



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

GUSTAVO VARGAS TIMBONI

**A UTILIZAÇÃO DE VIGAS-PAREDE NAS ESTRUTURAS:
ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

Palhoça/SC

2019

GUSTAVO VARGAS TIMBONI

**A UTILIZAÇÃO DE VIGAS-PAREDE NAS ESTRUTURAS:
ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil da Universidade
do Sul de Santa Catarina como requisito
parcial à obtenção do título de Engenheiro
Civil.

Orientador: Prof. Paulo Henrique Wagner, Esp.

Palhoça/SC

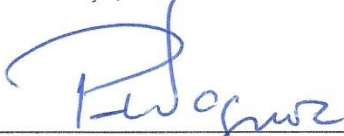
2019

GUSTAVO VARGAS TIMBONI

**A UTILIZAÇÃO DE VIGAS-PAREDE NAS ESTRUTURAS:
ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

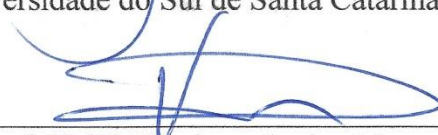
Palhoça, 14 de novembro de 2019.



Professor e orientador Paulo Henrique Wagner, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Marcelo Cechinel, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Valdi Henrique Spohr, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me proveu forças e energias para continuar sempre dando o máximo de mim, levando-me a idealizar e trabalhar em cima deste trabalho.

Agradeço à minha noiva, que esteve ao meu lado durante todo o tempo, me apoiando e me fortalecendo, independente do momento.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram nesta trajetória e mesmo com alguns conflitos instaurados pelo caminho, estiveram aqui para me apoiar.

E a todos os professores que pouco a pouco foram contribuindo nessa caminhada até aqui, fornecendo todo o conhecimento possível nesses anos de graduação.

“Comece a lutar. Prove que está vivo. Se você não reivindica a sua humanidade, você se transforma em mera estatística.” (Chuck Palahniuk, 1999).

RESUMO

As estruturas possuem um elemento de suma importância chamado de estabilidade. A estabilidade destas estruturas é tratada como a peça chave na hora de se projetar e construir uma edificação, porém o seu conforto, estética e eficiência desejado nas normas atuais acaba por limitar os dados para o cálculo da estabilidade. Este trabalho trata de uma análise de estabilidade em uma estrutura vertical com o uso de vigas-parede, comparando-a com o resultado obtido na mesma estrutura sem os elementos de vigas-parede realizando sua sustentação. A principal norma a ser referenciada e utilizada como padrão para os cálculos de estabilidade das estruturas é a NBR 6118:2014. Após as análises dos resultados obtidos pelos cálculos, verificou-se que a adição das vigas-parede foram levemente benéficas à estabilidade global da estrutura em estudo comparando-se com a mesma estrutura sem a adição destes elementos enrijecedores, sendo estas uma opção não-viável levando em conta a parte financeira da construção.

Palavras-chave: Vigas-parede. Efeitos do Vento. Estabilidade. Estruturas de concreto armado.

ABSTRACT

Structures have a point of uttermost importance called stability. Their stability is considered the key aspect when looking forward to projecting and constructing a building, but their comfort, esthetics and efficiency desired in the present regulations end up limiting some of the data used for the reckoning of its stability. This paper presents an analysis of the stability in a vertical structure with the use of deep beams and also compares it with the result obtained for the same structure but without using deep beams in their sustenance. The main regulation referenced and used as a pattern for the reckonings of the stability of the structures is the NBR 6118:2014. Posterior to the analysis of the results obtained from the calculation, it could be verified that the addition of deep beams were slightly beneficent to the global stability of the structure in study comparing it to the same structure without the addition of these stiffeners, these being a non-viable option due to the financial part of the construction.

Keywords: Deep beams. Effects of the wind. Stability. Reinforced Concrete estruturas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Efeitos de Segunda Ordem	16
Figura 2 – Comparativo de deformação de um pilar de acordo com $P\Delta$	19
Figura 3 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).....	21
Figura 4 – Comportamento de uma estrutura contraventada por pilar-parede.....	31
Figura 5 – Comportamento de uma estrutura contraventada por pórtico	33
Figura 6 – Dois tipos comuns de vigas-parede em relação ao carregamento.....	34
Figura 7 – Armação típica de viga-parede com $H \leq L$	35
Figura 8 – Projeto convencional em 3D.....	40
Figura 9 – Planta de forma da estrutura convencional.....	41
Figura 10 – Materiais e Durabilidade	42
Figura 11 – Velocidade do vento.....	43
Figura 12 – Deformação da estrutura convencional em 3D	44
Figura 13 – Valores de deslocamento estrutura convencional	45
Figura 14 – Projeto com a adição das vigas-parede em 3D	50
Figura 15 – Planta de forma da estrutura com a adição das vigas-parede	51
Figura 16 – Deformação da estrutura em 3D da estrutura com a adição de vigas-parede.....	53
Figura 17 – Valores de deslocamento para a estrutura com a adição de vigas-parede	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rugosidade do terreno	24
Tabela 2 – Dimensão da edificação	24
Tabela 3 – Parâmetros meteorológicos	25
Tabela 4 – Valores mínimos do fator estatístico S_3	26
Tabela 5 – Ponderadores da rigidez secante dos elementos estruturais segundo a ABNT NBR 6118 (2014)	27
Tabela 6 – Classe de Agressividade Ambiental	30
Tabela 7 – Limites para deslocamento.....	36
Tabela 8 – Pavimentos e suas respectivas alturas.....	39
Tabela 9 – Deslocamentos estrutura convencional.....	43
Tabela 10 – Resultados do processo P-Delta para a estrutura convencional	46
Tabela 11 – Verificação do fator Gama-Z da estrutura convencional	46
Tabela 12 – Volume de concreto por pavimento da estrutura convencional	47
Tabela 13 – Peso do aço (+10%) por pavimento na estrutura convencional	47
Tabela 14 – Deslocamentos da estrutura com a adição de vigas-parede	52
Tabela 15 – Resultados do processo P-Delta para a estrutura com a adição das vigas-parede	55
Tabela 16 – Verificação do fator Gama-Z da estrutura com adição de vigas-parede.....	55
Tabela 17 – Volume de concreto por pavimento da estrutura com a adição de vigas-parede	56
Tabela 18 – Peso do aço (+10%) por pavimento na estrutura com adição de vigas-parede	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Deslocamento do vento na direção X em centímetros.....	58
Gráfico 2 – Deslocamento do vento na direção Y em centímetros.....	59
Gráfico 3 – Custo total de materiais dos projetos.....	60
Gráfico 4 – Análise do Gama-Z das estruturas.....	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO.....	12
1.1.1	Objetivo Geral.....	12
1.1.2	Objetivo Específico	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	PROBLEMÁTICA	13
1.4	LIMITES ESTABELECIDOS PARA O TRABALHO	13
1.5	DELINEAMENTO DO TRABALHO	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1	ESTABILIDADE ESTRUTURAL	15
2.2	COEFICIENTE ALFA (α)	17
2.3	COEFICIENTE GAMA-Z (γ_z).....	18
2.4	RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS α E γ_z	19
2.5	PROCESSO P-DELTA ($P\Delta$)	19
2.6	AÇÃO DO VENTO NAS ESTRUTURAS	21
2.6.1	Fator topográfico – S_1	23
2.6.2	Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2 ...	23
2.6.3	Fator estatístico – S_3	25
2.7	NÃO-LINEARIDADE FÍSICA	26
2.8	NÃO-LINEARIDADE GEOMÉTRICA	27
2.9	CONCRETO ARMADO	28
2.10	EBERICK V10	28
2.11	DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS.....	29
2.11.1	Vida útil.....	30
2.11.2	Agressividade Ambiental	30
2.12	ELEMENTOS DE CONTRAVENTAMENTO.....	31
2.12.1	Pilar-Parede	31
2.12.2	Núcleo de Rigidez.....	32
2.12.3	Paredes Estruturais.....	32
2.12.4	Pórticos	32
2.12.5	Vigas-Parede	33
2.13	DESLOCAMENTOS-LIMITE	35

3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	38
3.1	INTRODUÇÃO.....	38
3.2	ESTRUTURA CONVENCIONAL.....	39
3.3	ESTRUTURA DE VIGAS-PAREDE	49
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5.1	CONCLUSÃO.....	62
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXO 1 – PROJETO CONVENCIONAL.....	66
	ANEXO 2 – PROJETO COM ADIÇÃO DE VIGAS-PAREDE	78

1 INTRODUÇÃO

A evolução e crescimento das metrópoles e centros urbanos, tal qual o aumento considerável da população mundial, nos traz a necessidade de construir edificações de um número elevado de pavimentos, mas respeitando a esbeltez da edificação e de seus elementos apesar das alturas elevadas.

Lins (2013, p.28) afirma que os problemas da instabilidade das estruturas estão ligados às imperfeições geométricas, ações verticais, ações horizontais e rigidez das mesmas, estes fatores serão estudados neste documento.

As estruturas vêm tendo cada vez mais ênfase no quesito estabilidade, pois as mesmas vêm ganhando alturas antes inimagináveis. Com isso, trata-se cada vez mais de adaptar os projetos estruturais para resistirem às forças horizontais, principalmente as forças advindas do vento.

Este trabalho tem o foco voltado para a análise da estabilidade nas estruturas, trazendo um comparativo entre uma estrutura com o uso de vigas-parede e uma estrutura padrão, sem as vigas-parede nos seus componentes estruturais. Também é tratada a análise quanto à redução dos deslocamentos horizontais causados pelos efeitos do vento em ambas estruturas.

Segundo NBR 6118 (2014, p. 181) as vigas parede são vigas com grandes alturas, respeitando um limite da razão vão/altura entre 2 metros e 3 metros. Dentro desta limitação, alguns elementos foram substituídos por vigas-parede, ao invés de paredes convencionais, para a análise de sua estabilidade quanto às forças em geral.

Para tal, foi utilizado o *software* Eberick para melhor adequação dos resultados e para simplificação da análise, quando se comparando ao método tradicional de cálculos.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo entre uma edificação convencional e uma edificação utilizando-se de vigas-parede como elementos de sustentação visando uma melhora na estabilidade da estrutura como um todo.

1.1.2 Objetivo Específico

- Pesquisar sobre os temas a serem estudados;
- Lançar dados no software utilizado no desenvolvimento deste trabalho;
- Fazer uma análise dos resultados obtidos; e,
- Comparar as estruturas em estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O tema foi escolhido por interesse sobre as vigas-parede, que não são elementos dentre os mais utilizados nos dias atuais, e por interesse em obter um conhecimento melhor sobre este elemento e na área de estabilidade global.

Por meio deste, pretende-se obter embasamento teórico sobre estabilidade, assim como o conceito e emprego de vigas-parede, analisando a atuação dos esforços numa estrutura convencional e uma estrutura com o uso de vigas-parede.

Será utilizado o *software* Eberick para analisar os esforços que atingem as duas estruturas, obtendo uma melhor compreensão dos resultados obtidos e facilitando-se a análise como um todo.

1.3 PROBLEMÁTICA

A problemática a ser resolvida neste trabalho gira em torno da análise da estabilidade e efeitos globais, verificando assim se há uma melhora substancial entre os dois modelos estruturais estudados, no quesito de adição das vigas-parede, de acordo com os resultados então obtidos com o uso do *software* Eberick. Haverá então uma melhora na estabilidade global da estrutura com a adição das vigas-parede?

1.4 LIMITES ESTABELECIDOS PARA O TRABALHO

O trabalho tem a intenção de analisar duas estruturas, comparando-as quanto a sua estabilidade global, sendo adicionadas vigas-parede. Os limites relacionados ao trabalho giram em torno da estabilidade global, portanto alguns pontos não foram levados em consideração, como:

- Elaborar um projeto arquitetônico;

- Analisar a melhoria da armadura na estrutura; e,
- Analisar alterações na fundação das edificações.

1.5 DELINEAMENTO DO TRABALHO

Este documento será descrito em 5 partes.

Na primeira parte tratou-se da introdução e definição do tema, expondo-o, limitando-o, descrevendo seus objetivos e justificando sua relevância e importância para o caráter acadêmico.

Na segunda parte abordou-se a revisão bibliográfica sobre o tema e seus pontos variados, acercando os leitores de tudo que será tratado neste documento, incluindo todas as orientações e conceitos, com foco especial na estabilidade global das estruturas e também nas vigas-parede.

Na terceira parte será realizado o desenvolvimento do trabalho de acordo com a metodologia adotada e estudada, levando em consideração todas as normas e detalhes necessários para a realização da análise e comparação entre os modelos estruturais apresentados, onde foi utilizado o *software* Eberick para comparação entre o modelo com e sem a utilização de vigas-parede.

Na quarta parte serão analisados os resultados para realização da análise comparativa entre os dois modelos estruturais abordados.

Finaliza-se na quinta parte com conclusões obtidas nos resultados e também possíveis sugestões para melhor desenvolvimento futuro do tema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem a ênfase de apresentar e expor pontos importantes do trabalho, levantando-os e dissertando-os.

Dentre os assuntos estão a estabilidade das estruturas, o coeficiente alfa (α), o coeficiente gama-z (γ_z), a relação entre os dois coeficientes, o P-delta ($P\Delta$), a não-linearidade física e geométrica, a ação do vento em estruturas, os elementos de vigas-parede e os deslocamentos-limite.

2.1 ESTABILIDADE ESTRUTURAL

Segundo o item 15.2 da NBR 6118:2014, em estruturas de concreto armado, incluindo as vigas-parede, o limite para a instabilidade é atingido quando há elementos que sejam submetidos a flexo-compressão, com as ações solicitantes sendo maiores que as resistentes.

De acordo com REIS & CAMOTIN (2001 apud Marin, 2009, p. 29):

“Na análise e dimensionamento de estruturas, a noção de ‘estabilidade’ aparece sempre associada ao conceito de equilíbrio, na medida em que é utilizada para classificar ‘configurações de equilíbrio’. Assim, admite-se que uma estrutura, submetida a um sistema de forças exteriores, exibe uma configuração de equilíbrio caracterizada pelos valores de deslocamentos dos seus pontos. A estabilidade dessa configuração pode ser avaliada através do comportamento da estrutura, após sofrer uma perturbação causada por uma pequena ação exterior arbitrária. A configuração de equilíbrio é dita ‘estável’ ou ‘instável’ consoante ao regresso ou não da estrutura, quando cessa a perturbação.”

Quando trata-se de um projeto estrutural de qualquer tipo, a estabilidade é um dos pontos que devem ser analisados ao iniciar o desenvolvimento do projeto da estrutura.

Ainda assim, afirma Lins (2013, p. 28):

“Os problemas da instabilidade das estruturas estão intimamente ligados a aspectos relacionando as imperfeições geométricas, ações verticais, ações horizontais e rigidez das mesmas. A combinação dos quatro fatores faz com que a estrutura se manifeste através da modificação de sua configuração geométrica inicial, dessa forma, a estrutura passa a assumir, mesmo que deformada, uma nova configuração de equilíbrio estável. A deformação da estrutura acompanha o aparecimento dos deslocamentos horizontais, aspecto esse que pode ser representativo na etapa de análise [sic] estrutural, sendo determinantes para a determinação dos esforços finais da estrutura.”

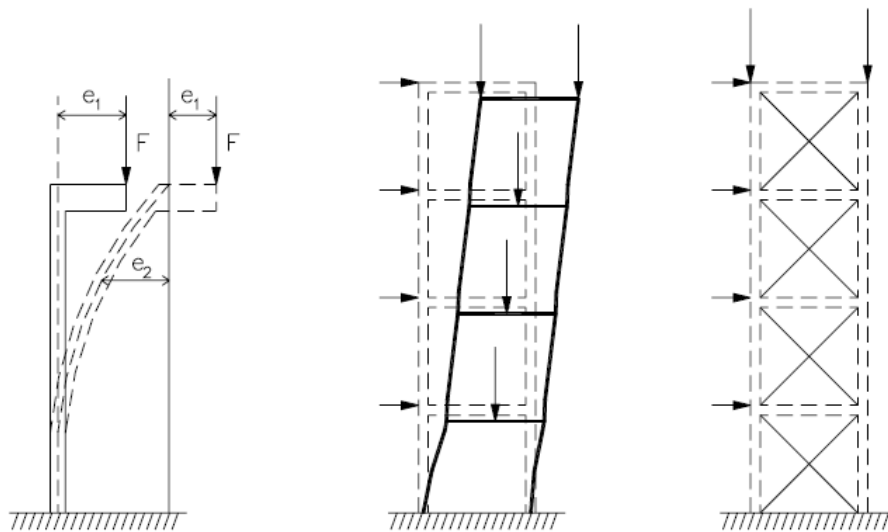
Os parâmetros necessários para avaliar a estabilidade global de estruturas de concreto, segundo a NBR 6118:2014, são: o coeficiente α e o coeficiente γ_z . Ambos têm suas particularidades e limites e seus parâmetros obedecem ao critério de imobilidade, que é definido como sendo uma relação de 10% entre os efeitos de primeira e segunda ordem.

O item 15.4.2 da NBR 6118:2014 classifica as estruturas em relação à mobilidade dos elementos estruturais, classificando-as em “nós fixos” e “nós móveis”.

Quando os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e, conseqüentemente, os esforços de 2ª ordem são desprezíveis (inferiores a 10% dos esforços de primeira ordem), as estruturas em questão são classificadas como estruturas de nós fixos. Do contrário (superiores a 10% dos esforços de primeira ordem) classificam-se como estruturas de nós móveis, sendo considerados os esforços de segunda ordem globais e localizados.

Os efeitos de segunda ordem atuam de acordo com a figura 1:

Figura 1 – Efeitos de Segunda Ordem



Fonte: Fusco (1994) apud Wordell (2003).

Segundo Bastos (2005, apud Santos, 2015, p. 69), existem elementos estruturais que fornecem contraventamento por propiciarem grande inércia à edificação. Estes podem ser pilares-parede, paredes estruturais, treliças, pórticos, núcleos de rigidez, vigas-parede, entre outros.

“Nos sistemas de contraventamento, os pilares de contraventamento ou outros elementos estruturais como paredes ou núcleos estruturais, além de serem responsáveis pela coleta dos carregamentos que são aplicados nos pisos através dos subsistemas horizontais que os leva até o solo, também recebem os carregamentos laterais.”

2.2 COEFICIENTE ALFA (α)

O coeficiente α vêm sendo utilizado em diversos tipos de trabalhos acadêmicos e sendo referenciado nas normas nacionais. Seu uso deve-se às avaliações de sistemas de contraventamento.

Lins (2013, p. 36) reitera:

“O artifício adotado para promover a adaptação do parâmetro de estabilidade α para edificações foi realizado tomando como base um edifício com características particulares. O edifício modelo tem como premissa admitir certa regularidade dimensional, devendo estar igualmente espaçados os diversos pavimentos componentes. O artifício proporciona a realização da adaptação do equacionamento sem [que] haja à [sic] necessidade da utilização de recursos computacionais. O método de simplificação consiste em converter as distancias [sic] finitas entre pavimentos sucessivos em medidas infinitesimais dx , enquanto que a diferença de deslocamento entre pavimentos consecutivos em medidas infinitesimais dy .”

Este coeficiente, definido pela NBR 6118:2014 como parâmetro de instabilidade, é obtido através de:

$$\alpha = H * \sqrt{\frac{N_k}{E_{cs} * I_c}} ;$$

Onde:

H: altura total da edificação, desde a fundação até um nível um pouco deslocável do subsolo;

N_k : é o somatório de todas as cargas verticais atuantes na estrutura (a partir do nível considerado para o cálculo de H), com seu valor característico;

E_{cs} : representa o valor do módulo de elasticidade do concreto; e,

I_c : é o valor do momento de inércia do concreto.

Para desprezar-se os efeitos de 2ª ordem global, deve-se respeitar a condição de:

$$\alpha \leq \alpha_1$$

Sendo:

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

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

Neste caso n é o número de barras horizontais (andares) acima da fundação ou de nível pouco deslocável do subsolo.

No caso deste trabalho será adotado para o valor-limite $\alpha_1 = 0,5$, pois a estrutura é composta exclusivamente por pórticos, sem a adição de pilares-parede na sua estrutura.

2.3 COEFICIENTE GAMA-Z (γ_z)

O estudo deste coeficiente tem a intenção de se estabelecer a mobilidade de uma estrutura e estimar os esforços de segunda ordem na mesma. Segundo o item 15.5.3 da NBR 6118:2014, este coeficiente é válido apenas para edificações de quatro ou mais andares, podendo ser determinado a partir de uma análise linear de primeira ordem.

Conforme a própria NBR 6118:2014, o valor de γ_z , para cada combinação de carregamento, é dado por:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$: a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, com seus valores de cálculo; sendo:

$$\Delta M_{tot,d} = \Sigma(P_{id} * y_i)$$

Sendo:

P_{id} : a força vertical do andar i ; e,

y_i : o deslocamento horizontal do andar i .

$M_{1,tot,d}$: o momento de tombamento, sendo este a soma de todas as forças horizontais, com seus valores de cálculo, sendo:

$$M_{1,tot,d} = \Sigma(FH_{id} * x_i)$$

Estes sendo:

FH_{id} : a força horizontal do andar i ; e,

x_i : a distância do andar i à base do edifício.

Novamente de acordo com a NBR 6118:2014, é permitida a determinação dos esforços globais finais ($1^a + 2^a$ ordem) a partir da majoração dos esforços horizontais da combinação de carregamento por $0,95 * \gamma_z$.

Esta majoração é válida para $\gamma_z \leq 1,30$, considerando-se assim uma estrutura de nós móveis, utilizando a seguinte expressão:

$$M_{2d} = \gamma_z * M_{1d}$$

Para o caso de $\gamma_z \leq 1,10$, é considerada então uma estrutura de nós fixos, independente do seu contraventamento.

2.4 RELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS α E γ_z

A principal diferença entre o coeficiente α e o coeficiente γ_z é que o coeficiente α indica se há a necessidade da realização de uma análise de 2^a ordem, enquanto o γ_z fornece dados estimados dos acréscimos dos esforços de segunda ordem.

Nas palavras de Carmo (1995 apud Wordell, 2003, p. 23), pode-se obter o correspondente valor aproximado de γ_z por meio da determinação de α possibilitada pela equação empírica a seguir:

$$\gamma_z = 0,90 + 0,52 * \alpha - 0,62 * \alpha^2 + 0,46 * \alpha^3$$

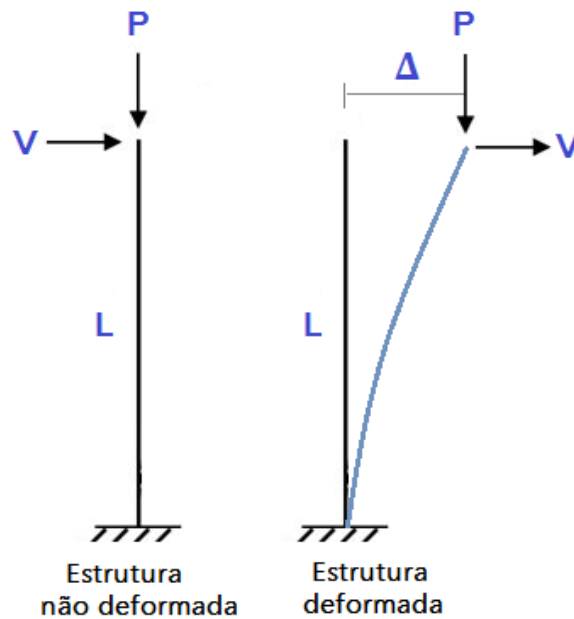
2.5 PROCESSO P-DELTA ($P\Delta$)

Os esforços quando aplicados tanto horizontalmente quanto verticalmente, acabam por gerar esforços adicionais. Este fenômeno não linear é chamado de $P\Delta$.

Este processo acaba por simular o efeito de não-linearidade na estrutura por meio da aplicação de cargas horizontais na edificação, obtendo assim nós deslocados.

O efeito $P\Delta$ pode ser demonstrado pela figura 2:

Figura 2 – Comparativo de deformação de um pilar de acordo com $P\Delta$



Fonte: Socrate Muñoz Iglesia, AltoQi.

Segundo Iglesia, se o equilíbrio do pilar é considerado no estado não deformado da estrutura, o momento fletor na base será $M = V * L$. O deslocamento lateral é:

$$\Delta = \frac{V * L^3}{3 * EI}, \text{ e como } M = V * L, \text{ temos:}$$

$$\Delta = \frac{M * L^2}{3 * EI}$$

Agora, se for considerado o estado deformado do pilar, o momento fletor da base será:

$$M = V * L + P * \Delta, \text{ e o deslocamento lateral é:}$$

$$\Delta = \frac{(V * L + P * \Delta) * L^2}{3 * EI} = \frac{V * L^3}{3 * EI} + \frac{P * \Delta * L^2}{3 * EI}$$

Percebe-se que no deslocamento lateral há a adição do termo $P\Delta$, aumentando assim o momento na base e os deslocamentos no topo. Realiza-se então os cálculos por meio de processos iterativos até a manutenção do equilíbrio no estado deformado da estrutura.

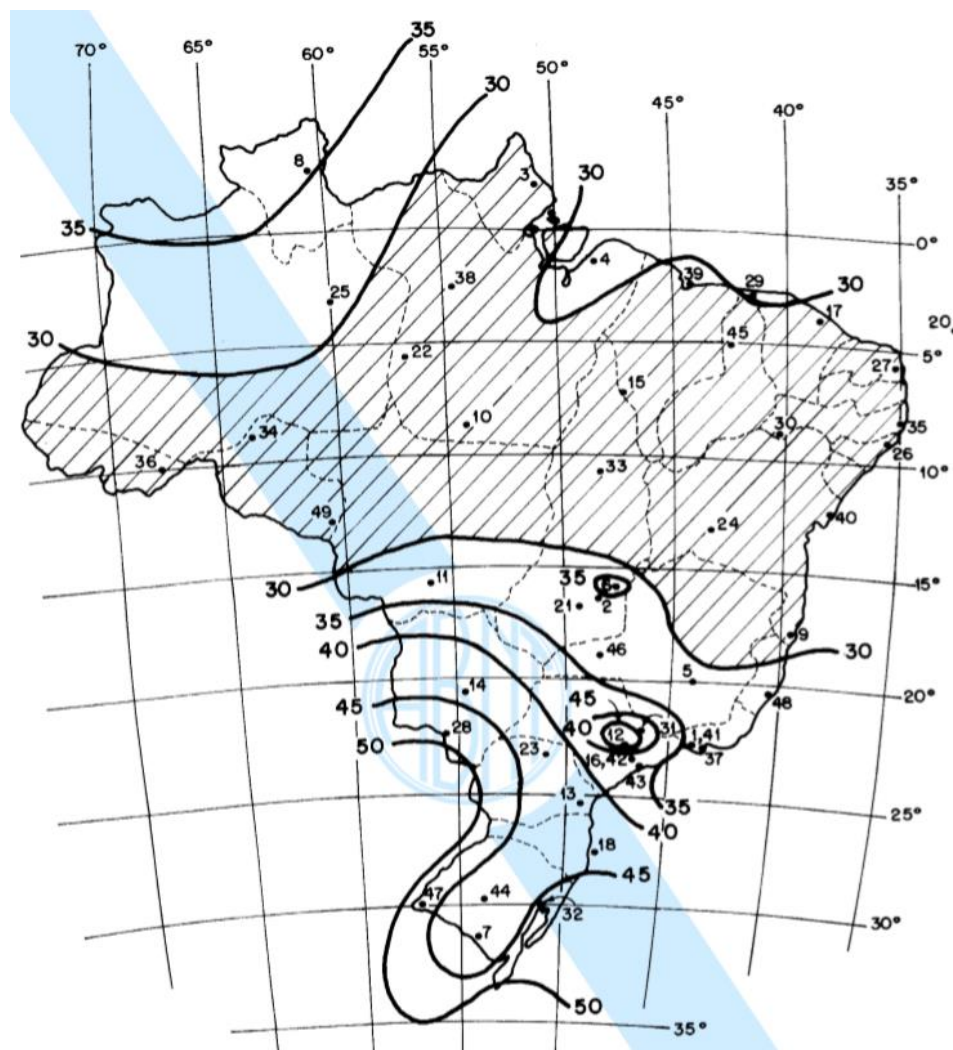
2.6 AÇÃO DO VENTO NAS ESTRUTURAS

Há de se determinar os efeitos ocasionados pelo vento no local da obra, de acordo com a NBR 6123:2013. Dessa determinação, têm-se como base o gráfico das isopletas, segundo a própria norma citada, que determina a velocidade básica do vento (V_0) em m/s, que é determinada pela velocidade média sobre 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros do nível do terreno em lugar aberto e plano.

De acordo ainda com a NBR 6123, se houverem dúvidas sobre qual valor determinar, de acordo com o gráfico das isopletas, recomenda-se realizar um estudo específico para determinação da velocidade básica do vento.

Segue o gráfico das isopletas:

Figura 3 – Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123, p. 6.

Após a determinação de V_0 , há de se aplicar a seguinte equação, para determinação da velocidade característica (V_k):

$$V_k = S_1 * S_2 * S_3 * V_0$$

Onde:

V_0 : a velocidade básica do vento, segundo o gráfico demonstrado acima;

S_1 : o fator topográfico;

S_2 : o fator de rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno; e,

S_3 : o fator estatístico.

De acordo com Wordell (2003, p. 38), após a determinação de V_k , têm-se a determinação da pressão dinâmica de obstrução exercida pelo vento a uma face plana do edifício, dado pela expressão:

$$q_0 = 0,613 * V_k^2$$

Sendo:

q_0 : pressão dinâmica de obstrução, em N/m²

Após este, segundo Melges (2005, p. 15), para obter a pressão estática (q), que incidirá sobre certa face da estrutura, precisa-se aplicar um coeficiente de arrasto em cima da pressão dinâmica de obstrução obtido na última expressão.

A pressão estática obtém-se através da expressão:

$$q = C_a * q_0$$

Onde:

C_a : o coeficiente de arrasto, que majora ou minora a pressão dinâmica de obstrução do vento, usado para obter-se a força global que o vento exerce.

Conforme Wordell (2003 p. 38), quanto maior a relação área de incidência do vento e área lateral, maior será o coeficiente de arrasto, que influenciará bastante sobre o valor da pressão estática incidente sobre a face da estrutura em questão.

2.6.1 Fator topográfico – S_1

Este fator considera as variações do relevo do terreno e tem sua determinação a partir do seguinte modo:

- a) Para terrenos planos ou fracamente acidentados: $S_1 = 1,0$;
- b) Para taludes e morros:
 - $\theta \leq 3^\circ$ $\rightarrow S_1(z) = 1,0$;
 - $6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ$ $\rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(25 - \frac{z}{d}\right) * tg(\theta - 3^\circ) \geq 1$;
 - ou,
 - $\theta \geq 45^\circ$ $\rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(25 - \frac{z}{d}\right) * 0,31 \geq 1$
- c) Para vales profundos, protegidos de vento de qualquer direção, $S_1 = 0,9$.

2.6.2 Rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura sobre o terreno – S_2

Em conformidade com o item 5.3, página 8, da NBR 6123, o fator S_2 leva em conta o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação.

Também é citado neste item que:

“Em ventos fortes em estabilidade neutra, a velocidade do vento aumenta com a altura acima do terreno. Este aumento depende da rugosidade do terreno e do intervalo de tempo considerado na determinação da velocidade. Este intervalo de tempo está relacionado com as dimensões da edificação, pois edificações pequenas e elementos de edificações são mais afetados por rajadas de curta duração do que grandes edificações. Para estas, é mais adequado considerar o vento médio calculado com um intervalo de tempo maior.”

O fator S_2 é utilizado no cálculo da velocidade do vento, como descrito antes, em uma altura “z” acima do nível do terreno, e o mesmo é obtido pela seguinte expressão:

$$S_2 = b * F_r * \left(\frac{z}{10}\right)^p$$

Onde:

F_r : o fator de rajada, sempre correspondente à categoria II.

A expressão é aplicável até a altura z_g , que define o contorno superior da camada atmosférica.

Sobre a rugosidade do terreno, retiraram-se as informações da norma e organizou-as de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 1 – Rugosidade do terreno

Categoria	<i>Descrição do ambiente</i>
I	Mar calmo, lagos, rios e pântanos sem vegetação
II	Zonas costeiras planas, pântanos com vegetação rala, campos de aviação, pradarias, charnecas e fazendas sem sebes ou muros
III (Considera-se cota média do topo dos obstáculos = 3,0 m)	Granjas, casas de campo, fazendas com sebes ou muros e subúrbios a considerável distância do centro
IV (Considera-se cota média do topo dos obstáculos = 10,0 m)	Zonas de parques e bosques, cidades pequenas e arredores, subúrbios densamente construídos e áreas industriais plenas
V (Considera-se cota média do topo dos obstáculos $\geq$ 25,0 m)	Florestas com árvores altas, centros de grandes cidades e complexos industriais bem desenvolvidos

Fonte: ABNT NBR 6123, p. 8.

Acerca da dimensão da edificação, retiraram-se as informações da norma e organizou-as de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 2 – Dimensão da edificação

Classe	<i>Descrição</i>
A	Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal não exceda 20 metros
B	Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 metros e 50 metros
C	Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros

Fonte: ABNT NBR 6123, p. 9.

Sobre os parâmetros meteóricos, retirou-se a tabela a seguir da norma:

Tabela 3 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	z_g (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		F_r	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: ABNT NBR 6123, p. 9.

2.6.3 Fator estatístico – S_3

De acordo com o item 5.4, página 10, da NBR 6123:2013, este fator é baseado em conceitos estatísticos e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. A velocidade básica é a velocidade do vento com uma recorrência média de 50 anos.

O nível de probabilidade e a vida útil adotados são considerados adequados para edificações normais destinadas a moradias, hotéis, escritórios, entre outros. Na falta de uma norma específica sobre a segurança nas edificações ou de indicações correspondentes na norma estrutural, os valores mínimos são os indicados na tabela a seguir, retirada da norma:

Tabela 4 – Valores mínimos do fator estatístico S_3

Grupo	Descrição do ambiente	S_3
1	Edificações onde a 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, entre outros)	1,10
2	Edificações para hotéis e residências, comércios e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, entre outros)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, entre outros)	0,88
5	Edificações temporárias e estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: ABNT NBR 6123, p. 10.

2.7 NÃO-LINEARIDADE FÍSICA

Lins (2013, p. 52) afirma que:

“A não-linearidade física pode ser interpretada como sendo um comportamento desproporcional entre tensão e deformação, decorrentes das propriedades intrínsecas do material. A desproporcionalidade entre tensão e deformação do concreto armado [sic] ocorre devido às características de seus materiais constituintes. Tanto o concreto quanto o aço da armadura apresentam comportamento não-linear. Além do concreto apresentar um comportamento tipicamente não-linear, ele ainda é agravado pelos efeitos da fissuração e fluência. O aço componente da armadura, embora apresente um comportamento mais regular em relação ao concreto, é afetado pelo efeito do escoamento.”

Este comportamento de não-linearidade tem uma grande influência na rigidez dos elementos e da estrutura em sua totalidade. Com sua rigidez diminuindo, os efeitos de primeira e segunda ordem acabam por serem majorados.

Existe um processo de se simplificar a determinação da não-linearidade física, considerando uma rigidez secante. Segundo Lins (2013, p. 57), a NBR 6118 estabelece que o valor de $(EI)_{sec}$ é o produto entre a elasticidade tangente inicial do concreto E_{ci} e o momento de inércia da seção bruta do concreto I_c .

Tabela 5 – Ponderadores da rigidez secante dos elementos estruturais segundo a ABNT NBR 6118 (2014)

Elemento estrutural	$(EI)_{sec}$
Lajes	$0,30 * E_{ci} * I_c$
Vigas com armaduras assimétricas	$0,40 * E_{ci} * I_c$
Vigas com armaduras simétricas	$0,50 * E_{ci} * I_c$
Pilares	$0,80 * E_{ci} * I_c$

Fonte: ABNT NBR 6118, apud Lins (2013, p. 57).

2.8 NÃO-LINEARIDADE GEOMÉTRICA

Nas palavras de Lins (2013, p. 59):

“A não-linearidade geométrica pode ser interpretada como sendo um comportamento desproporcional entre ações e deformações de um determinado elemento estrutural ou estrutura, decorrente da modificação da configuração geométrica inicial. Este efeito é mais significativo em estrutura ou elemento estrutural que apresentam grandes deslocamentos ou deformações.”

A não-linearidade geométrica é manifestada e ampliada por contribuições de efeitos de segunda ordem. Assim como a não-linearidade física, há um processo simplificado para determinação da não-linearidade geométrica, porém desta vez com o coeficiente γ_z , já elucidado neste documento.

Esta simplificação pelo uso do coeficiente γ_z , dá-se pela majoração dos esforços horizontais por $0,95 * \gamma_z$. Entretanto, essa majoração simplificada só é válida para $\gamma_z \leq 1,30$.

Caso o γ_z seja maior que 1,30, poderá ser utilizado um método que utilizará o $P\Delta$, já citado nesta revisão bibliográfica, que consiste em um método de fácil aplicação.

Conforme Wordell (2003, p. 27), existe um outro processo, que consiste em:

“[...] adotar-se valores iniciais para as rigidezes EI e EA das seções, supostas constantes em cada barra, com critérios que serão adiante discutidos; efetuar uma análise de primeira ordem da estrutura, para o carregamento P_d ; e, aplicam-se a cada andar ‘j’, forças horizontais fictícias do tipo:”

$$H_j = \Sigma N_j * \frac{a_j}{l_{0j}} - \Sigma N_{j-1} * \frac{a_{j-1}}{l_{0(j-1)}}$$

Onde:

N_j : a soma das forças normais de cálculo dos pilares do andar “j”;

a_j : o deslocamento relativo do andar “j”; e,

l_{0j} : a altura do andar “j”.

Ainda segundo Wordell (2003, p. 57), após este processo, efetua-se uma nova análise de primeira ordem, repetindo até que o deslocamento máximo da última interação coincida. Após, no lugar das excentricidades acidentais, deverão ser consideradas inclinações acidentais $\text{tg}\beta_a = 1/200$.

2.9 CONCRETO ARMADO

Especula-se que o estudo do uso do concreto armado iniciou-se no entre os séculos XIX e XX, havendo a sua primeira regulação brasileira pela NB-1/1940, porém a mesma já foi substituída outras vezes, pelas atualizações da NB-1, em 1950 e 1960 e também pela NBR 6118 de 1978, 1980, 2003, 2007 e 2014.

Conforme preconiza a NBR 6118, o concreto armado é uma junção que causa aderência entre o concreto e a armadura, não se aplicando alongamentos iniciais. Estes materiais se completam, o concreto resiste bem a compressão, entretanto a sua resistência à tração é de 10% do valor da resistência à compressão. A armadura tem a função de resistir à tração e unindo-a com o concreto obtém-se um material de resistência extraordinária, tanto à tração quanto à compressão.

De acordo com Pinto Júnior (2006, p. 7), durante o dimensionamento de uma seção de concreto armado é necessário fixar variáveis como a disposição parametrizada da armadura em relação à seção transversal, dimensões da seção e f_{ck} . O problema resolve-se por meio de métodos iterativos computacionais ou ábacos de dimensionamento.

2.10 EBERICK V10

O *software* Eberick é um programa utilizado para cálculos estruturais para estruturas dos mais variados tipos. Este pode ser configurado para dimensionar a estrutura por pavimentos isolados, para o caso de análises preliminares de elementos, ou também por

pórticos espaciais, que realizam o travamento da estrutura quanto aos esforços horizontais e verticais, sendo este o processo mais indicado pela AltoQi.

O lançamento das estruturas, segundo a AltoQi (2015), inicia-se no térreo, pela colocação dos pilares de acordo com as posições desejadas, estando de acordo com a arquitetura da estrutura. Em seguida deve-se considerar a espessura do reboco, normalmente 1,5 centímetros.

Após o lançamento de todos os pilares, sejam eles de canto ou de centro, deve-se realizar o lançamento das vigas e de acordo com a AltoQi (2015) deve-se lançar as vigas apoiando-as nos pilares, indicando a altura do pavimento, espessura da parede e peso específico do tijolo.

Deve-se, ainda segundo a AltoQi (2015), unificar as vigas, se necessário, e renumerar vigas e pilares.

No pavimento superior deve-se copiar o pavimento térreo, apagar os elementos desnecessários e realizar o lançamento das lajes. O lançamento das lajes, de acordo com o que indica a AltoQi (2015), deve definir o tipo de laje, a carga acidental atuante sobre a mesma, a carga de revestimento e a espessura inicial para a laje em questão. Após este deve-se lançar as cargas de parede sobre as lajes desejadas, se houverem paredes.

No pavimento cobertura deve-se copiar o pavimento superior, criar as vigas do reservatório (cujas alturas e cargas de parede serão diferentes das outras vigas lançadas anteriormente) e deve-se realizar a alteração das lajes do pavimento em função à força realizada pelo reservatório sobre as mesmas.

Finalmente, a AltoQi (2015) afirma que, deve-se realizar o lançamento das escadas, para interligar os pavimentos. Define-se inicialmente os parâmetros da escada, sendo eles: piso, espelho, espessura, primeira face, carga acidental e carga de revestimento. Deve-se então realizar a colocação da escada, com as linhas laterais e apoios.

Após o lançamento deve-se realizar o dimensionamento, análise estrutural e outros detalhamentos para gerar as pranchas.

2.11 DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

A durabilidade das estruturas possui dois, dentre vários, componentes muito importantes que realizam sua variação, são eles:

2.11.1 Vida útil

O item 6.2, página 15, da NBR 6118 afirma que a vida útil do projeto é nada mais que o período no qual as estruturas de concreto mantêm-se sem danos significativos, desde que sejam projetadas e construídas de acordo com as exigências normativas, tais quais as exigências do projetista e do construtor.

As estruturas em si possuem diversas partes, das quais não se pode estimar um mesmo valor de vida útil, por exemplo aparelhos de apoio e juntas de movimentação, que podem possuir valores de vida útil

2.11.2 Agressividade Ambiental

A agressividade ambiental, definida de acordo com a Classe de Agressividade Ambiental do concreto, é um dos critérios mais importantes a serem descritos e considerados.

A NBR 6118 desenvolveu uma tabela representativa de Classes de Agressividade Ambientais para classificação e avaliação da agressividade.

Tabela 6 – Classe de Agressividade Ambiental

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de Maré	

Fonte: ABNT NBR 6118.

Algumas observações correspondentes à tabela 6, de acordo com a NBR 6118:

“Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas

e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura), no caso das classes II, III e do ambiente Industrial da classe IV;

Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove, no caso dos ambientes Urbanos e classe III no ambiente Industrial;

Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, no caso do ambiente Industrial da classe IV.”

2.12 ELEMENTOS DE CONTRAVENTAMENTO

2.12.1 Pilar-Parede

Os pilares-parede são, segundo a NBR 6118, pilares onde a largura é, pelo menos, cinco vezes a dimensão da sua espessura.

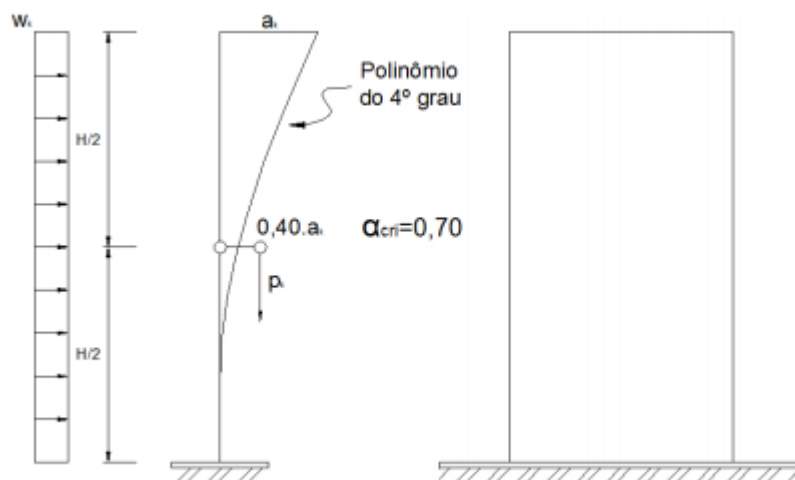
Conforme Freitas Filho (2002):

“Estes elementos estruturais são incluídos na concepção do sistema estrutural com a finalidade de aumentar a rigidez da estrutura, e diminuir os deslocamentos laterais, sendo, portanto, considerados como elementos de contraventamento por resistirem à maior parte dos esforços devido às ações horizontais.

Em um sistema estrutural assimétrico, com pilares paredes, surgem rotações do diafragma em torno da direção vertical e translações no plano horizontal, devido às cargas verticais e horizontais, ocasionando momentos torçores nestes pilares.”

O comportamento de uma estrutura contraventada por pilares-parede é descrito de acordo com a figura 4:

Figura 4 – Comportamento de uma estrutura contraventada por pilar-parede



Fonte: Franco (1985, apud Lins, 2013, p. 42).

2.12.2 Núcleo de Rigidez

Este sistema consiste em apresentar um núcleo estrutural rígido, podendo ser composto por uma associação de paredes interligadas entre si. Estes tornam-se elementos com alta rigidez ao empenamento, contribuindo sobre a estabilidade global da edificação.

Segundo Corelhano (2010, p.23):

“Silva (1989), utilizando a modelagem para núcleos proposta por Yagui (1971), desenvolve análise de estruturas tridimensionais formadas por pórticos e núcleos resistentes, levando em consideração a deformação por esforço cortante, trechos rígidos, e também uma análise não linear geométrica simplificada, através do método P- Δ .”

De acordo com Pereira (1997, apud Corelhano, 2010, p. 29), os núcleos de rigidez possuem uma atuação muito benéfica, podendo reduzir as translações horizontais dos pavimentos e também dos esforços internos nos demais componentes da estrutura.

2.12.3 Paredes Estruturais

As paredes estruturais são também chamadas de paredes de alvenaria estrutural e conforme o que afirma Bastos (1993, apud Lavandoscki, 2010, p. 7):

“As paredes exercem múltiplas funções, conferindo simultaneamente: rigidez estrutural, vedação externa e interna, proteção térmica, acústica e ao fogo e ainda podem conferir funções estéticas e arquitetônicas, podendo proporcionar edificações com excelentes qualidades como alta durabilidade, menor custo e estética, entre outras.”

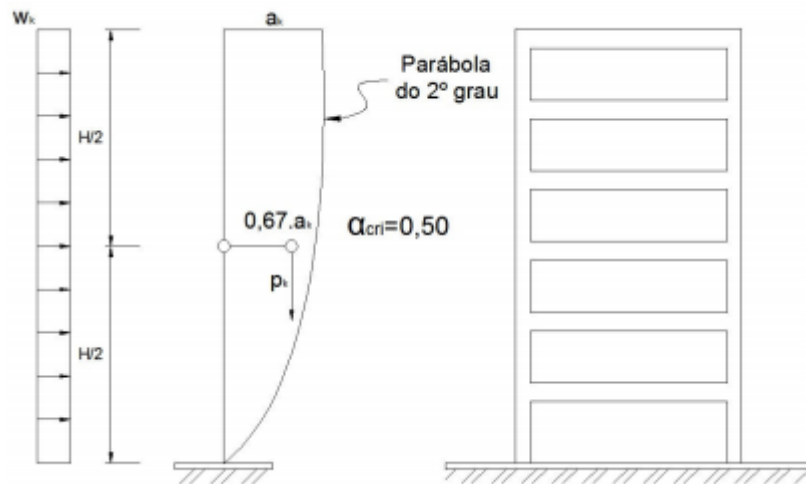
Segundo Lins (2013, p. 20), as paredes estruturais são sistemas cuja rigidez é fundamentada na flexão das paredes e na mobilização do cisalhamento entre as juntas das mesmas.

2.12.4 Pórticos

Ainda de acordo com o que afirma Lins (2013, p. 20), “a estabilidade dessa solução é regida pela capacidade de transferências de esforços de flexão e cisalhamento entre pilares e vigas”.

Estas estruturas são similares à ligação pilar-viga, entretanto, os seus nós são mais rígidos, podendo resistir melhor aos esforços horizontais e verticais. O comportamento de uma estrutura contraventada por pórticos é descrito de acordo com a figura 5:

Figura 5 – Comportamento de uma estrutura contraventada por pórtico



Fonte: Franco (1985, apud Lins, 2013, p. 42).

2.12.5 Vigas-Parede

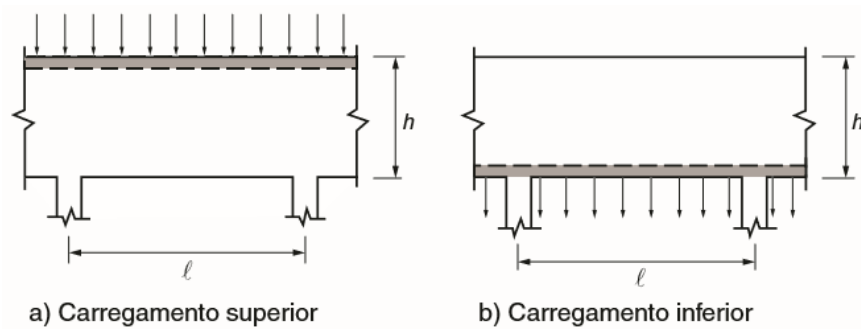
Leonhardt e Mönnig (1978, apud Almeida 1998, p. 5) atesta que as vigas-parede são estruturas que representam uma relação $\frac{L}{H} \leq 2$ (no caso de vigas com um só vão) ou $\frac{L}{H} \leq 3$ (no caso de vãos intermediários em vigas contínuas).

Diversos autores desenvolveram diferentes equações e expressões para os cálculos de diferentes fatores ligados às vigas-parede. A fonte mais utilizada para vigas-parede e também para grande parte das estruturas de concreto, é a NBR 6618:2014, que disserta sobre as vigas-parede em parte de seu texto.

Como corrobora a NBR 6118, para a consideração de uma viga-parede como componente de um sistema estrutural, permite-se representá-lo por elemento linear, considerando-se assim a deformação por cisalhamento e ajustando-se a sua rigidez à flexão para um comportamento real.

Os tipos mais comuns de vigas-parede em relação ao seu carregamento estão exemplificados de acordo com a figura 6:

Figura 6 – Dois tipos comuns de vigas-parede em relação ao carregamento



Fonte: ABNT NBR 6118, p. 181.

As vigas-parede são elementos que apresentam problemas de estabilidade, necessitando de enrijecedores de apoio ou travamentos na sua grande maioria.

Conforme explica a NBR 6118:

“Nas vigas-parede os tirantes de tração não podem ser concentrados em uma ou poucas camadas de armadura, mas cobrir toda a zona efetivamente tracionada, conforme o modelo de cálculo adotado. Nas vigas-parede biapoiadas, deve-se distribuir essa armadura em altura da ordem de $0,15 * H$. Nas vigas-parede contínuas, a altura de distribuição da armadura negativa ‘ A_s ’ deve ser feita considerando três faixas na altura ‘ H ’, não se considerando para ‘ H ’ os valores superiores ao vão teórico L ($1 \leq \frac{L}{H} \leq 3$).

- 20% superiores de H : $A_{s1} = \left(\frac{L}{H} - 0,50\right) * A_s$;

- 60% centrais de H : $A_{s2} = \left(1,50 - \frac{L}{2H}\right) * A_s$; ou,

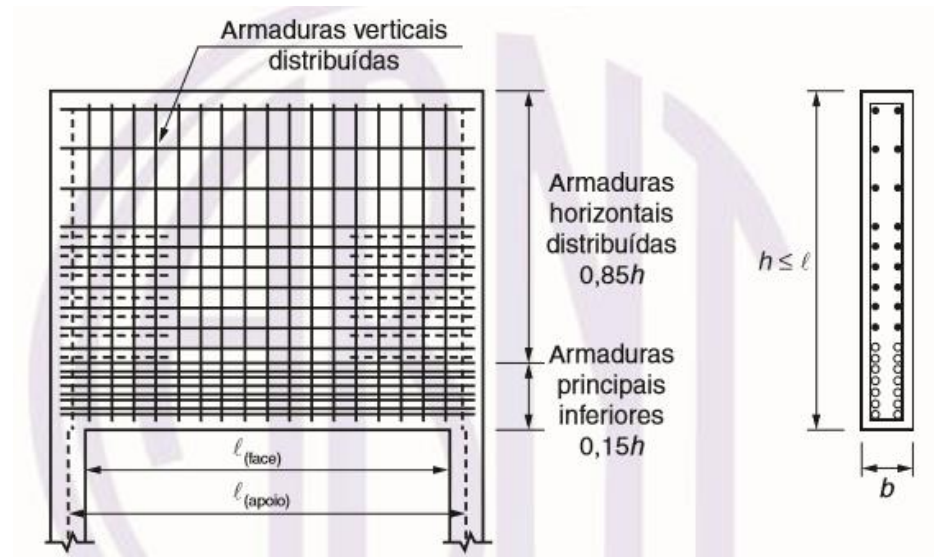
- 20% inferiores de H : $A_{s3} = 0$.

A armadura horizontal mínima é de $0,075\% * b$ por face, por metro.”

A armadura de flexão deve ser prolongada até o apoio e bem ancorada. Não se deve usar ganchos no plano vertical, dando-se preferência a laços ou grampos no plano horizontal, ou dispositivos especiais.

A armadura vertical também deve ser utilizada para $0,075\% * b$ por face, por metro. A armação típica de vigas-parede com $H \leq L$ é feita conforme figura 7 a seguir:

Figura 7 – Armação típica de viga-parede com $H \leq L$



Fonte: ABNT NBR 6118, p. 183.

Na parte de dimensões-limites, define-se que a seção transversal das vigas-parede não deve ser inferior a 15 centímetros, podendo ser reduzidos em casos excepcionais, porém não inferiores a um mínimo absoluto de 10 centímetros.

2.13 DESLOCAMENTOS-LIMITE

O item 13.3 da NBR 6118 explica que os deslocamentos-limite são valores práticos, utilizados para verificar em serviço o estado-limite de deformações em excesso na estrutura.

Ainda no mesmo item, é citado pela norma os quatro grupos básicos:

- Aceitabilidade sensorial: o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;
- Efeitos específicos: os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- Efeitos em elementos não estruturais: deslocamentos estruturais podem causar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão ligados à ela; e,
- Efeitos em elementos estruturais: os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando o afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento em questão, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-as ao modelo estrutural adotado.

Tabela 7 – Limites para deslocamento

Tipo de efeito	Razão da Limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$L/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$L/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$L/250$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$L/350 + \text{contraflecha}$
			Ocorrido após a construção do piso	$L/600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com a recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$L/500$ e 10 mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$L/250$ e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente	$H/1700$ e $H_i/850$ entre pavimentos
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$L/400$ e 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$L/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Ocorrido após a construção do forro	$L/175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$

Fonte: ABNT NBR 6118.

Ainda seguindo as informações da tabela retirada da NBR 6118:

“Os efeitos em elementos estruturais, na razão de limitação de afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas, são explicados tal que: 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.

Todos os valores-limites de deslocamento supõem elementos de vão ‘L’ 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. Todos os valores-limites de deslocamento supõem elementos de vão ‘L’ 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.

Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor ‘L’ 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.

Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contra-flechas.”

Da tabela, ainda tem-se que:

$\psi_1 = 0,30$ para combinação frequente da ação do vento;

H = altura total do edifício; e,

H_i = diferença de altura entre dois pavimentos.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUÇÃO

Antes do desenvolvimento do trabalho em sua parte experimental, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para melhor entendimento dos cálculos a serem realizados e também dos resultados a serem obtidos.

Será feita neste documento uma análise da estabilidade de uma estrutura de concreto armado, com o sistema de usos de vigas-parede, por meio de cálculos realizados no software *AltoQi/Eberick V10*, comparando-o com os cálculos feitos para encontrar a estabilidade da mesma estrutura de concreto armado, porém sem a utilização das vigas-parede na sua constituição.

Posteriormente utilizando-se para a análise os pórticos das estruturas em 3D, podendo assim verificar a estabilidade e analisando-se os resultados para obtenção da conclusão final deste trabalho.

Serão também demonstrados os resultados por meio de tabelas e imagens que posteriormente serão informados neste documento.

3.2 ESTRUTURA CONVENCIONAL

Para a elaboração do projeto convencional, a ser utilizado como base de análise comparativa inicial, calculou-se um edifício composto por térreo, 10 pavimentos tipo, ático, cobertura do ático, casa de máquinas, fundo do reservatório e tampa do reservatório.

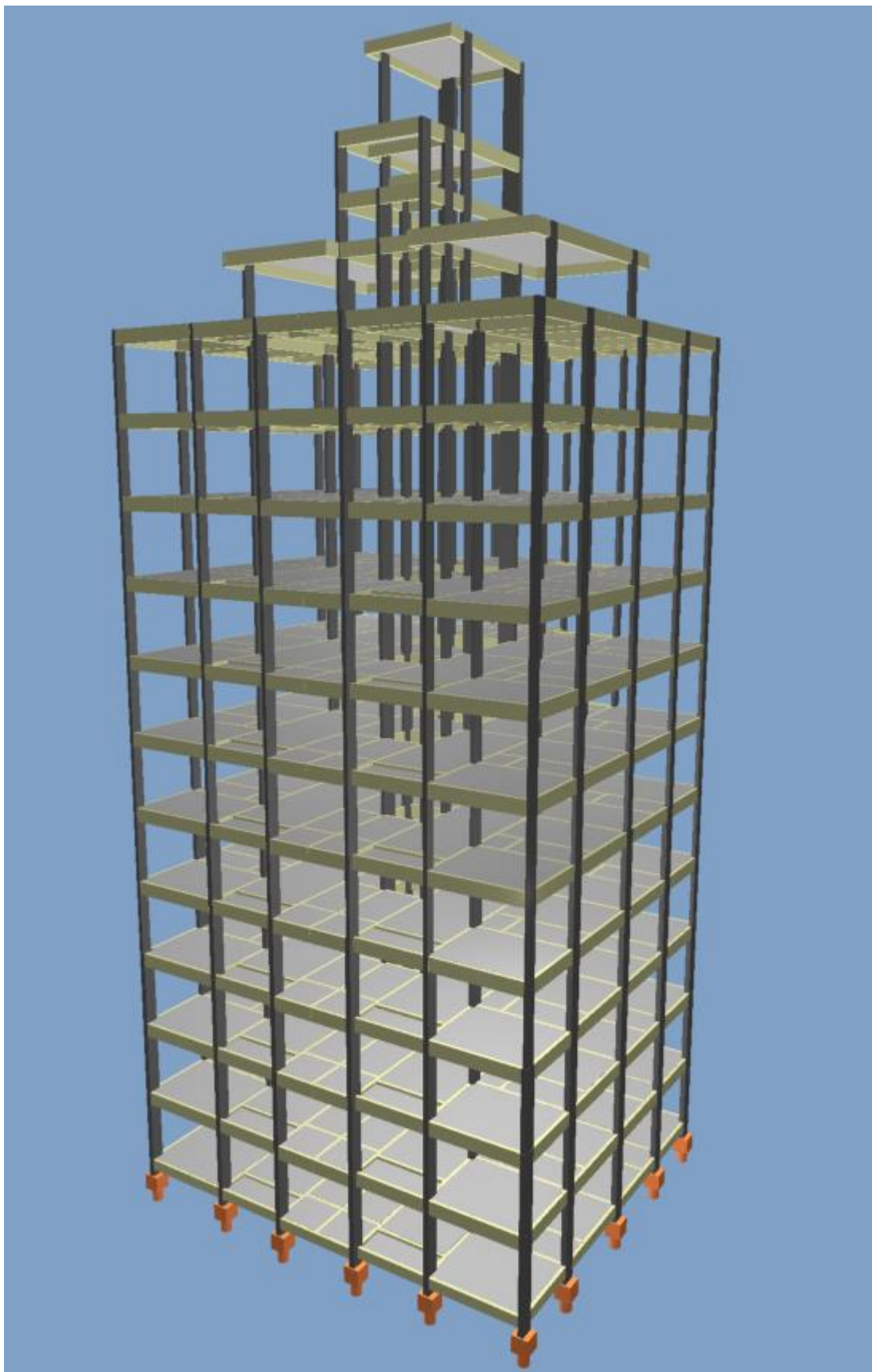
As alturas de cada pavimento, também conhecidos como pé-direitos, estão descritos na tabela 8, conferindo uma altura total de 41,30 metros, conforme figura 8.

Tabela 8 – Pavimentos e suas respectivas alturas

Pavimento	Altura (cm)
Tampa do Reservatório	320
Fundo do Reservatório	195
Casa de Máquinas	155
Cobertura do Ático	280
Ático	280
Tipos	280
Baldrame	100

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

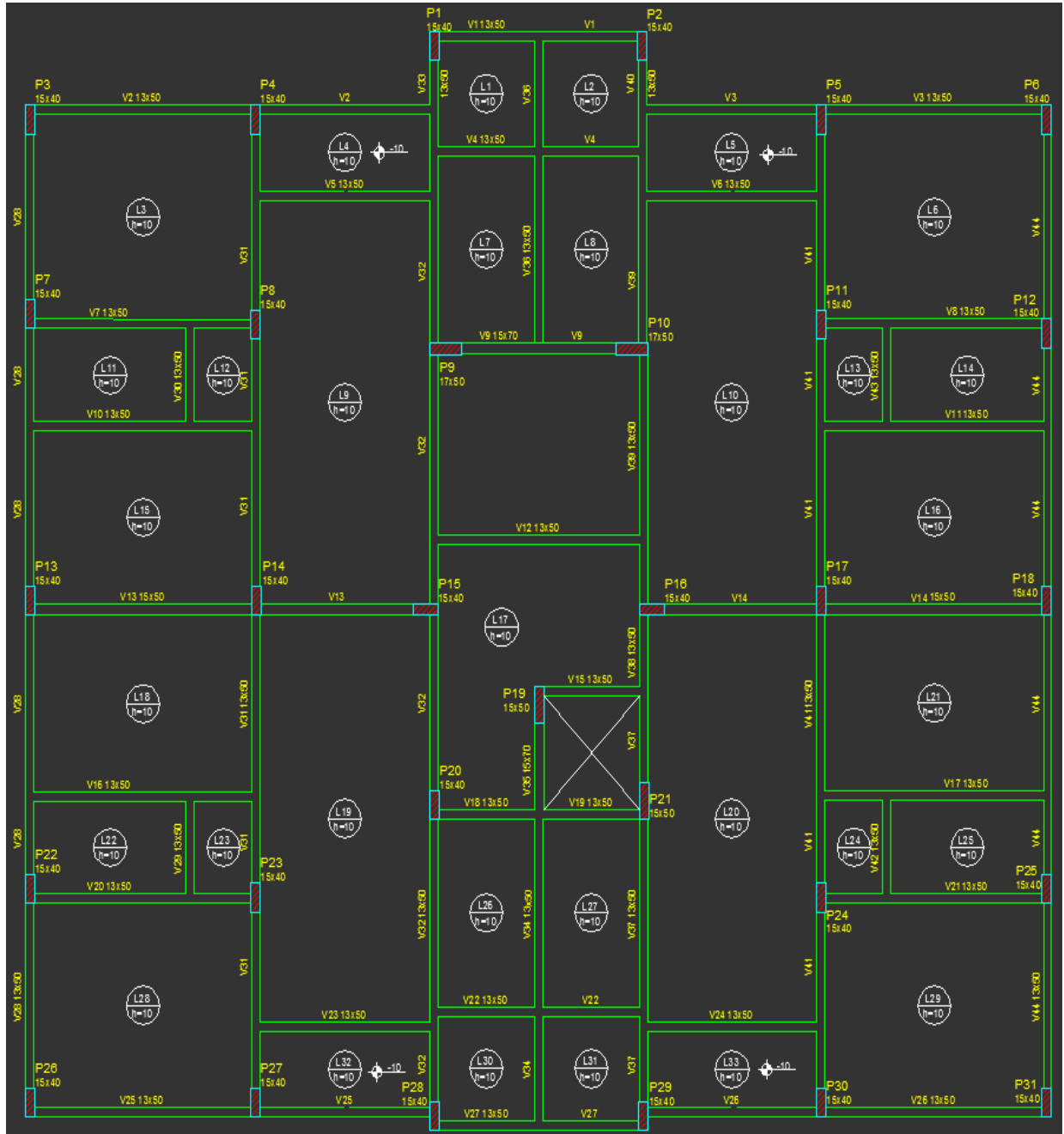
Figura 8 – Projeto convencional em 3D



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

A planta da forma do primeiro tipo deste projeto convencional foi calculada de acordo com a figura 9 a seguir, sem a adição de vigas-parede e pilares-parede:

Figura 9 – Planta de forma da estrutura convencional



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

A configuração quanto aos materiais e durabilidade utilizados no projeto, seguindo as normas da NBR 6118 e levando em consideração a localização do projeto, que seria a região da Grande Florianópolis, está de acordo com a figura 10 a seguir.

Figura 10 – Materiais e Durabilidade

Materiais e durabilidade

Aplicação
☒ Projeto inteiro
☐ Por pavimento

Pavimento
 Atico
 Décimo Tipo
 Nono Tipo
 Oitavo Tipo
 Sétimo Tipo
 Sexto Tipo
 Quarto Tipo
 Terceiro Tipo
 Segundo Tipo
 Primeiro Tipo
 BALDRAME

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Geral
 Classe de agressividade: III (forte)
 Dimensão do agregado: 15 mm
☒ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
☒ Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

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

Elementos	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	Bitolas...
Vigas	C-30	3.5 cm	3.5 cm	3.5 cm	Bitolas...
Pilares	C-30	3.5 cm	3.5 cm	4 cm	Bitolas...
Lajes	C-30	3 cm		3.5 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-35	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-30			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-30			4 cm	Bitolas...
Radier	C-30			4 cm	Bitolas...

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

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Foi utilizada a classe de agressividade ambiental forte, levando em conta a região da obra, com agregados de granulometria 15 mm.

No que se refere ao concreto, adotou-se um Fck de 30 MPa e adotado cobrimento de acordo com a figura e seguindo as normativas.

Seguindo as normativas da NBR 6123, foi utilizado uma velocidade do vento de 42 m/s para um terreno plano com alto fator de ocupação e maior dimensão horizontal ou vertical menor que 20 metros, de acordo com a figura 11 a seguir.

Figura 11 – Velocidade do vento

Vento

Velocidade 42 m/s Mapa...

Aplicação do Vento

Ângulo 0° Forças médias...

Topografia

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

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

☒ Demais casos ($S1 = 1.0$)

Tipo de análise

☒ Vento estático

☐ Vento dinâmico

Edificação

Maior dimensão horizontal ou vertical Entre 20 e 50 m

Rugosidade do terreno Categoria III

Razão de amortecimento crítico 0.02

Fator Estatístico S3

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

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

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

Verificação de conforto

Probabilidade de ocorrência 0.75

Período de recorrência 10 anos

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

O deslocamento frequente no topo da edificação analisada foi de 2,22 centímetros na direção “X” e 0,89 centímetros na direção “Y”, sendo estes abaixo do deslocamento limite que é de 2,43 centímetros, conforme a tabela 9 a seguir:

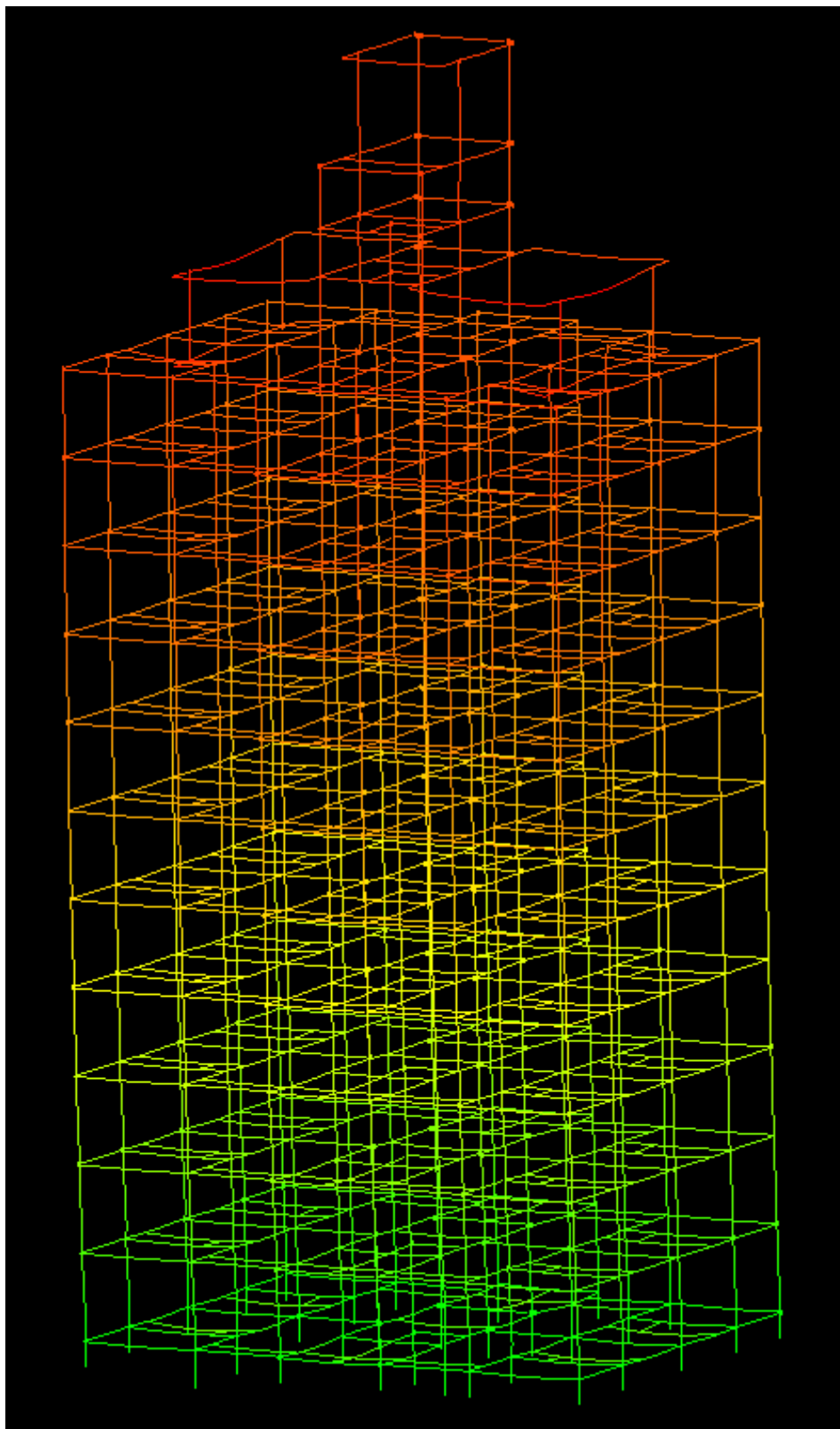
Tabela 9 – Deslocamentos estrutura convencional

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Altura total da edificação (cm)	4130,00	
Deslocamento limite (cm)	2,43	
Deslocamento horizontal (cm)	2,22	0,89

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com a figura 12, percebe-se a deformação da edificação convencional, seguindo os valores indicados na figura 13.

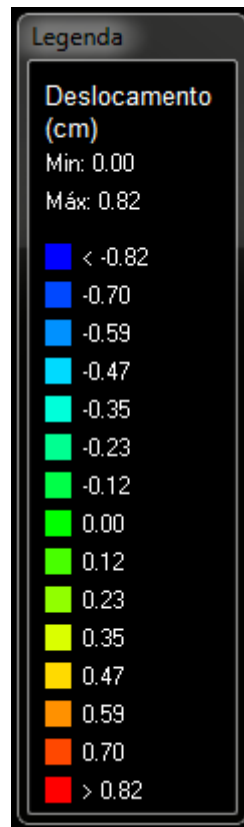
Figura 12 – Deformação da estrutura convencional em 3D



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

A figura 13 demonstra os valores quanto à deformação da edificação, juntamente com a figura anterior.

Figura 13 – Valores de deslocamento estrutura convencional



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com o processo P-Delta, que faz os cálculos de cada combinação e cada carregamento separadamente, têm-se os resultados resumidos na tabela 10 a seguir.

Tabela 10 – Resultados do processo P-Delta para a estrutura convencional

Deslocamento no topo da edificação (cm)		
Caso	1ª Ordem	1ª + 2ª Ordem
Acidental	0,01	0,01
Vento X+	7,40	8,38
Vento X-	7,40	8,38
Vento Y+	2,96	3,12
Vento Y-	2,96	3,12
Desaprumo X+	0,63	0,72
Desaprumo X-	0,63	0,72
Desaprumo Y+	0,26	0,27
Desaprumo Y-	0,26	0,27

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Tabela 11 – Verificação do fator Gama-Z da estrutura convencional

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	1059,05	1071,11
Momento de 2ª ordem de cálculo (tf.m)	119,71	54,57
Gama-Z	1,13	1,05

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com a tabela 12 tem-se a quantidade de concreto em metros cúbicos a ser utilizada na construção do projeto padrão, que é de 459,8 m³ de concreto, com a informação de que o metro cúbico de concreto médio, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis é de R\$ 280,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Tabela 12 – Volume de concreto por pavimento da estrutura convencional

Pavimento	Volume de Concreto (m ³)
Tampa do Reservatório	3,3
Fundo do Reservatório	5,0
Casa de Máquinas	3,0
Cobertura do Ático	14,5
Ático	40,2
Pavimentos Tipo	360,4
Baldrame	33,4
Total	459,8

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Como pode ser visto na tabela 13 tem-se o peso do aço em quilogramas a ser utilizado na construção do projeto padrão, que é de 27.078,3 kg de aço, com a informação de que o quilograma de aço cortado e dobrado, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis é de R\$ 4,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Tabela 13 – Peso do aço (+10%) por pavimento na estrutura convencional

Pavimento	Peso do aço +10% (kg)
Tampa do Reservatório	155,7
Fundo do Reservatório	411,2
Casa de Máquinas	235,5
Cobertura do Ático	986,0
Ático	2.055,4
Pavimentos Tipo	21.282,0
Baldrame	1.952,5
Total	27.078,3

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

No projeto também foi calculada a quantidade de madeira a ser utilizada na forma de caixaria, sendo estes 153,5 metros cúbicos de madeira, com a informação de que o metro cúbico de madeira, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis, é de R\$ 430,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Logo, obteve-se o custo deste projeto com a seguinte equação:

$$\text{Custo Total de Materiais do Projeto} = (459,8 * 280) + (27078,3 * 4) + (153,5 * 430)$$

$$\text{Custo Total de Materiais do Projeto} = \text{R\$ } 303.062,20$$

3.3 ESTRUTURA DE VIGAS-PAREDE

Para a elaboração do projeto com a adição das vigas-parede como elementos para aumentar a rigidez da estrutura, foi considerado o mesmo projeto utilizado para a estrutura convencional, sendo somente substituídas algumas vigas convencionais por vigas-parede, adotando-se vigas-parede de altura total do pé-direito para paredes sem aberturas.

No caso das paredes com aberturas sendo estas aberturas janelas, foram utilizadas vigas-parede com comprimento de 50 centímetros abaixo do pavimento e o restante sendo até o peitoril da janela.

Quando foram utilizadas das paredes com aberturas totais ou portas, não foram utilizadas vigas-parede e foram consideradas vigas de 50 centímetros de altura, assim como no projeto convencional.

Os dados referentes às alturas de cada pavimento, vento e materiais e durabilidade foram os mesmos adotados no projeto convencional.

O edifício com a adição das vigas-parede foi projeto conforme figura 14, a seguir.

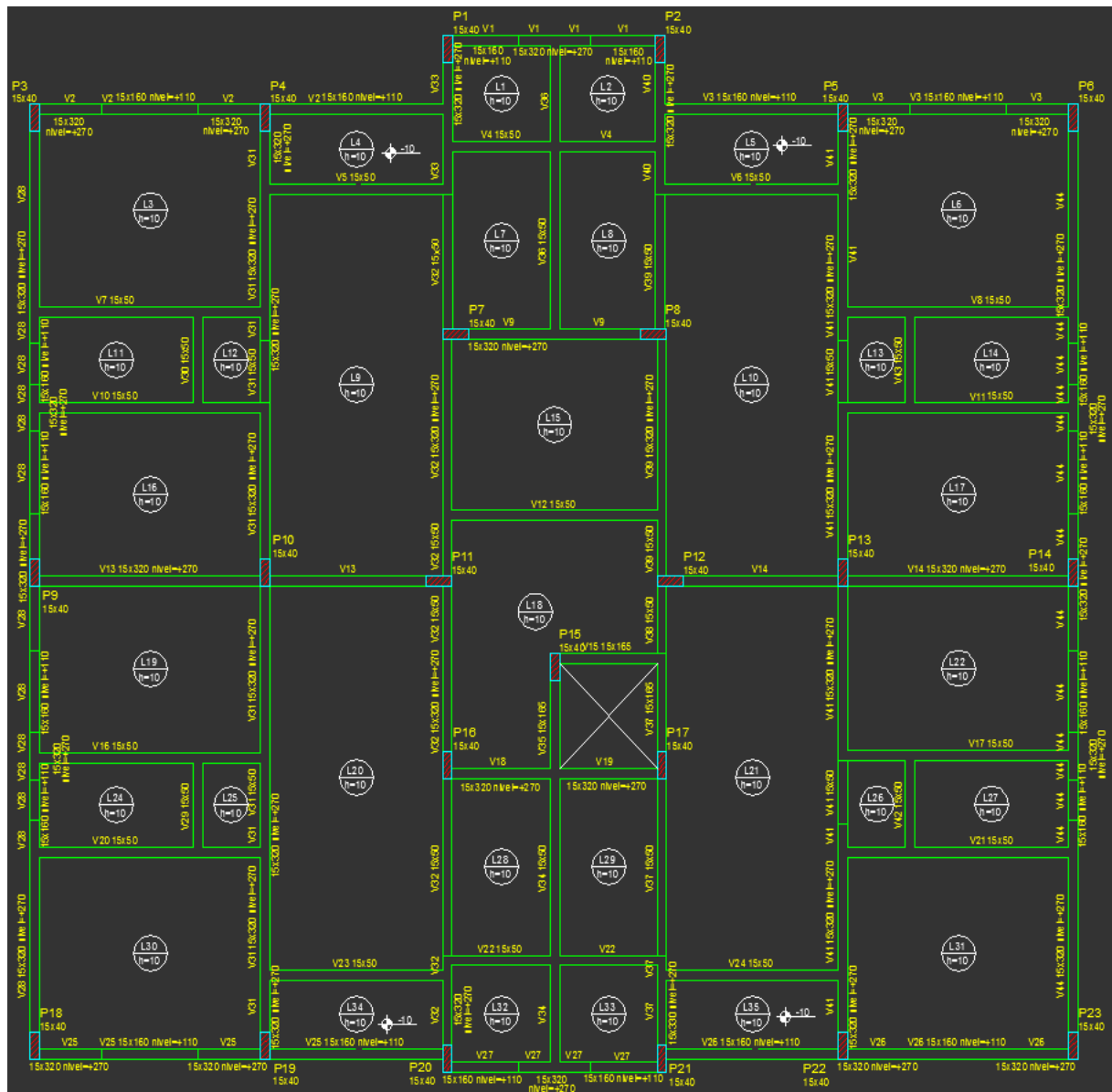
Figura 14 – Projeto com a adição das vigas-parede em 3D



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

A planta da forma do primeiro tipo deste projeto, com a adição das vigas-parede, foi calculada de acordo com a figura 15 a seguir.

Figura 15 – Planta de forma da estrutura com a adição das vigas-parede



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Seguindo a figura 15, as vigas que são consideradas neste projeto como vigas-parede são as vigas: V1, V2, V3, V9, V13, V14, V18, V19, V25, V26, V27, V28, V31, V32, V33, V37, V38, V39, V40, V41 e V44.

O deslocamento frequente no topo da edificação analisada foi de 2,06 centímetros na direção “X” e 0,72 centímetros na direção “Y”, sendo estes abaixo do deslocamento limite que é de 2,43 centímetros, conforme a tabela 14 a seguir:

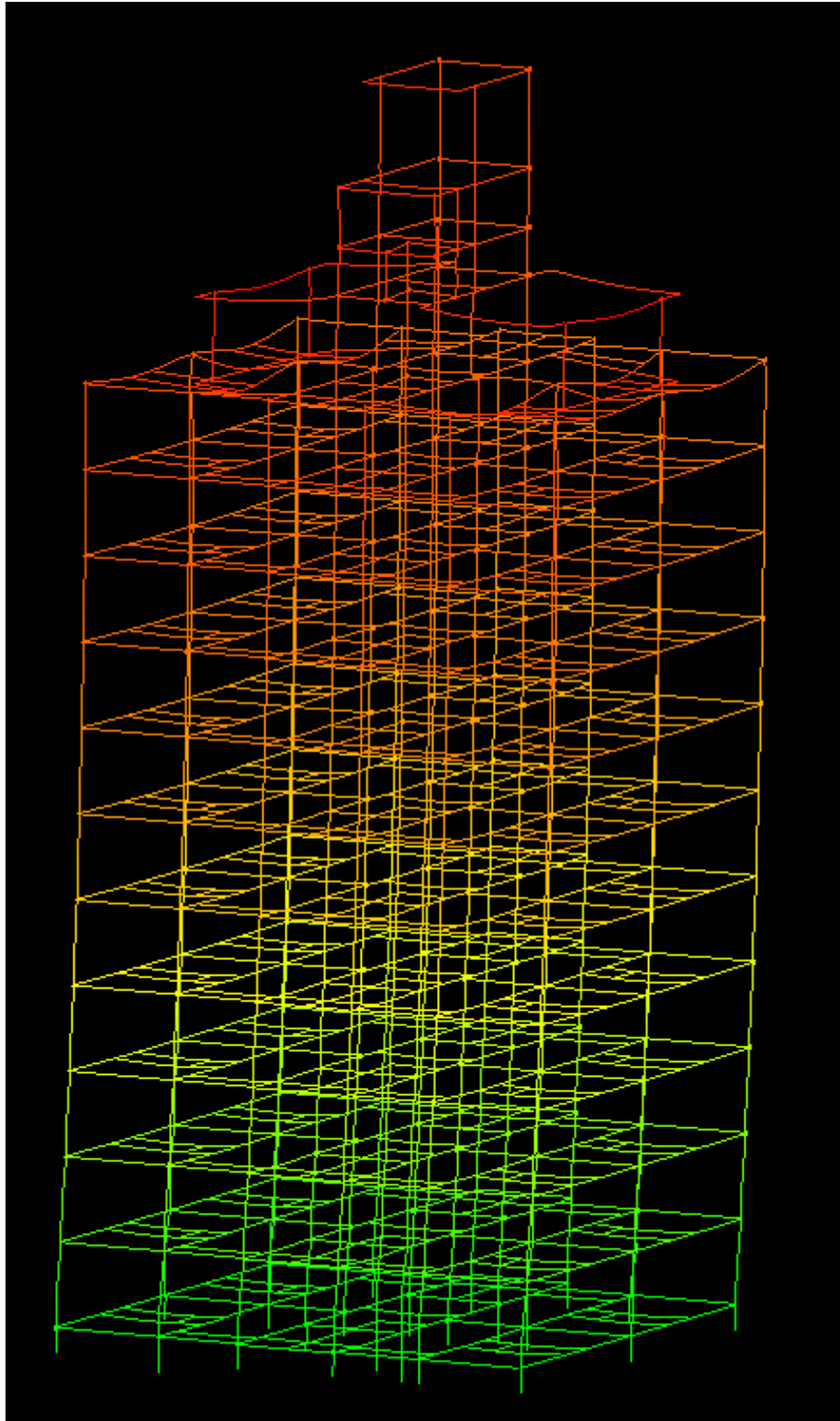
Tabela 14 – Deslocamentos da estrutura com a adição de vigas-parede

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Altura total da edificação (cm)	4130,00	
Deslocamento limite (cm)	2,43	
Deslocamento horizontal (cm)	2,06	0,72

Fonte: *Software AltoQi/Eberick V10*.

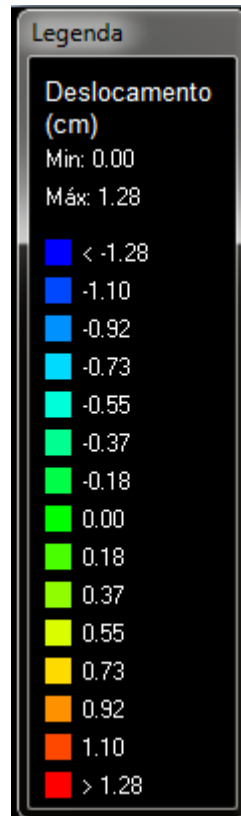
De acordo com a figura 16, percebe-se a deformação da edificação com a adição das vigas-parede. A figura 16 segue os valores indicados na figura 17 quanto à deformação da edificação.

Figura 16 – Deformação da estrutura em 3D da estrutura com a adição de vigas-parede



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Figura 17 – Valores de deslocamento para a estrutura com a adição de vigas-parede



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Conforme com o processo P-Delta, que faz os cálculos de cada combinação e cada carregamento separadamente, têm-se os resultados resumidos na tabela 15 a seguir.

Tabela 15 – Resultados do processo P-Delta para a estrutura com a adição das vigas-parede

Deslocamento no topo da edificação (cm)		
Caso	1ª Ordem	1ª + 2ª Ordem
Acidental	0,01	0,01
Vento X+	6,88	8,24
Vento X-	6,88	8,24
Vento Y+	2,41	2,57
Vento Y-	2,41	2,57
Desaprumo X+	0,87	1,07
Desaprumo X-	0,87	1,07
Desaprumo Y+	0,31	0,33
Desaprumo Y-	0,31	0,33

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Tabela 16 – Verificação do fator Gama-Z da estrutura com adição de vigas-parede

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	1059,05	1071,11
Momento de 2ª ordem de cálculo (tf.m)	169,52	61,42
Gama-Z	1,19	1,06

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com a tabela 17 tem-se a quantidade de concreto em metros cúbicos a ser utilizada na construção do projeto padrão, que é de 974,6 m³ de concreto, com a informação de que o metro cúbico de concreto médio, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis é de R\$ 280,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Tabela 17 – Volume de concreto por pavimento da estrutura com a adição de vigas-parede

Pavimento	Volume de Concreto (m ³)
Tampa do Reservatório	3,3
Fundo do Reservatório	9,7
Casa de Máquinas	6,8
Cobertura do Ático	17,4
Ático	49,1
Pavimentos Tipo	806,3
Baldrame	82,0
Total	974,6

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com a tabela 18 tem-se o peso do aço em quilogramas a ser utilizado na construção do projeto padrão, que é de 53.441,4 kg de aço, com a informação de que o quilograma de aço cortado e dobrado, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis é de R\$ 4,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Tabela 18 – Peso do aço (+10%) por pavimento na estrutura com adição de vigas-parede

Pavimento	Peso do aço +10% (kg)
Tampa do Reservatório	183,4
Fundo do Reservatório	701,8
Casa de Máquinas	496,4
Cobertura do Ático	1.259,0
Ático	3.061,9
Pavimentos Tipo	43.379,1
Baldrame	4.359,8
Total	53.441,4

Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

No projeto também foi calculada a quantidade de madeira a ser utilizada na forma de caixaria, sendo estes 316,94 metros cúbicos de madeira, com a informação de que o metro cúbico de madeira, obtido pela empresa Reatec Engenharia na região da Grande Florianópolis, é de R\$ 430,00, pesquisado no dia 30/09/2019.

Logo, obteve-se o custo deste projeto com a seguinte equação:

Custo Total de Materiais do Projeto

$$= (974,6 * 280) + (53441,4 * 4) + (316,94 * 430)$$

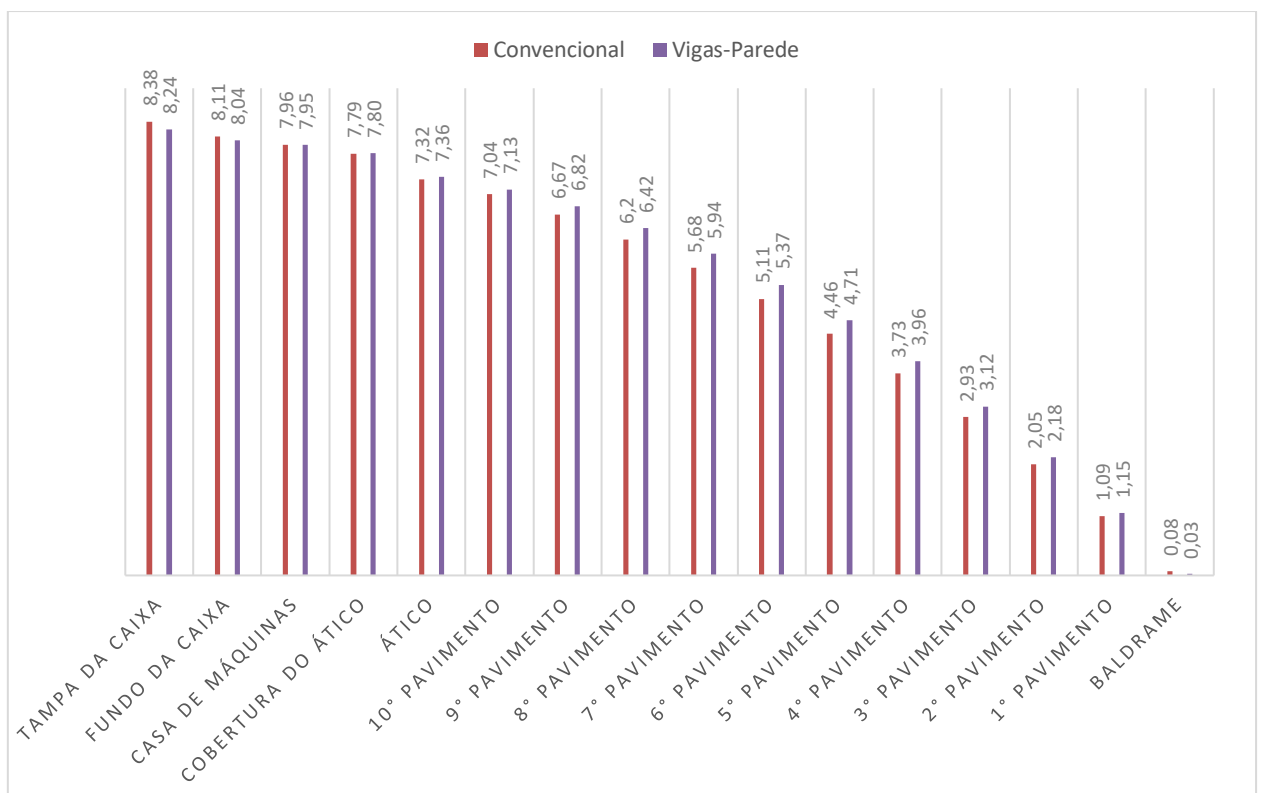
$$\textit{Custo Total de Materiais do Projeto} = \text{R\$ } 622.937,80$$

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foram apresentados os resultados obtidos através dos cálculos no software AltoQi/Eberick V10 e montados gráficos para melhor análise e representação destes resultados.

O primeiro gráfico a ser apresentado e analisado será o gráfico 1, que representa o deslocamento do vento na direção “X”, a seguir.

Gráfico 01 – Deslocamento do vento na direção X em centímetros



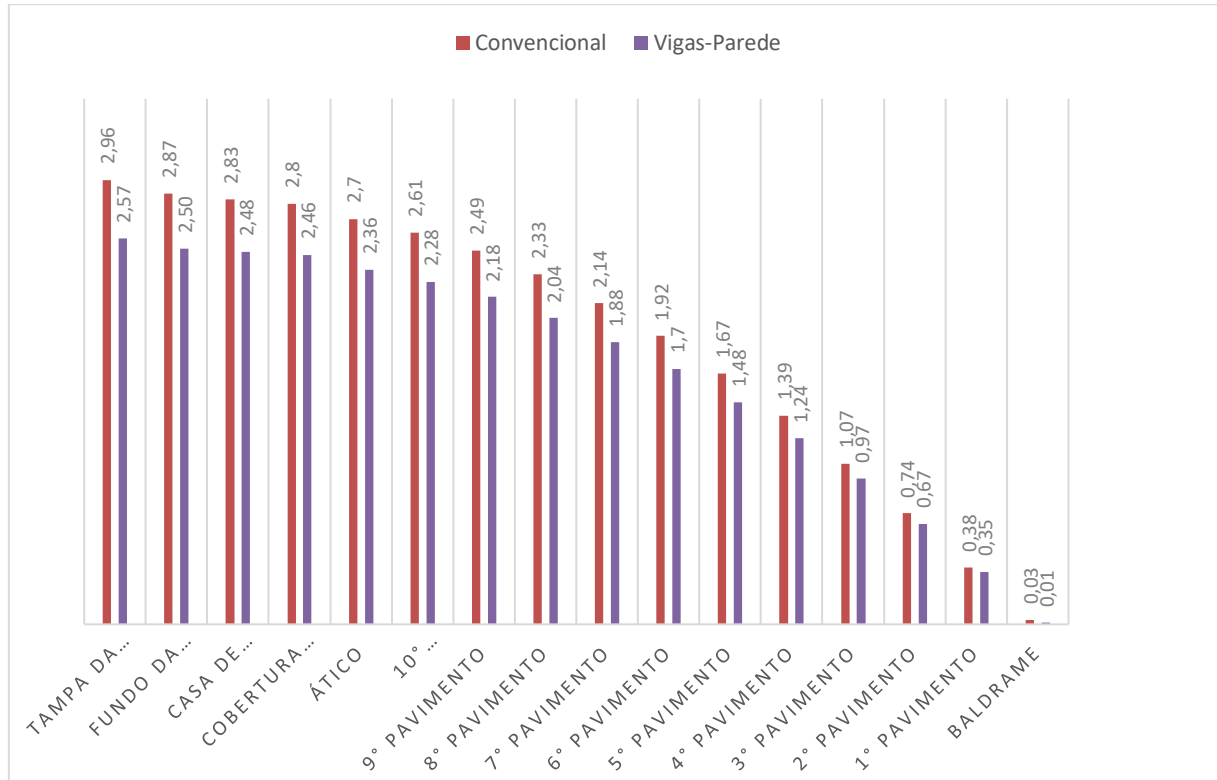
Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Segundo o gráfico, observa-se que o deslocamento cresce de acordo com o pavimento, quanto mais próximo ao último pavimento superior mais alto é o deslocamento. Observa-se também uma grande redução destes deslocamentos no projeto onde foram inseridas as vigas-parede.

De acordo com os dados obtidos e analisando-se o gráfico, houve uma leve redução do deslocamento no pavimento Tampa da Caixa de 8,38 centímetros para 8,24 centímetros, sendo esta uma redução de aproximadamente 1,7 %.

O segundo gráfico a ser apresentado e analisado será o gráfico 2, que representa o deslocamento do vento na direção “Y”, a seguir.

Gráfico 02 – Deslocamento do vento na direção Y em centímetros



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

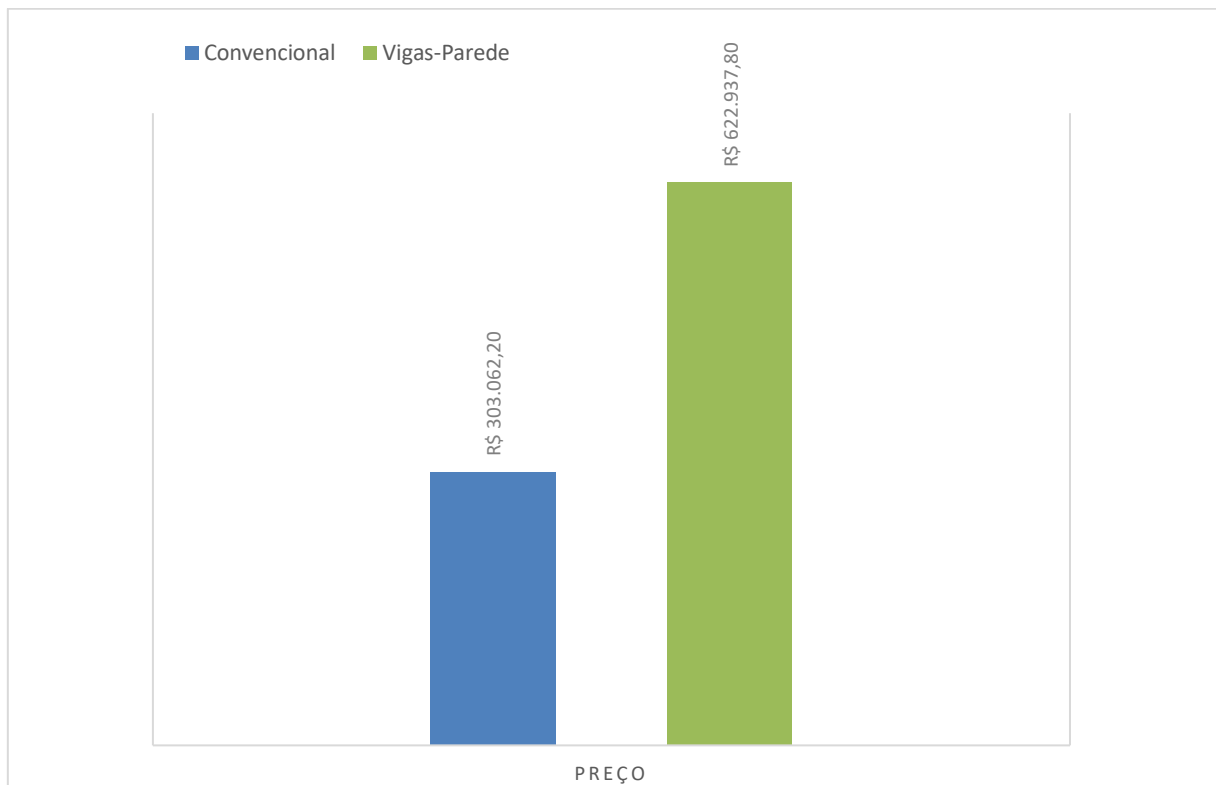
Conforme o gráfico, observa-se novamente que o deslocamento cresce de acordo com o pavimento, quanto mais próximo ao último pavimento superior mais alto é o deslocamento. Observa-se também uma grande redução destes deslocamentos no projeto onde foram inseridas as vigas-parede, igualmente ao visto para a direção “X”.

Segundo os dados obtidos e analisando-se o gráfico, houve uma leve redução do deslocamento no pavimento Tampa da Caixa de 2,96 centímetros para 2,57 centímetros, sendo esta uma redução de 15,18 %.

Ambos os projetos analisados estão dentro dos limites aceitáveis pela norma NBR 6118:2014, tanto no Vento X+ quanto no Vento Y+

O terceiro gráfico a ser apresentado e analisado será o gráfico 3, que representa o custo total de materiais do projeto, sendo este composto pelo custo de concreto, custo de madeira e custo de aço.

Gráfico 03 – Custo total de materiais dos projetos



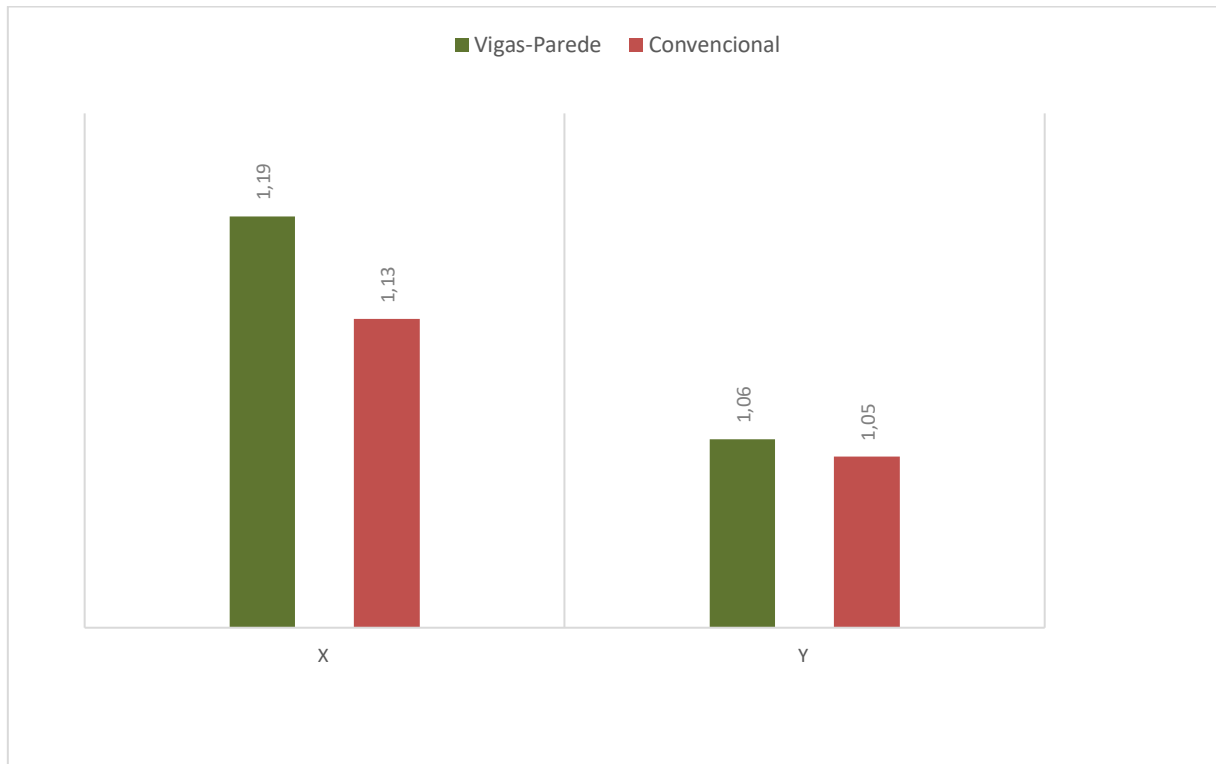
Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

De acordo com o gráfico, observa-se que o custo total de materiais do projeto apresenta um grande aumento com a utilização de vigas-parede.

Ainda conforme os dados obtidos e analisando-se o gráfico, o custo total de materiais do projeto sofreu um acréscimo, indo de R\$ 303.062,20 para R\$ 622.937,80, representando um acréscimo percentual de 105 % sobre o preço inicial, ou seja, o projeto com uso de vigas-parede representa 205 % do projeto convencional.

O quarto e último gráfico a ser analisado é o gráfico que relaciona o Gama-Z da estrutura convencional ao Gama-Z da estrutura com a adição das vigas-parede.

Gráfico 04 – Análise do Gama-Z das estruturas



Fonte: Software AltoQi/Eberick V10.

Segundo o gráfico, observa-se um aumento no Gama-Z tanto em X quanto em Y da estrutura convencional para a estrutura com a adição das vigas-parede.

O Gama-Z, segundo os dados obtidos e analisando-se o gráfico, sobe de 1,13 para 1,19 na direção X e sobe de 1,05 para 1,06 na direção Y.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos e analisados, percebe-se que a adição de vigas-parede nas estruturas reduz muito pouco os deslocamentos, sendo esta uma solução que, neste projeto, não foi útil.

Houve também um aumento no coeficiente Gama-Z, muito provavelmente pelo fato do software não ser otimizado para o cálculo com vigas-parede, demonstrando assim resultados que poderiam ter sido diferentes caso empregado o uso de outro software.

Analisando-se o custo total de materiais de ambos os projetos, verifica-se que a estrutura com a adição de vigas-parede acaba por ter um gasto maior de aço e concreto, isto sem contar com os custos que seriam acrescidos à fundação pelo fato das vigas-parede pesarem no mínimo 1000 kg/m^3 a mais do que o peso das paredes convencionais.

Esta solução acaba por trazer uma opção diferente às mais utilizadas nos dias atuais, porém com o aumento de 205% do preço básico do projeto convencional acaba-se por não justificar o seu emprego neste projeto.

Constata-se, finalmente, que o engenheiro calculista estrutural possui uma tarefa árdua e de grande importância na concepção e elaboração de um projeto estrutural, visto que há a necessidade de ser feito um estudo para sobrepor-se às dificuldades impostas pela edificação a ser projetada, devendo buscar sempre uma solução eficaz e que case com o solicitado pelo cliente.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros têm-se alterações a serem estudadas quanto ao modelo proposto neste documento, sendo elas:

- Utilizar-se de edificações com alturas maiores;
- Utilizar-se de edificações com dimensões maiores e/ou mais excêntricas;
- Verificar a estabilidade global da estrutura utilizando-se de um número mais elevado de vigas-parede; e,
- Verificar a estabilidade global da estrutura utilizando-se de locais alternativos para posicionar as vigas-parede.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Ana Paula. **Vigas-parede com aberturas em concreto de alta resistencia**. 1998. 174f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258005>>. Acesso em: 19 abr. 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2013. 66 p.

BANKI, Eng.º. André Luiz; GIOMBELLI, Eng.º. Grazielle. **Documentação técnica Eberick V10: Guia Rápido**. Florianópolis, AltoQi, 2015. 49 p.

CORELHANO, Angelo Giovanni Bonfim. **Análise não linear geométrica e física de núcleos rígidos de edifícios altos em concreto armado**. 2010. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-19052010-093917/pt-br.php>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

FREITAS FILHO, Nilson Pereira de. **Modelagem de pilares paredes em edifícios**. 2002. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil/estrutura, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5890>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

IGLESIA, Socrate Muñoz. **Estruturas de nós fixos e nós móveis: aplicação do P-Delta**. Disponível em: <<https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/estruturas-de-nos-fixos-e-nos-moveis-aplicacao-do-p-delta/>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

LAVANDOSCKI, Fabio Ioveni. **Estudo comparativo entre soluções para edifícios de alvenaria estrutural em função do número de paredes estruturais e o tipo de laje**. 2010. 138 f. Tese (Doutorado) - Curso de Construção Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4662>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

LINS, Fernando de Faria Vecchio. **CONTRIBUIÇÃO À AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL E PRÉDIMENSIONAMENTO DE PÓRTICOS PLANOS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO**. 2013. 203 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-29082013-085703/pt-br.php>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

MARIN, Marcelo Cuadrado. **CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DA ESTABILIDADE GLOBAL DE ESTRUTURAS EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**. 2009. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-03032010-082525/pt-br.php>>. Acesso em: 07 abr. 2019.

MELGES, Prof. Dr. José Luiz Pinheiro. **Estabilidade Global**. São Paulo: Feis - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2005. 16 p.

PINTO JÚNIOR, Everaldo Cavalheiro. **Otimização de seções de concreto armado**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88911/233094.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 maio 2019.

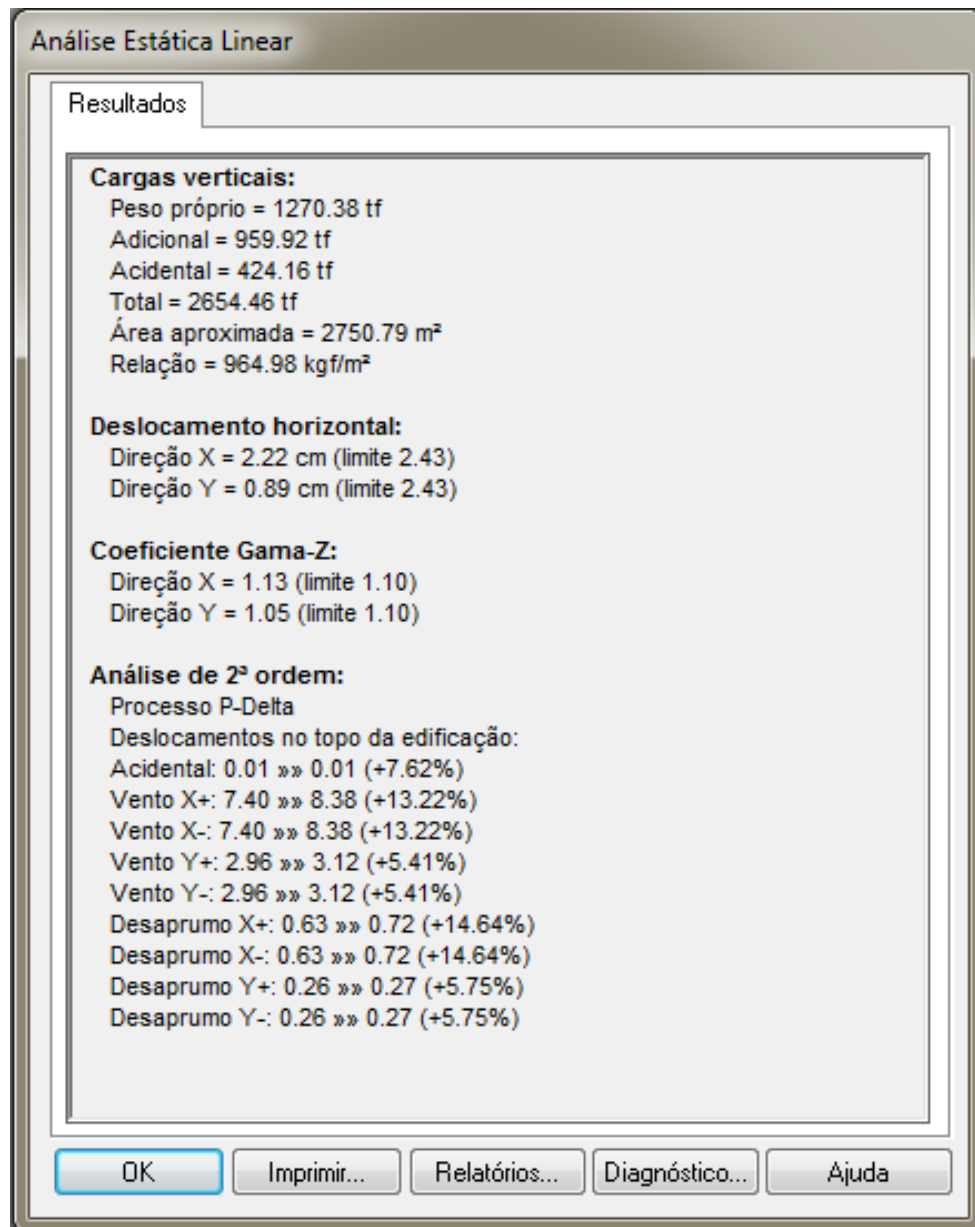
SANTOS, Luciano Ferreira. **SISTEMAS DE CONTRAVENTAMENTO APLICADOS EM ESTRUTURAS PRÉMOLDADAS DE CONCRETO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**. 2015. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7349>>. Acesso em: 16 maio 2019.

WORDELL, Fernando. **AVALIAÇÃO DA INSTABILIDADE GLOBAL DE EDIFÍCIOS ALTOS**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

ANEXO 1 – PROJETO CONVENCIONAL

Dados retirados do software AltoQi/Eberick

Análise Estática Linear



Análise da Não Linearidade Geométrica pelo Processo P-Delta

Acidental								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fundo da Caixa	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Casa de Máquinas	0.01	-0.02	0.01	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Cobertura do Ático	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01
Ático	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
Décimo Tipo	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Nono Tipo	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Oitavo Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sétimo Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sexto Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Quinto Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Quarto Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Terceiro Tipo	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Segundo Tipo	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Primeiro Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02

Variação no deslocamento do topo da edificação: 7.62%

Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	7.40	-0.01	8.38	-0.01	1.44	0.00	1.45	0.00
Fundo da Caixa	7.12	-0.01	8.11	-0.01	2.59	0.00	2.64	0.00
Casa de Máquinas	6.98	-0.01	7.96	-0.01	2.09	0.00	2.14	0.00
Cobertura do Ático	6.83	-0.01	7.79	-0.01	2.35	0.00	4.56	0.00
Ático	6.44	0.00	7.32	0.00	4.71	0.00	2.82	0.00
Décimo Tipo	6.18	0.00	7.04	0.00	5.93	0.00	6.46	0.00
Nono Tipo	5.83	0.00	6.67	0.00	5.00	0.00	5.74	0.00
Oitavo Tipo	5.39	0.00	6.20	0.00	4.89	0.00	5.63	0.00
Sétimo Tipo	4.91	0.00	5.68	0.00	4.76	0.00	5.59	0.00
Sexto Tipo	4.40	0.00	5.11	0.00	4.61	0.00	5.75	0.00
Quinto Tipo	3.81	0.00	4.46	0.00	4.45	0.00	5.71	0.00
Quarto Tipo	3.17	0.00	3.73	0.00	4.25	0.00	5.65	0.00
Terceiro Tipo	2.47	0.00	2.93	0.00	4.01	0.00	5.57	0.00
Segundo Tipo	1.72	0.00	2.05	0.00	4.28	0.00	6.04	0.00
Primeiro Tipo	0.92	0.00	1.09	0.00	3.65	0.00	5.28	-0.02
BALDRAME	0.07	0.00	0.08	0.00	0.41	0.00	-8.54	0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 13.22%

Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-7.40	0.01	-8.38	0.01	-1.44	0.00	-1.45	0.00
Fundo da Caixa	-7.12	0.01	-8.11	0.01	-2.59	0.00	-2.64	0.00
Casa de Máquinas	-6.98	0.01	-7.96	0.01	-2.09	0.00	-2.14	0.00
Cobertura do Ático	-6.83	0.01	-7.79	0.01	-2.35	0.00	-4.56	0.00
Ático	-6.44	0.00	-7.32	0.00	-4.71	0.00	-2.82	0.00
Décimo Tipo	-6.18	0.00	-7.04	0.00	-5.93	0.00	-6.46	0.00
Nono Tipo	-5.83	0.00	-6.67	0.00	-5.00	0.00	-5.74	0.00
Oitavo Tipo	-5.39	0.00	-6.20	0.00	-4.89	0.00	-5.63	0.00
Sétimo Tipo	-4.91	0.00	-5.68	0.00	-4.76	0.00	-5.59	0.00
Sexto Tipo	-4.40	0.00	-5.11	0.00	-4.61	0.00	-5.75	0.00
Quinto Tipo	-3.81	0.00	-4.46	0.00	-4.45	0.00	-5.71	0.00
Quarto Tipo	-3.17	0.00	-3.73	0.00	-4.25	0.00	-5.65	0.00
Terceiro Tipo	-2.47	0.00	-2.93	0.00	-4.01	0.00	-5.57	0.00
Segundo Tipo	-1.72	0.00	-2.05	0.00	-4.28	0.00	-6.04	0.00
Primeiro Tipo	-0.92	0.00	-1.09	0.00	-3.65	0.00	-5.28	0.02
BALDRAME	-0.07	0.00	-0.08	0.00	-0.41	0.00	8.54	-0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 13.22%

Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	2.96	0.00	3.12	0.00	0.93	0.00	0.93
Fundo da Caixa	0.00	2.87	-0.01	3.03	0.00	1.26	0.00	1.27
Casa de Máquinas	-0.01	2.83	-0.01	2.99	0.00	0.85	0.00	0.86
Cobertura do Ático	0.00	2.80	0.00	2.96	0.00	3.24	0.00	4.07
Ático	0.00	2.70	0.00	2.84	0.00	5.85	0.00	5.13
Décimo Tipo	0.00	2.61	0.00	2.76	0.00	6.54	0.00	6.74
Nono Tipo	0.00	2.49	0.00	2.63	0.00	5.36	0.00	5.63
Oitavo Tipo	0.00	2.33	0.00	2.47	0.00	5.24	0.00	5.57
Sétimo Tipo	0.00	2.14	0.00	2.27	0.00	5.10	0.00	5.50
Sexto Tipo	0.00	1.92	0.00	2.04	0.00	4.94	0.00	5.42
Quinto Tipo	0.00	1.67	0.00	1.78	0.00	4.76	0.00	5.30
Quarto Tipo	0.00	1.39	0.00	1.48	0.00	4.55	0.00	5.15
Terceiro Tipo	0.00	1.07	0.00	1.15	0.00	4.29	0.00	4.94
Segundo Tipo	0.00	0.74	0.00	0.79	0.00	4.72	0.00	5.39
Primeiro Tipo	0.00	0.38	0.00	0.40	0.00	4.02	-0.01	4.30
BALDRAME	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.45	-0.01	-2.93

Variação no deslocamento do topo da edificação: 5.41%

Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	-2.96	0.00	-3.12	0.00	-0.93	0.00	-0.93
Fundo da Caixa	0.00	-2.87	0.01	-3.03	0.00	-1.26	0.00	-1.27
Casa de Máquinas	0.01	-2.83	0.01	-2.99	0.00	-0.85	0.00	-0.86
Cobertura do Ático	0.00	-2.80	0.00	-2.96	0.00	-3.24	0.00	-4.07
Ático	0.00	-2.70	0.00	-2.84	0.00	-5.85	0.00	-5.13
Décimo Tipo	0.00	-2.61	0.00	-2.76	0.00	-6.54	0.00	-6.74
Nono Tipo	0.00	-2.49	0.00	-2.63	0.00	-5.36	0.00	-5.63
Oitavo Tipo	0.00	-2.33	0.00	-2.47	0.00	-5.24	0.00	-5.57
Sétimo Tipo	0.00	-2.14	0.00	-2.27	0.00	-5.10	0.00	-5.50
Sexto Tipo	0.00	-1.92	0.00	-2.04	0.00	-4.94	0.00	-5.42
Quinto Tipo	0.00	-1.67	0.00	-1.78	0.00	-4.76	0.00	-5.30
Quarto Tipo	0.00	-1.39	0.00	-1.48	0.00	-4.55	0.00	-5.15
Terceiro Tipo	0.00	-1.07	0.00	-1.15	0.00	-4.29	0.00	-4.94
Segundo Tipo	0.00	-0.74	0.00	-0.79	0.00	-4.72	0.00	-5.39
Primeiro Tipo	0.00	-0.38	0.00	-0.40	0.00	-4.02	0.01	-4.30
BALDRAME	0.00	-0.03	0.00	-0.03	0.00	-0.45	0.01	2.93

Variação no deslocamento do topo da edificação: 5.41%

Desaprumo X+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.63	0.00	0.72	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
Fundo da Caixa	0.62	0.00	0.72	0.00	0.13	0.00	0.14	0.00
Casa de Máquinas	0.62	0.00	0.71	0.00	0.07	0.00	0.07	0.00
Cobertura do Ático	0.61	0.00	0.70	0.00	0.18	0.00	0.38	0.00
Ático	0.59	0.00	0.67	0.00	0.40	0.00	0.23	0.00
Décimo Tipo	0.57	0.00	0.66	0.00	0.53	0.00	0.57	0.00
Nono Tipo	0.55	0.00	0.63	0.00	0.53	0.00	0.60	0.00
Oitavo Tipo	0.52	0.00	0.59	0.00	0.53	0.00	0.60	0.00
Sétimo Tipo	0.48	0.00	0.55	0.00	0.53	0.00	0.62	0.00
Sexto Tipo	0.43	0.00	0.50	0.00	0.53	0.00	0.65	0.00
Quinto Tipo	0.38	0.00	0.44	0.00	0.53	0.00	0.67	0.00
Quarto Tipo	0.32	0.00	0.38	0.00	0.54	0.00	0.69	0.00
Terceiro Tipo	0.25	0.00	0.30	0.00	0.54	0.00	0.71	0.00
Segundo Tipo	0.18	0.00	0.21	0.00	0.54	0.00	0.73	0.00
Primeiro Tipo	0.10	0.00	0.11	0.00	0.54	0.00	0.74	0.00
BALDRAME	0.01	0.00	0.01	0.00	0.54	0.00	-0.38	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 14.64%

Desaprumo X-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-0.63	0.00	-0.72	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00
Fundo da Caixa	-0.62	0.00	-0.72	0.00	-0.13	0.00	-0.14	0.00
Casa de Máquinas	-0.62	0.00	-0.71	0.00	-0.07	0.00	-0.07	0.00
Cobertura do Ático	-0.61	0.00	-0.70	0.00	-0.18	0.00	-0.38	0.00
Ático	-0.59	0.00	-0.67	0.00	-0.40	0.00	-0.23	0.00
Décimo Tipo	-0.57	0.00	-0.66	0.00	-0.53	0.00	-0.57	0.00
Nono Tipo	-0.55	0.00	-0.63	0.00	-0.53	0.00	-0.60	0.00
Oitavo Tipo	-0.52	0.00	-0.59	0.00	-0.53	0.00	-0.60	0.00
Sétimo Tipo	-0.48	0.00	-0.55	0.00	-0.53	0.00	-0.62	0.00
Sexto Tipo	-0.43	0.00	-0.50	0.00	-0.53	0.00	-0.65	0.00
Quinto Tipo	-0.38	0.00	-0.44	0.00	-0.53	0.00	-0.67	0.00
Quarto Tipo	-0.32	0.00	-0.38	0.00	-0.54	0.00	-0.69	0.00
Terceiro Tipo	-0.25	0.00	-0.30	0.00	-0.54	0.00	-0.71	0.00
Segundo Tipo	-0.18	0.00	-0.21	0.00	-0.54	0.00	-0.73	0.00
Primeiro Tipo	-0.10	0.00	-0.11	0.00	-0.54	0.00	-0.74	0.00
BALDRAME	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.54	0.00	0.38	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 14.64%

Desaprumo Y+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	0.26	0.00	0.27	0.00	0.02	0.00	0.02
Fundo da Caixa	0.00	0.25	0.00	0.27	0.00	0.13	0.00	0.13
Casa de Máquinas	0.00	0.25	0.00	0.27	0.00	0.07	0.00	0.07
Cobertura do Ático	0.00	0.25	0.00	0.27	0.00	0.18	0.00	0.26
Ático	0.00	0.24	0.00	0.26	0.00	0.40	0.00	0.33
Décimo Tipo	0.00	0.24	0.00	0.25	0.00	0.53	0.00	0.55
Nono Tipo	0.00	0.23	0.00	0.24	0.00	0.53	0.00	0.56
Oitavo Tipo	0.00	0.22	0.00	0.23	0.00	0.53	0.00	0.56
Sétimo Tipo	0.00	0.20	0.00	0.21	0.00	0.53	0.00	0.57
Sexto Tipo	0.00	0.18	0.00	0.19	0.00	0.53	0.00	0.58
Quinto Tipo	0.00	0.16	0.00	0.17	0.00	0.53	0.00	0.59
Quarto Tipo	0.00	0.13	0.00	0.14	0.00	0.54	0.00	0.60
Terceiro Tipo	0.00	0.11	0.00	0.11	0.00	0.54	0.00	0.60
Segundo Tipo	0.00	0.07	0.00	0.08	0.00	0.54	0.00	0.61
Primeiro Tipo	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.54	0.00	0.57
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.00	0.21

Variação no deslocamento do topo da edificação: 5.75%

Pavimento	Desaprumo Y-							
	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	-0.26	0.00	-0.27	0.00	-0.02	0.00	-0.02
Fundo da Caixa	0.00	-0.25	0.00	-0.27	0.00	-0.13	0.00	-0.13
Casa de Máquinas	0.00	-0.25	0.00	-0.27	0.00	-0.07	0.00	-0.07
Cobertura do Ático	0.00	-0.25	0.00	-0.27	0.00	-0.18	0.00	-0.26
Ático	0.00	-0.24	0.00	-0.26	0.00	-0.40	0.00	-0.33
Décimo Tipo	0.00	-0.24	0.00	-0.25	0.00	-0.53	0.00	-0.55
Nono Tipo	0.00	-0.23	0.00	-0.24	0.00	-0.53	0.00	-0.56
Oitavo Tipo	0.00	-0.22	0.00	-0.23	0.00	-0.53	0.00	-0.56
Sétimo Tipo	0.00	-0.20	0.00	-0.21	0.00	-0.53	0.00	-0.57
Sexto Tipo	0.00	-0.18	0.00	-0.19	0.00	-0.53	0.00	-0.58
Quinto Tipo	0.00	-0.16	0.00	-0.17	0.00	-0.53	0.00	-0.59
Quarto Tipo	0.00	-0.13	0.00	-0.14	0.00	-0.54	0.00	-0.60
Terceiro Tipo	0.00	-0.11	0.00	-0.11	0.00	-0.54	0.00	-0.60
Segundo Tipo	0.00	-0.07	0.00	-0.08	0.00	-0.54	0.00	-0.61
Primeiro Tipo	0.00	-0.04	0.00	-0.04	0.00	-0.54	0.00	-0.57
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.54	0.00	-0.21

Variação no deslocamento do topo da edificação: 5.75%

Verificação da Estabilidade Global da Estrutura

Eixo X (1.3G1+1.4G2+1.4S+1.2R+1.4Q+1.2A+0.72T1+0.84V1+0.39D1)						
Pavimento	Altura Relativa (cm)	Carga Vertical (kN)	Carga horizontal (kN)		Desloc. horizontal (cm)	
			Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	4130	107.57	12.06	7.80	6.25	0.19
Fundo da Caixa	3810	724.58	21.77	10.60	6.01	0.18
Casa de Máquinas	3615	359.54	17.55	7.12	5.89	0.21
Cobertura do Ático	3460	977.07	19.76	27.21	5.75	0.21
Ático	3180	2427.10	39.53	49.15	5.42	0.18
Décimo Tipo	2900	2863.50	49.83	54.96	5.20	0.16
Nono Tipo	2620	2863.50	42.02	45.03	4.90	0.15
Oitavo Tipo	2340	2864.68	41.04	43.98	4.54	0.13
Sétimo Tipo	2060	2868.48	39.96	42.81	4.13	0.12
Sexto Tipo	1780	2868.48	38.74	41.51	3.70	0.10
Quinto Tipo	1500	2868.48	37.34	40.01	3.21	0.08
Quarto Tipo	1220	2872.54	35.69	38.24	2.67	0.07
Terceiro Tipo	940	2872.54	33.66	36.06	2.08	0.05
Segundo Tipo	660	2872.54	35.91	39.61	1.45	0.04
Primeiro Tipo	380	2875.05	30.65	33.80	0.77	0.02
BALDRAME	100	2926.83	3.42	3.77	0.06	0.00

Eixo Y (1.3G1+1.4G2+1.4S+1.2R+1.4Q+1.2A+0.72T1+0.84V4+0.39D4)						
Pavimento	Altura Relativa (cm)	Carga Vertical (kN)	Carga horizontal (kN)		Desloc. horizontal (cm)	
			Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	4130	107.57	12.06	7.80	0.04	2.66
Fundo da Caixa	3810	724.58	21.77	10.60	0.03	2.59
Casa de Máquinas	3615	359.54	17.55	7.12	0.03	2.59
Cobertura do Ático	3460	977.07	19.76	27.21	0.02	2.56
Ático	3180	2427.09	39.53	49.15	0.01	2.44
Décimo Tipo	2900	2863.50	49.83	54.96	0.01	2.36
Nono Tipo	2620	2863.50	42.02	45.03	0.01	2.24
Oitavo Tipo	2340	2864.68	41.04	43.98	0.01	2.09
Sétimo Tipo	2060	2868.48	39.96	42.81	0.01	1.92
Sexto Tipo	1780	2868.48	38.74	41.51	0.01	1.71

Quinto Tipo	1500	2868.48	37.34	40.01	0.00	1.49
Quarto Tipo	1220	2872.54	35.69	38.24	0.00	1.23
Terceiro Tipo	940	2872.54	33.66	36.06	0.00	0.96
Segundo Tipo	660	2872.54	35.91	39.61	0.00	0.66
Primeiro Tipo	380	2875.05	30.65	33.80	0.00	0.34
BALDRAME	100	2926.83	3.42	3.77	0.00	0.03

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	1059.05	1071.11
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	119.71	54.57
Gama-Z	1.13	1.05

Valor limite: 1.10

Imperfeições Geométricas Globais

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Altura total da edificação (cm)	4130.00	
Nº de pilares contínuos	7	
Combinação vertical	G1+G2+Q+A	
Gama-Z	1.13	1.05
Tipo de estrutura	Estruturas usuais	
Ângulo adotado	1/397	1/397

Pavimento	Carga vertical (tf)	Carga aplicada (tf)		Deslocamento (cm)	
		X	Y	X	Y
Tampa da Caixa	8.27	0.02	0.02	0.63	0.26
Fundo da Caixa	52.68	0.13	0.13	0.62	0.25
Casa de Máquinas	26.18	0.07	0.07	0.62	0.25
Coertura do Ático	72.41	0.18	0.18	0.61	0.25
Ático	181.90	0.46	0.46	0.59	0.24
Décimo Tipo	211.72	0.53	0.53	0.57	0.24
Nono Tipo	211.72	0.53	0.53	0.55	0.23
Oitavo Tipo	211.81	0.53	0.53	0.52	0.22
Sétimo Tipo	212.10	0.53	0.53	0.48	0.20
Sexto Tipo	212.10	0.53	0.53	0.43	0.18
Quinto Tipo	212.10	0.53	0.53	0.38	0.16
Quarto Tipo	212.41	0.54	0.54	0.32	0.13
Terceiro Tipo	212.41	0.54	0.54	0.25	0.11
Segundo Tipo	212.41	0.54	0.54	0.18	0.07
Primeiro Tipo	212.60	0.54	0.54	0.10	0.04
BALDRAME	215.58	0.54	0.54	0.01	0.00

Resumo de Materiais

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Tampa da Caixa	Vigas	48.1	0.9	15.6	55.3	
	Pilares	76.1	0.9	15.6	82.0	
	Lajes	31.5	1.5	14.9	21.1	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	155.7	3.3	46.1	47.3	0.0
Fundo da Caixa	Vigas	111.6	1.5	26.8	72.3	
	Pilares	93.3	0.7	11.9	132.8	
	Lajes	206.3	2.7	20.0	75.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	411.2	5.0	58.8	82.3	0.0
Casa de Máquinas	Vigas	94.3	1.7	30.4	54.0	
	Pilares	127.6	0.9	15.6	141.6	
	Lajes	13.7	0.4	2.5	37.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	235.5	3.0	48.5	78.1	0.0
Cobertura do Ático	Vigas	286.3	4.4	75.8	65.7	
	Pilares	292.9	2.0	36.1	144.5	
	Lajes	406.9	8.1	81.1	50.1	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	

	Total	986.0	14.5	193.1	68.0	0.0
Ático	Vigas	893.1	15.3	265.8	58.4	
	Pilares	692.5	5.4	97.9	127.5	
	Lajes	469.7	19.5	194.6	24.1	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2055.4	40.2	558.4	51.1	0.0
Décimo Tipo	Vigas	761.4	13.7	239.0	55.4	
	Pilares	740.0	5.4	97.9	136.2	
	Lajes	504.5	19.7	197.5	25.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2005.9	38.9	534.5	51.5	0.0
Nono Tipo	Vigas	835.4	13.7	239.0	60.8	
	Pilares	809.3	5.4	97.9	149.0	
	Lajes	504.6	19.7	197.5	25.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2149.2	38.9	534.5	55.2	0.0
Oitavo Tipo	Vigas	935.9	13.8	239.1	67.9	
	Pilares	1067.5	5.4	97.9	196.5	
	Lajes	504.6	19.8	197.5	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2508.1	39.0	534.6	64.4	0.0
Sétimo Tipo	Vigas	1010.8	13.9	240.5	72.8	
	Pilares	957.4	4.1	75.0	232.6	

	Lajes	504.6	19.7	197.5	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2472.8	37.8	513.0	65.5	0.0
Sexto Tipo	Vigas	1088.4	13.9	240.5	78.4	
	Pilares	461.6	1.9	34.4	244.2	
	Lajes	504.6	19.7	197.5	25.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2054.5	35.5	472.4	57.8	0.0
Quinto Tipo	Vigas	1199.2	13.9	240.5	86.3	
	Pilares	339.7	1.2	22.1	278.9	
	Lajes	504.6	19.7	197.5	25.5	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2043.4	34.9	460.1	58.6	0.0
Quarto Tipo	Vigas	1299.3	14.0	240.8	92.7	
	Pilares	98.0	0.3	6.2	291.5	
	Lajes	504.3	19.7	197.3	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	1901.6	34.1	444.2	55.8	0.0
Terceiro Tipo	Vigas	1414.7	14.0	240.8	100.9	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	504.4	19.7	197.3	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	

	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	1919.1	33.7	438.0	56.9	0.0
Segundo Tipo	Vigas	1541.9	14.0	240.8	110.0	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	504.4	19.7	197.3	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2046.3	33.7	438.0	60.6	0.0
Primeiro Tipo	Vigas	1676.6	14.1	241.6	118.9	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	504.4	19.7	197.3	25.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	2181.0	33.8	438.8	64.5	0.0
BALDRAME	Vigas	1358.1	12.3	214.6	110.7	
	Pilares	72.7	0.2	3.7	348.5	
	Lajes	521.8	20.9	208.1	24.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	1952.5	33.4	426.4	58.4	0.0

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
CA50	6.3	242.8		663.6					906.3
CA50	8.0	7282.3		30.4					7312.8
CA50	10.0	2904.6	2787.2	507.3					6199.1
CA50	12.5	768.9	2184.7						2953.6
CA50	16.0	725.8	44.3						770.1

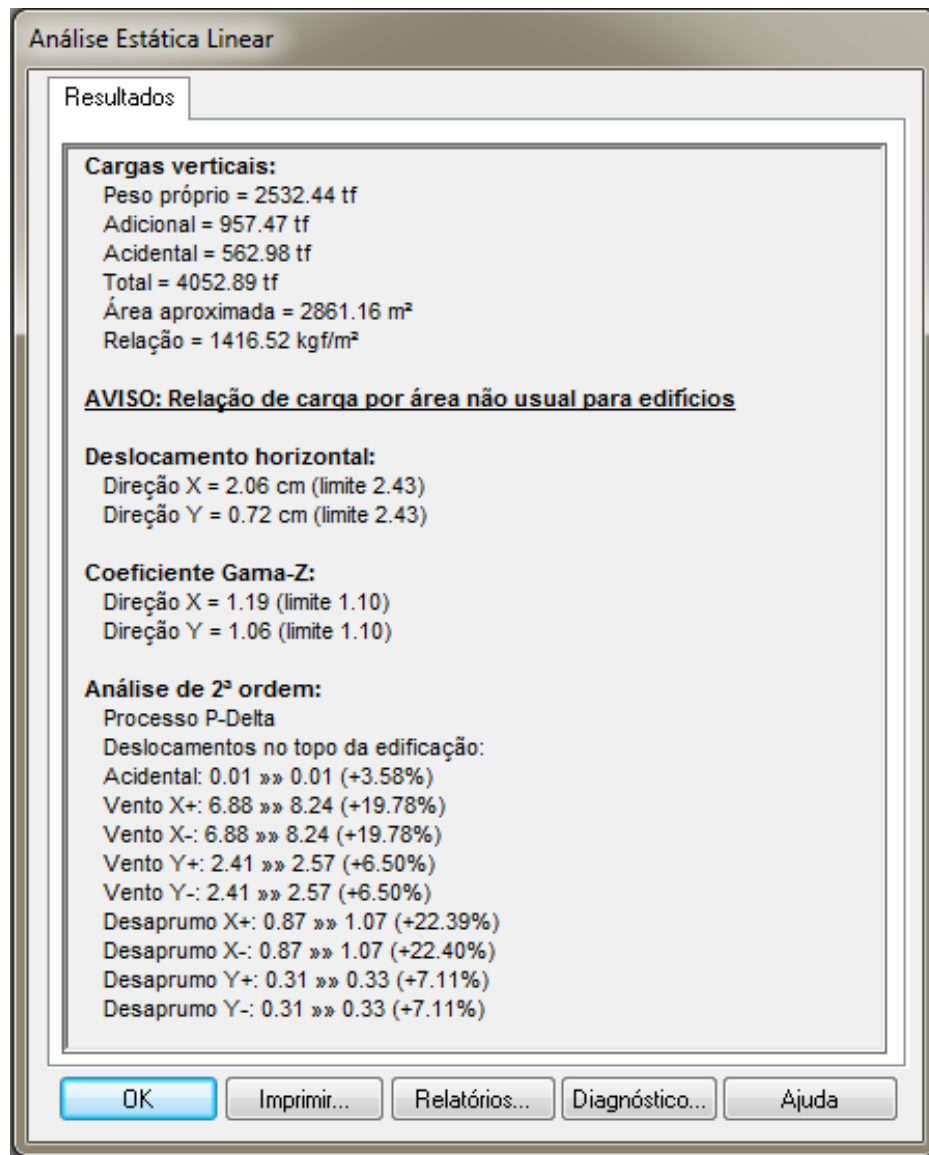
CA50	20.0	497.1							497.1
CA60	5.0	2133.6	812.1	5493.4					8439.2

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	12421.5	5016.2	1201.3					18639.1
	CA60	2133.6	812.1	5493.4					8439.2
	Total	14555.2	5828.4	6694.7					27078.3
Volume concreto (m³)	C-30	175.2	34.1	250.5					459.8
Área de forma (m²)		3031.6	612.4	2495.3					6139.4
Consumo de aço (kg/m³)		83.1	171.1	26.7					58.9

ANEXO 2 – PROJETO COM ADIÇÃO DE VIGAS-PAREDE

Dados retirados do software AltoQi/Eberick

Análise Estática Linear



Análise da Não Linearidade Geométrica pelo Processo P-Delta

Acidental								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Fundo da Caixa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Casa de Máquinas	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Cobertura do Ático	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Ático	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	-0.01	0.00
Décimo Tipo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Nono Tipo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Oitavo Tipo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sétimo Tipo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Sexto Tipo	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Quinto Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Quarto Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Terceiro Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Segundo Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Primeiro Tipo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.01	-0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 3.58%

Vento X+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	6.88	-0.01	8.24	-0.01	1.44	0.00	1.45	0.00
Fundo da Caixa	6.67	0.01	8.04	0.01	2.59	0.00	2.63	0.00
Casa de Máquinas	6.57	0.01	7.95	0.01	2.09	0.00	2.12	0.00
Cobertura do Ático	6.45	-0.01	7.80	-0.01	2.35	0.00	4.01	0.00
Ático	6.07	0.00	7.36	0.00	4.71	0.00	3.39	0.00
Décimo Tipo	5.86	0.00	7.13	0.00	5.93	0.00	6.61	0.00

Nono Tipo	5.56	0.00	6.82	0.00	5.00	0.00	5.95	0.00
Oitavo Tipo	5.20	0.00	6.42	0.00	4.89	0.00	6.12	0.00
Sétimo Tipo	4.77	0.00	5.94	0.00	4.76	0.00	6.28	0.00
Sexto Tipo	4.27	0.00	5.37	0.00	4.61	0.00	6.42	0.00
Quinto Tipo	3.71	0.00	4.71	0.00	4.45	0.00	6.54	0.00
Quarto Tipo	3.08	0.00	3.96	0.00	4.25	0.00	6.61	0.00
Terceiro Tipo	2.40	0.00	3.12	0.00	4.01	0.00	6.61	0.00
Segundo Tipo	1.66	0.00	2.18	0.00	4.28	0.00	7.25	0.00
Primeiro Tipo	0.87	0.00	1.15	0.00	3.65	0.00	6.70	0.00
BALDRAME	0.03	0.00	0.03	0.00	0.41	0.00	-17.35	-0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 19.78%

Vento X-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-6.88	0.01	-8.24	0.01	-1.44	0.00	-1.45	0.00
Fundo da Caixa	-6.67	-0.01	-8.04	-0.01	-2.59	0.00	-2.63	0.00
Casa de Máquinas	-6.57	-0.01	-7.95	-0.01	-2.09	0.00	-2.12	0.00
Cobertura do Ático	-6.45	0.01	-7.80	0.01	-2.35	0.00	-4.01	0.00
Ático	-6.07	0.00	-7.36	0.00	-4.71	0.00	-3.39	0.00
Décimo Tipo	-5.86	0.00	-7.13	0.00	-5.93	0.00	-6.61	0.00
Nono Tipo	-5.56	0.00	-6.82	0.00	-5.00	0.00	-5.95	0.00
Oitavo Tipo	-5.20	0.00	-6.42	0.00	-4.89	0.00	-6.12	0.00
Sétimo Tipo	-4.77	0.00	-5.94	0.00	-4.76	0.00	-6.28	0.00
Sexto Tipo	-4.27	0.00	-5.37	0.00	-4.61	0.00	-6.42	0.00
Quinto Tipo	-3.71	0.00	-4.71	0.00	-4.45	0.00	-6.54	0.00
Quarto Tipo	-3.08	0.00	-3.96	0.00	-4.25	0.00	-6.61	0.00
Terceiro Tipo	-2.40	0.00	-3.12	0.00	-4.01	0.00	-6.61	0.00
Segundo Tipo	-1.66	0.00	-2.18	0.00	-4.28	0.00	-7.25	0.00
Primeiro Tipo	-0.87	0.00	-1.15	0.00	-3.65	0.00	-6.70	0.00
BALDRAME	-0.03	0.00	-0.03	0.00	-0.41	0.00	17.35	0.01

Variação no deslocamento do topo da edificação: 19.78%

Vento Y+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-0.01	2.41	-0.01	2.57	0.00	0.93	0.00	0.93
Fundo da Caixa	-0.01	2.34	-0.01	2.50	0.00	1.26	0.00	1.27
Casa de Máquinas	-0.01	2.32	-0.01	2.48	0.00	0.85	0.00	0.85
Cobertura do Ático	0.00	2.31	0.00	2.46	0.00	3.24	0.00	3.76
Ático	0.00	2.22	0.00	2.36	0.00	5.85	0.00	5.49
Décimo Tipo	0.00	2.13	0.00	2.28	0.00	6.54	0.00	6.74
Nono Tipo	0.00	2.03	0.00	2.18	0.00	5.36	0.00	5.68
Oitavo Tipo	0.00	1.90	0.00	2.04	0.00	5.24	0.00	5.65
Sétimo Tipo	0.00	1.75	0.00	1.88	0.00	5.10	0.00	5.60
Sexto Tipo	0.00	1.57	0.00	1.70	0.00	4.94	0.00	5.54
Quinto Tipo	0.00	1.36	0.00	1.48	0.00	4.76	0.00	5.44
Quarto Tipo	0.00	1.14	0.00	1.24	0.00	4.55	0.00	5.31
Terceiro Tipo	0.00	0.89	0.00	0.97	0.00	4.29	0.00	5.12
Segundo Tipo	0.00	0.61	0.00	0.67	0.00	4.72	0.00	5.67
Primeiro Tipo	0.00	0.32	0.00	0.35	0.00	4.02	0.00	4.87
BALDRAME	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.45	0.00	-5.17

Variação no deslocamento do topo da edificação: 6.50%

Vento Y-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.01	-2.41	0.01	-2.57	0.00	-0.93	0.00	-0.93
Fundo da Caixa	0.01	-2.34	0.01	-2.50	0.00	-1.26	0.00	-1.27
Casa de Máquinas	0.01	-2.32	0.01	-2.48	0.00	-0.85	0.00	-0.85
Cobertura do Ático	0.00	-2.31	0.00	-2.46	0.00	-3.24	0.00	-3.76
Ático	0.00	-2.22	0.00	-2.36	0.00	-5.85	0.00	-5.49
Décimo Tipo	0.00	-2.13	0.00	-2.28	0.00	-6.54	0.00	-6.74
Nono Tipo	0.00	-2.03	0.00	-2.18	0.00	-5.36	0.00	-5.68

Oitavo Tipo	0.00	-1.90	0.00	-2.04	0.00	-5.24	0.00	-5.65
Sétimo Tipo	0.00	-1.75	0.00	-1.88	0.00	-5.10	0.00	-5.60
Sexto Tipo	0.00	-1.57	0.00	-1.70	0.00	-4.94	0.00	-5.54
Quinto Tipo	0.00	-1.36	0.00	-1.48	0.00	-4.76	0.00	-5.44
Quarto Tipo	0.00	-1.14	0.00	-1.24	0.00	-4.55	0.00	-5.31
Terceiro Tipo	0.00	-0.89	0.00	-0.97	0.00	-4.29	0.00	-5.12
Segundo Tipo	0.00	-0.61	0.00	-0.67	0.00	-4.72	0.00	-5.67
Primeiro Tipo	0.00	-0.32	0.00	-0.35	0.00	-4.02	0.00	-4.87
BALDRAME	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.45	0.00	5.17

Variação no deslocamento do topo da edificação: 6.50%

Desaprumo X+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.87	0.00	1.07	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
Fundo da Caixa	0.87	0.00	1.07	0.00	0.16	0.00	0.17	0.00
Casa de Máquinas	0.86	0.00	1.06	0.00	0.09	0.00	0.09	0.00
Cobertura do Ático	0.85	0.00	1.05	0.00	0.21	0.00	0.42	0.00
Ático	0.83	0.00	1.02	0.00	0.47	0.00	0.29	0.00
Décimo Tipo	0.82	0.00	1.00	0.00	0.84	0.00	0.92	0.00
Nono Tipo	0.79	0.00	0.97	0.00	0.84	0.00	0.96	0.00
Oitavo Tipo	0.75	0.00	0.93	0.00	0.84	0.00	1.01	0.00
Sétimo Tipo	0.70	0.00	0.87	0.00	0.84	0.00	1.06	0.00
Sexto Tipo	0.63	0.00	0.80	0.00	0.84	0.00	1.11	0.00
Quinto Tipo	0.56	0.00	0.71	0.00	0.84	0.00	1.17	0.00
Quarto Tipo	0.47	0.00	0.60	0.00	0.84	0.00	1.23	0.00
Terceiro Tipo	0.37	0.00	0.48	0.00	0.84	0.00	1.29	0.00
Segundo Tipo	0.26	0.00	0.34	0.00	0.84	0.00	1.35	0.00
Primeiro Tipo	0.14	0.00	0.18	0.00	0.84	0.00	1.40	0.00
BALDRAME	0.01	0.00	0.01	0.00	0.85	0.00	-1.94	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 22.39%

Desaprumo X-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	-0.87	0.00	-1.07	0.00	-0.02	0.00	-0.02	0.00
Fundo da Caixa	-0.87	0.00	-1.07	0.00	-0.16	0.00	-0.17	0.00
Casa de Máquinas	-0.86	0.00	-1.06	0.00	-0.09	0.00	-0.09	0.00
Cobertura do Ático	-0.85	0.00	-1.05	0.00	-0.21	0.00	-0.42	0.00
Ático	-0.83	0.00	-1.02	0.00	-0.47	0.00	-0.29	0.00
Décimo Tipo	-0.82	0.00	-1.00	0.00	-0.84	0.00	-0.92	0.00
Nono Tipo	-0.79	0.00	-0.97	0.00	-0.84	0.00	-0.96	0.00
Oitavo Tipo	-0.75	0.00	-0.93	0.00	-0.84	0.00	-1.01	0.00
Sétimo Tipo	-0.70	0.00	-0.87	0.00	-0.84	0.00	-1.06	0.00
Sexto Tipo	-0.63	0.00	-0.80	0.00	-0.84	0.00	-1.11	0.00
Quinto Tipo	-0.56	0.00	-0.71	0.00	-0.84	0.00	-1.17	0.00
Quarto Tipo	-0.47	0.00	-0.60	0.00	-0.84	0.00	-1.23	0.00
Terceiro Tipo	-0.37	0.00	-0.48	0.00	-0.84	0.00	-1.29	0.00
Segundo Tipo	-0.26	0.00	-0.34	0.00	-0.84	0.00	-1.35	0.00
Primeiro Tipo	-0.14	0.00	-0.18	0.00	-0.84	0.00	-1.40	0.00
BALDRAME	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.85	0.00	1.94	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 22.40%

Desaprumo Y+								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	0.31	0.00	0.33	0.00	0.02	0.00	0.02
Fundo da Caixa	0.00	0.31	0.00	0.33	0.00	0.16	0.00	0.16
Casa de Máquinas	0.00	0.31	0.00	0.33	0.00	0.09	0.00	0.09
Cobertura do Ático	0.00	0.30	0.00	0.33	0.00	0.21	0.00	0.28
Ático	0.00	0.30	0.00	0.32	0.00	0.47	0.00	0.42
Décimo Tipo	0.00	0.29	0.00	0.31	0.00	0.84	0.00	0.86
Nono Tipo	0.00	0.28	0.00	0.30	0.00	0.84	0.00	0.88
Oitavo Tipo	0.00	0.27	0.00	0.29	0.00	0.84	0.00	0.90

Sétimo Tipo	0.00	0.25	0.00	0.27	0.00	0.84	0.00	0.91
Sexto Tipo	0.00	0.22	0.00	0.24	0.00	0.84	0.00	0.93
Quinto Tipo	0.00	0.20	0.00	0.21	0.00	0.84	0.00	0.94
Quarto Tipo	0.00	0.17	0.00	0.18	0.00	0.84	0.00	0.96
Terceiro Tipo	0.00	0.13	0.00	0.14	0.00	0.84	0.00	0.98
Segundo Tipo	0.00	0.09	0.00	0.10	0.00	0.84	0.00	0.99
Primeiro Tipo	0.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.84	0.00	0.99
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 7.11%

Desaprumo Y-								
Pavimento	Deslocamentos horizontais médios (cm)				Esforço aplicado (tf)			
	1a. ordem		1a. + 2a. ordem		1a. ordem		1a. + 2a. ordem	
	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	0.00	-0.31	0.00	-0.33	0.00	-0.02	0.00	-0.02
Fundo da Caixa	0.00	-0.31	0.00	-0.33	0.00	-0.16	0.00	-0.16
Casa de Máquinas	0.00	-0.31	0.00	-0.33	0.00	-0.09	0.00	-0.09
Cobertura do Ático	0.00	-0.30	0.00	-0.33	0.00	-0.21	0.00	-0.28
Ático	0.00	-0.30	0.00	-0.32	0.00	-0.47	0.00	-0.42
Décimo Tipo	0.00	-0.29	0.00	-0.31	0.00	-0.84	0.00	-0.86
Nono Tipo	0.00	-0.28	0.00	-0.30	0.00	-0.84	0.00	-0.88
Oitavo Tipo	0.00	-0.27	0.00	-0.29	0.00	-0.84	0.00	-0.90
Sétimo Tipo	0.00	-0.25	0.00	-0.27	0.00	-0.84	0.00	-0.91
Sexto Tipo	0.00	-0.22	0.00	-0.24	0.00	-0.84	0.00	-0.93
Quinto Tipo	0.00	-0.20	0.00	-0.21	0.00	-0.84	0.00	-0.94
Quarto Tipo	0.00	-0.17	0.00	-0.18	0.00	-0.84	0.00	-0.96
Terceiro Tipo	0.00	-0.13	0.00	-0.14	0.00	-0.84	0.00	-0.98
Segundo Tipo	0.00	-0.09	0.00	-0.10	0.00	-0.84	0.00	-0.99
Primeiro Tipo	0.00	-0.05	0.00	-0.05	0.00	-0.84	0.00	-0.99
BALDRAME	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.85	0.00	0.00

Variação no deslocamento do topo da edificação: 7.11%

Verificação da Estabilidade Global da Estrutura

Eixo X (1.3G1+1.4G2+1.4S+1.2R+1.4Q+1.2A+0.72T1+0.84V2+0.39D2)						
Pavimento	Altura Relativa (cm)	Carga Vertical (kN)	Carga horizontal (kN)		Desloc. horizontal (cm)	
			Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	4130	109.66	12.06	7.80	5.83	0.08
Fundo da Caixa	3810	876.44	21.77	10.60	5.65	0.03
Casa de Máquinas	3615	623.30	17.55	7.12	5.56	0.00
Cobertura do Ático	3460	1024.55	19.76	27.21	5.44	0.00
Ático	3180	2800.89	39.53	49.15	5.12	-0.04
Décimo Tipo	2900	4463.15	49.83	54.96	4.94	-0.02
Nono Tipo	2620	4463.15	42.02	45.03	4.69	-0.02
Oitavo Tipo	2340	4463.15	41.04	43.98	4.38	-0.01
Sétimo Tipo	2060	4463.15	39.96	42.81	4.01	-0.01
Sexto Tipo	1780	4463.15	38.74	41.51	3.59	0.00
Quinto Tipo	1500	4463.15	37.34	40.01	3.12	0.00
Quarto Tipo	1220	4463.15	35.69	38.24	2.59	0.00
Terceiro Tipo	940	4463.15	33.66	36.06	2.02	0.00
Segundo Tipo	660	4463.15	35.91	39.61	1.40	0.00
Primeiro Tipo	380	4463.15	30.65	33.80	0.73	0.00
BALDRAME	100	4493.52	3.42	3.77	0.03	0.00

Eixo Y (1.3G1+1.4G2+1.4S+1.2R+1.4Q+1.2A+0.72T1+0.84V3+0.39D3)						
Pavimento	Altura Relativa (cm)	Carga Vertical (kN)	Carga horizontal (kN)		Desloc. horizontal (cm)	
			Eixo X	Eixo Y	Eixo X	Eixo Y
Tampa da Caixa	4130	109.66	12.06	7.80	0.06	2.10
Fundo da Caixa	3810	876.44	21.77	10.60	0.06	2.00
Casa de Máquinas	3615	608.64	17.55	7.12	0.04	1.95
Cobertura do Ático	3460	1041.01	19.76	27.21	0.03	1.93
Ático	3180	2800.89	39.53	49.15	0.02	1.82
Décimo Tipo	2900	4463.15	49.83	54.96	0.02	1.77
Nono Tipo	2620	4463.15	42.02	45.03	0.02	1.69
Oitavo Tipo	2340	4463.15	41.04	43.98	0.01	1.59
Sétimo Tipo	2060	4463.15	39.96	42.81	0.01	1.46

Sexto Tipo	1780	4463.15	38.74	41.51	0.01	1.31
Quinto Tipo	1500	4463.15	37.34	40.01	0.00	1.14
Quarto Tipo	1220	4463.15	35.69	38.24	0.00	0.96
Terceiro Tipo	940	4463.15	33.66	36.06	0.00	0.75
Segundo Tipo	660	4463.15	35.91	39.61	0.00	0.52
Primeiro Tipo	380	4463.15	30.65	33.80	0.00	0.27
BALDRAME	100	4493.52	3.42	3.77	0.00	0.01

Coeficiente Gama-Z		
	Eixo X	Eixo Y
Momento de tombamento de cálculo (tf.m)	1059.05	1071.11
Momento de 2a. ordem de cálculo (tf.m)	169.52	61.42
Gama-Z	1.19	1.06

Valor limite: 1.10

Imperfeições Geométricas Globais

Parâmetros	Direção X	Direção Y
Altura total da edificação (cm)	4130.00	
Nº de pilares contínuos	7	
Combinação vertical	G1+G2+Q+A	
Gama-Z	1.19	1.06
Tipo de estrutura	Estruturas usuais	
Ângulo adotado	1/397	1/397

Pavimento	Carga vertical (tf)	Carga aplicada (tf)		Deslocamento (cm)	
		X	Y	X	Y
Tampa da Caixa	8.44	0.02	0.02	0.87	0.31
Fundo da Caixa	64.33	0.16	0.16	0.87	0.31
Casa de Máquinas	42.30	0.11	0.11	0.86	0.31
Cobertura do Ático	80.05	0.20	0.20	0.85	0.30
Ático	210.62	0.53	0.53	0.83	0.30
Décimo Tipo	333.74	0.84	0.84	0.82	0.29
Nono Tipo	333.74	0.84	0.84	0.79	0.28
Oitavo Tipo	333.74	0.84	0.84	0.75	0.27
Sétimo Tipo	333.74	0.84	0.84	0.70	0.25
Sexto Tipo	333.74	0.84	0.84	0.63	0.22
Quinto Tipo	333.74	0.84	0.84	0.56	0.20
Quarto Tipo	333.74	0.84	0.84	0.47	0.17
Terceiro Tipo	333.74	0.84	0.84	0.37	0.13
Segundo Tipo	333.74	0.84	0.84	0.26	0.09
Primeiro Tipo	333.74	0.84	0.84	0.14	0.05
BALDRAME	336.04	0.85	0.85	0.01	0.00

Resumo de Materiais

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m³)	Peso treliças (kg)
Tampa da Caixa	Vigas	44.9	1.1	18.9	41.3	
	Pilares	107.0	0.8	14.1	139.4	
	Lajes	31.5	1.5	14.9	21.1	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	183.4	3.3	47.9	54.8	0.0
Fundo da Caixa	Vigas	359.4	6.3	99.9	57.1	
	Pilares	142.7	0.7	12.7	205.9	
	Lajes	199.7	2.7	20.0	72.8	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	701.8	9.7	132.6	72.1	0.0
Casa de Máquinas	Vigas	282.0	5.5	87.8	51.5	
	Pilares	200.7	1.0	17.7	208.4	
	Lajes	13.7	0.4	2.5	36.9	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	496.4	6.8	108.0	72.9	0.0
Cobertura do Ático	Vigas	470.3	7.4	121.7	63.6	
	Pilares	370.2	1.8	33.9	200.3	
	Lajes	418.5	8.1	81.1	51.6	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	1259.0	17.4	236.7	72.5	0.0
Ático	Vigas	1968.0	26.5	435.5	74.3	
	Pilares	583.3	3.2	58.5	182.8	
	Lajes	510.5	19.4	194.2	26.3	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	3061.9	49.1	688.2	62.3	0.0
Décimo Tipo	Vigas	3569.4	59.3	822.6	60.2	
	Pilares	516.7	3.2	58.5	161.9	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4620.6	83.1	1085.6	55.6	0.0
Nono Tipo	Vigas	3596.1	59.3	822.6	60.6	
	Pilares	343.4	2.2	40.0	157.2	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4474.0	82.1	1067.1	54.5	0.0
Oitavo Tipo	Vigas	3600.5	59.3	822.6	60.7	
	Pilares	614.2	2.2	40.0	281.2	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	

	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4749.2	82.1	1067.1	57.9	0.0
Sétimo Tipo	Vigas	3623.8	59.3	822.6	61.1	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4158.3	79.9	1027.1	52.1	0.0
Sexto Tipo	Vigas	3644.2	59.3	822.6	61.4	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4178.7	79.9	1027.1	52.3	0.0
Quinto Tipo	Vigas	3656.4	59.3	822.6	61.6	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4190.9	79.9	1027.1	52.5	0.0
Quarto Tipo	Vigas	3660.4	59.3	822.6	61.7	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4195.0	79.9	1027.1	52.5	0.0
Terceiro Tipo	Vigas	3709.7	59.3	822.6	62.5	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4244.2	79.9	1027.1	53.1	0.0
Segundo Tipo	Vigas	3735.4	59.3	822.6	63.0	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4270.0	79.9	1027.1	53.5	0.0
Primeiro Tipo	Vigas	3763.7	59.3	822.6	63.5	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	534.5	20.6	204.5	26.0	
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4298.2	79.9	1027.1	53.8	0.0
BALDRAME	Vigas	3825.9	61.4	850.3	62.3	
	Pilares	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Lajes	533.9	20.6	204.4	26.0	

	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Fundações	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Reservatórios	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Muros	0.0	0.0	0.0	0.0	
	Total	4359.8	82.0	1054.7	53.2	0.0

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)							
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muros	Total
CA50	6.3	12293.5		756.1					13049.6
CA50	8.0	6109.7		53.3					6163.0
CA50	10.0	15241.4	1018.2	512.9					16772.5
CA50	12.5	2446.4	1317.7						3764.1
CA50	16.0	212.5	203.0						415.5
CA50	20.0	85.8							85.8
CA60	5.0	7120.6	339.5	5730.7					13190.8

		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Fundações	Reservatórios	Muro	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	36389.4	2538.8	1322.3					40250.6
	CA60	7120.6	339.5	5730.7					13190.8
	Total	43510.0	2878.3	7053.0					53441.4
Volume concreto (m³)	C-30	701.3	15.0	258.3					974.6
Área de forma (m²)		9840.3	275.4	2561.6					12677.4
Consumo de aço (kg/m³)		62.0	191.6	27.3					54.8