVO DE AÇO ADICIONADO

Apesar da análise da estabilidade dos pórticos apontarem a não necessidade de redimensionamento estrutural, provando que o deslocamento horizontal não foi excessivo e contrapondo o que antes se imaginava principalmente das estruturas mais esbeltas, os mesmos modelos analisados anteriormente quanto à estabilidade foram dimensionados pelo software CYPECAD desenvolvida pela empresa espanhola CYPE ingenieros S.A, e comercializada aqui no Brasil pela empresa MULTI-PLUS. A versão utilizada do software foi a de 2012, onde o dimensionamento e detalhamento realizado pelo mesmo são feitos utilizando as normas aqui pertinentes.

O dimensionamento estrutural foi feita para cada situação proposta, sendo cada situação processada em duas hipóteses:

- a) Análise da estrutura sem a consideração do efeito dinâmico do vento.
- b) Análise da estrutura com a consideração do efeito dinâmico do vento.

O lançamento da estrutura foi feita da seguinte maneira:

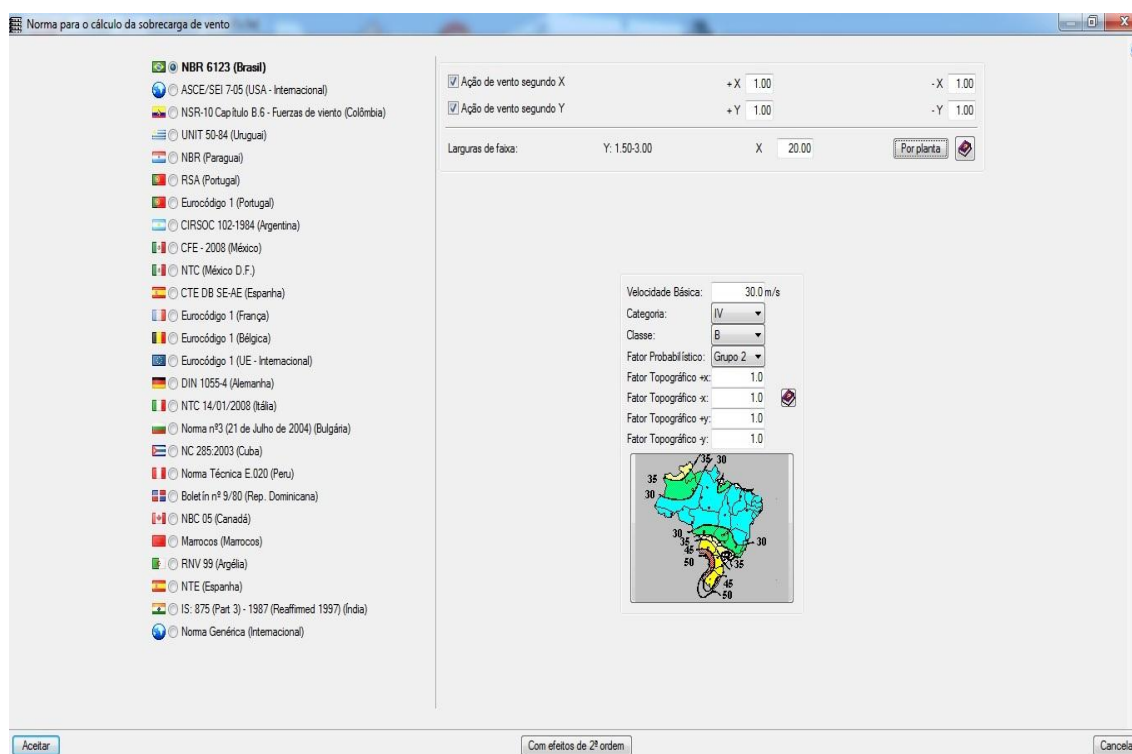
Inicialmente deve-se criar um arquivo para introdução de toda obra, escolhendo a partir da janela aberta automaticamente pelo programa a opção 'obra vazia' para que assim possam ser lançados todos os dados de forma manual e embasada nas normas aqui pertinentes, o próximo passo é a inserção de pisos/grupos através do elemento introdução>pisos/grupos devendo ser definida a altura dos pavimentos e as cargas permanentes e acidentais para cada um dos pisos e realizando posteriormente a importação do arquivo arquitetônico em tipo DWG através da ferramenta 'importação de mascaras'. Passada essa etapa inicial pode iniciar o lançamento da estrutura. O primeiro elemento a ser lançado são os pilares por meio do menu introdução/pilares definindo suas dimensões transversal e posteriormente em casos necessários poder ser editadas, o segundo elemento estrutural a ser lançado são as vigas utilizando a guia entrada de pavimento , vigas/paredes e na opção 'entrar viga' selecionando a tipologia da viga de acordo com a concepção estrutural definida. Após ser fechada a geometria da estrutura com os pilares e vigas, pode-se iniciar o lançamento das escadas e das lajes, neste caso utilizaremos lajes maciças de 10 centímetros de espessura. As fundações devem ser lançadas selecionando a opção 'elementos de fundação'. Lançada toda estrutura e as suas



cargas pertinentes a mesma pode ser processada através do menu ‘calcular’, ‘calcular a obra’, e assim toda a estrutura e processada de acordo com a NBR de estruturas de concreto armado. Ao termino do processamento é gerada o relatório de erros e que devem ser corrigidos.

Para que a ação do vento seja considerada deve ser selecionada a opção ‘com ação do vento’ no software, e a partir disso inserir os dados relativos à localização onde será edificada. A edificação foi processada considerando a velocidade básica de 30 m/s (situação de Caratinga no mapa de isopletas), classe B, categoria IV e fator probabilístico 2, sendo em ambas situações utilizados os mesmos valores, com exceção do fator S2 que tem variância quando a edificação se torna mais esbelta devida a adição de pavimentos, tais informações são expressas na figura 35.

**Figura 35 – Dados para consideração da ação do vento.**



Fonte:software cypecad

Dessa forma foi definida a influência de tal ação sobre a estrutura a medida que a edificação se torna maior com o acréscimo de pavimentos, podendo assim estabelecer um modelo comparativo do consumo de aço em função da maior resistência solicitada pela estrutura devida a ação do vento.

## 5.1 ANÁLISE DOS DADOS

Calculadas todas as situações propostas, foi gerado através do software de cálculo estrutural CYPECAD todos os relatórios de quantitativo de aço empregado na estrutura, relacionando neste estudo em questão somente as vigas e pilares que em associação formam-se o modelo de pórtico, e desconsiderando todos os outros elementos pertencentes à estrutura. Através destes dados foram criadas novas tabelas utilizando o software Microsoft Word, ilustrando o aumento de aço em função do acréscimo de pavimentos e da relação influência do vento na edificação. O cálculo do percentual de aço adicionado a estrutura devida a ação é baseada na relação total do somatório de aço (viga + pilar).

Em cada hipótese calculada, se obteve a taxa de aço acrescida devida a consideração dessa ação, tendo variação em função da ação do vento. Para tanto se obteve a diferença entre os valores da taxa de aço das situações que possuem número de pavimentos coincidentes e o percentual de acréscimo devido à interferência do vento na edificação.

A partir das situações de cálculo desenvolvidas foi possível estabelecer uma clara relação entre o aumento no consumo de aço do edifício em consequência da ação dos ventos à medida que sua altura se torna maior, ou seja, nota-se que a esbeltez do edifício influencia diretamente na forma como sua estrutura se comporta quando submetida à ação do vento.

Os quadros a seguir trazem as informações quanto aos índices de aço empregado na edificação para o enrijecimento da estrutura em função do vento, para todas as situações propostas.

**Quadro 20** - Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação

SITUAÇÃO 01 – EDIFÍCIO COM PLANTA 10X12 M			
Número de Pavimentos	Ação do Vento	Peso total + 10% (kg) Aço CA-50	Variação em (%) da taxa de aço devido ao vento

		Vigas	Pilares	Total	
4	Desconsiderada	1519	1133	2652	0,11
4	Considerada	1522	1133	2655	
10	Desconsiderada	3354	4835	8189	8,61
10	Considerada	3768	5126	8894	
15	Desconsiderada	4779	7476	12255	16,19
15	Considerada	5856	8384	14240	

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Quadro 21** - Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação

SITUAÇÃO 02 – EDIFÍCIO COM PLANTA 10X20 M					
Número de Pavimentos	Ação do Vento	Peso total + 10% (kg) Aço CA-50			Variação em (%) da taxa de aço devido ao vento
		Vigas	Pilares	Total	
4	Desconsiderada	2656	1651	4307	0,185
4	Considerada	2662	1653	4315	
10	Desconsiderada	5524	6395	11919	2,25
10	Considerada	5781	6407	12188	
15	Desconsiderada	8330	10995	19325	5,76
15	Considerada	9162	11276	20438	

Fonte: Próprio Autor (2016)

**Quadro 22**-Variação do acréscimo do quantitativo de aço em função da ação do vento de acordo com o aumento da edificação

SITUAÇÃO 01 – EDIFÍCIO COM PLANTA 10X30 M					
Número de Pavimentos	Ação do Vento	Peso total + 10% (kg) Aço CA-50			Variação em (%) da taxa de aço devido ao vento
		Vigas	Pilares	Total	

4	Desconsiderada	3261	4265	7526	3,81
4	Considerada	3354	4459	7813	
10	Desconsiderada	7201	16916	24117	9,90
10	Considerada	8462	18044	26506	
15	Desconsiderada	10567	27434	38001	17,34
15	Considerada	14911	29682	44593	

Fonte: Próprio Autor (2016)

Analisando os dados fornecidos pelos quadros 20, 21 e 22, e comparando os valores obtidos com a consideração da ação do vento e sem a mesma consideração, é notável que a simples consideração das cargas geradas pela ação do vento provoca um aumento do consumo de aço para a mesma edificação, observa-se ainda que a relação altura e maior dimensão em planta vêm também influenciar, onde nas situações em que essa relação se tornou maior, houve um acréscimo no percentual de aço em comparação com as situações anteriores, assim a altura do edifício influencia diretamente no aumento dessa variação. Tal fato demonstra que a estrutura é solicitada pela carga de vento tanto mais severamente quanto sua altura cresce.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como proposta do objeto em estudo, o presente trabalho avaliou a ação do vento para cada caso específico, demonstrando os parâmetros de instabilidade para diversas situações, observou-se que o deslocamento horizontal não se mostrou excessivo para as diversas configurações de planta e de número de pavimentos, além dos valores dos coeficientes *Gama-z* indicarem a possibilidade de desconsiderar o efeito de segunda ordem no dimensionamento estrutural. Embora o fato de ser facultativa a consideração do efeito de segunda ordem quando o *Gama-z* tem valor menor que 1,1, isto não implica que as ações do vento sejam insignificantes ou que possam ser desprezadas no projeto estrutural de uma edificação. Para enfatizar a importância da ação do vento no dimensionamento das vigas e dos pilares de uma edificação, utilizou-se o software CYPECAD, onde se encontrou, em algumas situações diferenças de até 17,34% na quantidade de armadura quando comparamos a análise feita com e sem a ação de vento na estrutura. É interessante ressaltar que no dimensionamento utilizando o CYPECAD, quando foi incluída a ação do vento na estrutura, também se considerou o efeito de segunda ordem.

Seria interessante que esse trabalho tivesse prosseguimento analisando o comportamento da ação do vento para outras configurações de planta e de número de pavimentos, assim como a utilização de outros softwares para que os dados sejam mais representativos para uma melhor conclusão e permitir uma maior segurança na avaliação dos efeitos do vento em uma edificação.

## BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, Diego Cadena de; VIDOTO, Thiago A. H. **Análise comparativa dos métodos estáticos e dinâmicos da ação do vento em edifícios esbeltos de concreto armado segundo a NBR 6123/1988**. 2013. 119f. TCC (Graduação do curso de Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASIELIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8691: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

CARVALHO, Roberto Chust.; PINHEIRO, Libâneo Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Paulo: Pini, 2009. Vol. 2.

CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. Vol 2. 2º ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2014.

GONÇALVES, Roberto M.; MALITE, Maximiliano; SALES, José Jairo; NETO, Jorge M. **Ação do vento nas edificações. Teoria e Exemplos**. 1ºed. São Paulo: EESC – USP, 2014.

MACIEL, Alex Roda; SOUZA, Carla Dias de; MOURA, Laura Pereira de. **Análise de estabilidade global em edificações**. 2011. 90f. TCC (Graduação do curso de Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo.

PRIGOL, Tais. **Análise estrutural de edifício com altura variada sob ação do vento segundo a NBR 6123**. 2012. 85f. TCC (Graduação do curso de Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, Christian Cesar Matos dos. **Ação do vento e estabilidade global em estruturas de concreto armado**. 2013. 50f. TCC (Graduação do curso de Engenharia Civil) - Universidade Católica de Santos, Santos

WAHRHAFTIG, Alexandre de Macêdo. **Ação do vento – Em estruturas esbeltas com efeito geométrico**. 1º ed. São Paulo: Blucher, 2013.