

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
ENGENHARIA CIVIL

Karen de Melo Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COEFICIENTES DE REDUÇÃO
DE CARGAS VARIÁVEIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA
EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO**

Santa Maria, RS.
2021

Karen de Melo Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COEFICIENTES DE REDUÇÃO
DE CARGAS VARIÁVEIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA
EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Almir Barros da Silva Santos Neto

Santa Maria, RS.

2021

Karen de Melo Rodrigues

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE
CARGAS VARIÁVEIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 30 de setembro de 2021.

Almir Barros da Silva Santos Neto, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

André Lübeck, Dr. (UFSM)

Alisson Simonetti Milani, Dr. (UNIPAMPA)

Santa Maria, RS.

2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela oportunidade de estar aqui, neste ano atípico, com saúde e por todas as coisas boas que me proporcionou durante a graduação e que me fazem estar aqui, hoje, me sentindo muito realizada e abençoada.

Agradeço de todo o coração a minha família, pai, mãe e mana, e ao meu namorado Luciano pelo apoio de todos os dias. Sei que não mediram esforços para que eu estivesse aqui cumprindo meus objetivos. Foram 4 anos de aulas presenciais em Santa Maria longe de vocês durante a semana toda, com saudade e tendo muitos dias cansativos, mas saibam que mesmo longe vocês fizeram eu me sentir perto, amo vocês. Meu agradecimento também a Tia Margarete, Derli e Vó Edite pelas orações e por me ampararem em momentos difíceis, vocês me ajudaram a chegar até aqui.

Deixo aqui meu agradecimento ao meu orientador Prof. Dr. Almir Barros da Silva Santos Neto por todo o aprendizado e pela tua disponibilidade, suas aulas ao longo do curso com certeza me fizeram tomar um gosto especial por Estruturas. Obrigada por estar bastante presente mesmo neste momento onde não foi possível nos encontrarmos presencialmente. Agradeço pela disposição em me auxiliar mesmo fora de hora, e pela atenção para comigo.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria pela dedicação e ensinamentos durante os anos de graduação. Aos professores componentes da banca pelo interesse e disponibilidade em revisar o trabalho deixo aqui meu agradecimento, com carinho.

Por último e não menos importante, agradeço imensamente a equipe da TQS INFORMÁTICA, em especial ao Eng. Alio Kimura que fez a gentileza de fornecer uma versão do software TQS para que fosse possível a realização deste trabalho.

RESUMO

**INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DOS COEFICIENTES DE REDUÇÃO DE
CARGAS VARIÁVEIS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA EDIFICAÇÃO EM
CONCRETO ARMADO**

AUTOR: Karen de Melo Rodrigues

ORIENTADOR: Almir Barros da Silva Santos Neto

O presente trabalho apresenta o estudo acerca da adoção dos multiplicadores α_n das cargas variáveis que constam na ABNT NBR 6120/2019, e como seu uso impacta nos esforços solicitantes e, portanto, no dimensionamento da estrutura de uma edificação em concreto armado. Segundo a ABNT NBR 6120/2019 este critério de redução pode ser aplicado para edificações com diferentes tipos de utilização, a cada conjunto de pisos adjacentes de mesmo tipo de uso. É válido deixar claro que a aplicação dos coeficientes não é obrigatória, portanto, fica a critério do engenheiro estrutural fazê-la ou não. Para o estudo, optou-se por utilizar quatro números de pavimentos diferentes para a mesma arquitetura: 8, 12, 16 e 20. Para isso foram modelados os quatro edifícios no software TQS V22 impondo as devidas cargas permanentes e acidentais nos elementos estruturais, assim como a carga de vento relacionada à localização da edificação. A primeira análise de esforços e dimensionamento dos elementos estruturais foi feita para a estrutura com cargas permanentes e variáveis integrais, sem o uso do redutor. Após isso, adotaram-se os coeficientes de redução de sobrecarga em todos os pavimentos, exceto na cobertura e no pavimento térreo, seguindo corretamente o que diz o critério da norma. Concluiu-se que embora existam as reduções de cargas conforme aumenta o número de pavimentos, os esforços nas fundações não reduzem suficientemente para haver uma mudança no consumo de concreto e aço. Os pilares das edificações de 8, 12 e 16 pavimentos apresentaram redução significativa no consumo de aço, porém para o edifício de 20 pavimentos houve uma influência menor. Esta conclusão não deve ser generalizada pois está baseada na planta baixa e números de pavimentos adotado para a presente pesquisa.

Palavras-chave: NBR 6120/2019; Redução de Cargas Variáveis; Ações em Estruturas; Estruturas de Concreto Armado.

ABSTRACT

**INFLUENCE OF THE USE OF VARIABLE LOAD REDUCTION COEFFICIENTS
IN THE DESIGN OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING**

AUTHOR: Karen de Melo Rodrigues

ADVISOR: Almir Barros da Silva Santos Neto

This paper presents the study about the adoption of multipliers on of variable loads contained in ABNT NBR 6120/2019, and how their use impacts on the internal forces and, therefore, on the design of the structure of a reinforced concrete building. According to ABNT NBR 6120/2019 this reduction criterion can be applied for buildings with different types of use, to each set of adjacent floors of the same type of use. It is worth making it clear that the application of the coefficients is not mandatory, so it is up to the structural engineer to do it or not. For the study, it was chosen to use four different floor numbers for the same architecture: 8, 12, 16 and 20. For this, the four buildings were modeled in TQS V22 software imposing the proper permanent and accidental loads on the structural elements, as well as the wind load related to the building location. The first analysis of efforts and design of the structural elements was done for the structure with permanent and variable integral loads, without the use of the reducer. After that, the load reduction coefficients were adopted for all floors, except for the roof and first floor, correctly following the standard criteria. It was concluded that although there are load reductions as the number of floors increases, the efforts in the foundations do not reduce enough to have a change in the consumption of concrete and steel. The columns of the 8, 12 and 16 floor buildings presented a significant reduction in steel consumption, but for the 20 floor building there was a smaller influence. This conclusion should not be generalized because it is based on the floor plan and number of floors adopted for this research.

Keywords: NBR 6120/2019; Reduction of Variable Loads; Actions in Structures; Reinforced Concrete Structures.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Multiplicador α_n das cargas variáveis.....	18
Figura 2 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com um tipo de uso	19
Figura 3 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com dois e três tipos de uso.	19
Figura 4 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com grupos de pavimentos com diferentes áreas e mesmo tipo de uso	20
Figura 5 - Categorias de uso das edificações segundo a norma europeia.....	21
Figura 6 - Coeficientes de redução das cargas variáveis segundo a norma europeia.....	22
Figura 7 - Coeficientes de redução das cargas variáveis segundo a norma americana	23
Figura 8 - O Efeito P-Delta	26
Figura 9 - Modelos estruturais.....	27
Figura 10 - Planta baixa pavimento térreo	28
Figura 11 - Planta baixa pavimentos tipo.....	29
Figura 12 - Planta baixa cobertura.....	29
Figura 13 - Vista espacial da estrutura da edificação de 12 pavimentos	32
Figura 14 - Deslocamentos horizontais no edifício de 12 pavimentos	33
Figura 15 - Flecha nas lajes do pavimento tipo do edifício de 12 pavimentos	34
Figura 16 - Locação das fundações do edifício de 12 pavimentos.....	34
Figura 17 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 8 pavimentos.....	35
Figura 18 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 12 pavimentos.....	35
Figura 19 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 16 pavimentos.....	36
Figura 20 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 20 pavimentos.....	36
Figura 21 - Porcentagem de redução adotada em cada pavimento.....	37
Figura 22 - Cargas nas fundações do edifício de 8 pavimentos	39
Figura 23 - Cargas nas fundações do edifício de 12 pavimentos	40
Figura 24 - Cargas nas fundações do edifício de 16 pavimentos	40
Figura 25 - Cargas nas fundações do edifício de 20 pavimentos	41
Figura 26 - Deslocamentos no pórtico do edifício de 8 pavimentos	42
Figura 27 - Deslocamentos no pórtico do edifício de 20 pavimentos	42
Figura 28 - Momentos fletores no quinto lance do pilar P1.....	43
Figura 29 - Peso das paredes – dados	49

Figura 30 - Peso das paredes	49
Figura 31 - Lajes - dados.....	50
Figura 32 - Cargas nas lajes	50
Figura 33- Cargas na laje da escada.....	51
Figura 34 - Vista espacial do edifício de 8 pavimentos	51
Figura 35 - Vista espacial do edifício de 12 pavimentos	52
Figura 36 - Vista espacial do edifício de 16 pavimentos	52
Figura 37 - Vista espacial do edifício de 20 pavimentos	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fator de elemento de carga dinâmica.....	22
Tabela 2- Valores dos fatores de vento utilizados.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASCE-7	Norma da Sociedade Americana dos Engenheiros Civis
A_t	Área por piso (m^2)
c.v.n.r	Carga variável não redutível
CF	Combinação frequente
CQP	Combinação quase permanente
ELS	Estado Limite de Serviço
ELU	Estado Limite Último
EN 1991-1-1	Norma europeia versão em inglês da Eurocode 1
F_{ck}	Resistência característica do concreto
H_m	Espessura média da laje da escada
K_{LL}	Fator de elemento
L	Carga variável reduzida
L_0	Carga variável não reduzida
M	Momento fletor
m/s	Metros por segundo
N	Força normal
n	Número de pavimentos
NBR	Norma Brasileira
RM1M2	Coefficiente resultante da análise P-Delta
tf	Tonelada-força
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
V	Força cortante
V_0	Velocidade básica do vento

LISTA DE SÍMBOLOS

$P-\Delta$	Fator P-Delta de análise de estabilidade
α	Parâmetro de instabilidade
α_A	Fator de redução da norma EN 1991-1-1
α_n	Coefficiente multiplicador das cargas variáveis da norma ABNT NBR 6120
γ_f	Coefficiente ponderador de ações
γ_z	Parâmetro de estabilidade
ϕ	Diâmetro da estaca
ψ_0	Fator de combinação
ψ_1	Fator de redução 1
ψ_2	Fator de redução 2

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	14
1.2 JUSTIFICATIVA	15
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2. DESENVOLVIMENTO	17
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1 Ações em estruturas	17
2.1.2 ABNT NBR 6120/2019.....	18
2.1.3 Outras normalizações Internacionais de ações	20
2.1.3.1 Norma Europeia EM 1991-1-1	20
2.1.3.2 Norma Americana ASCE-7	22
2.1.4 Redução da ação de sobrecarga no software TQS.....	24
2.1.5 Parâmetros de Estabilidade Global	24
2.1.5.1 Cálculo do P-Delta pelo software TQS	25
2.1.6 Modelo estrutural	26
2.1.6.1 Modelos estruturais no TQS	26
3. METODOLOGIA	28
3.1. Edificações Analisadas.....	28
3.2 Materiais e Durabilidade	30
3.3 Modelagem	30
3.4 Análise Estrutural e Dimensionamento.....	32
3.5 Aplicação dos Coeficientes de Redução de Cargas Variáveis	37

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	39
5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	45
5.1. Conclusão	45
5.2. Sugestão para trabalhos futuros	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
APÊNDICE A – Cargas de paredes e lajes.....	49
ANEXOS.....	54

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Segundo Laranjeiras (2009), a probabilidade de a carga variável atuar com seu valor característico ao mesmo tempo em todos os pisos é menor que a probabilidade dessa carga atuar em apenas um piso. Sendo assim, o único modo de se ter as duas situações acima com a mesma probabilidade de ocorrência é se, ao considerar todos os pisos carregados, for adotada a sobrecarga com um valor menor que o característico. Essa seria a razão da existência dos redutores de carga variável encontrados na ABNT NBR 6120 desde sua versão inicial.

Apresentados desde a primeira versão da norma ABNT NBR 6120 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações, em 1980, os coeficientes multiplicadores de cargas variáveis têm por objetivo reduzir a sobrecarga em edifícios de múltiplos pavimentos com mesmo tipo de uso, influenciando, portanto, os esforços solicitantes principalmente em pilares e fundações. A aplicação dos coeficientes é normatizada, porém não obrigatória, ou seja, optar por sua utilização ou não fica a critério do engenheiro estrutural.

A aplicação desses coeficientes tem influência nos esforços dos pilares e fundações, devido ao fato de que os pilares são solicitados, num determinado lance, por todo o carregamento atuante acima deste lance em que o mesmo se encontra. Já as vigas e as lajes, por sua vez, sofrem influência principalmente das cargas verticais no pavimento em que se encontram, portanto, não se aplicam as reduções de sobrecarga nesses elementos.

É importante que as cargas variáveis reduzidas sejam aquelas devidas as forças verticais, ou normais (N) e não as devidas aos momentos fletores (M), isso pelo fato de que os momentos fletores no pilar são causados por elementos de cada pavimento independente, diferente da força normal, que considera todos os pisos acima do elemento. No programa TQS essa hipótese não é tratada, mas existem formas aproximadas para simular esse caso, porém não serão discutidas nesse documento.

Ao se fazer a análise estrutural de um edifício em que as sobrecargas serão reduzidas a fim de medir sua influência no dimensionamento da estrutura, deve-se modelar a edificação aplicando os carregamentos permanentes e variáveis conforme a ABNT NBR 6118/2014. A edificação com cargas variáveis reduzidas deve ser verificada para os Estados Limites Último e de Serviço. No software utilizado neste trabalho, o TQS, na aba “cargas” deve-se habilitar

a redução de carga variável e escolher a opção de valores padrão ou então entrar na célula com o valor do redutor.

Em geral, na grande maioria dos projetos estruturais, a redução abordada neste trabalho não é empregada pelos profissionais, muito provavelmente devido à falta de conhecimento e maiores estudos com relação à aplicação dos coeficientes multiplicadores de cargas variáveis em edifícios.

A atual norma ABNT NBR 6120, que foi atualizada em 2019, traz figuras explicativas mais didáticas em relação à anterior, de 1980, que apresentava apenas uma tabela com os valores dos redutores que poderiam ser utilizados pelo projetista. A ABNT NBR 6120/2019 acaba por ser a principal fonte de pesquisa em vigor sobre a possibilidade de reduzir as cargas variáveis em edifícios.

1.2 JUSTIFICATIVA

Devido à escassez de estudos sobre os coeficientes multiplicadores de cargas variáveis, se torna imprescindível a discussão e análise do quanto seu uso influencia no dimensionamento estrutural de edificações em concreto armado.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a influência do uso dos coeficientes de redução de cargas variáveis, em uma edificação em concreto armado de múltiplos pavimentos, no dimensionamento estrutural utilizando-se o programa computacional TQS.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Analisar o efeito da utilização dos coeficientes de redução de cargas variáveis nos esforços em edificações de 8, 12, 16 e 20 pavimentos;
- b) Analisar se há influência da redução das cargas variáveis no consumo de materiais na estrutura das edificações.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos:

- 1) Introdução
- 2) Revisão bibliográfica
- 3) Metodologia
- 4) Discussão e análise dos resultados
- 5) Conclusão e sugestões para trabalhos futuros

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Ações em estruturas

Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2013), “denomina-se ação qualquer influência, ou o conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura”.

A ABNT NBR 6118/2014 prescreve que na etapa da análise estrutural, é necessário que se considere a influência de todas as ações atuantes na estrutura, basicamente as que possam produzir efeitos significativos para a segurança, levando sempre em conta os estados limites últimos e de serviço (JÚNIOR, 2015).

A norma brasileira que regulamenta as ações e a segurança das estruturas é a ABNT NBR 8681/2003 – Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. O item 4.2.1 da norma classifica as ações segundo sua variabilidade no tempo, sendo elas as ações permanentes, variáveis e ações excepcionais.

As ações permanentes representam o carregamento aplicado à estrutura durante toda sua vida útil, como por exemplo, peso próprio da estrutura, empuxo de terra, pesos de equipamentos fixos e de materiais construtivos. Vale ressaltar que imperfeições geométricas, recalques de apoio, fluência, protensão e retração também causam esforços, e conseqüentemente, integram as ações permanentes em uma estrutura em concreto (GIONGO, 2007; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Por outro lado, a ABNT NBR 8681/2003 diz que as ações variáveis representam o carregamento que pode ou não ser imposto na estrutura durante a sua vida útil ou de construção, como por exemplo, sobrecarga de utilização, variações de temperatura, pressões hidrostáticas ou hidrodinâmicas, forças de impacto e efeito do vento (JÚNIOR, 2015).

Define-se também que as ações excepcionais são caracterizadas pela baixa possibilidade de ocorrência, mas que em ocasiões específicas devem ser consideradas. Seguem como exemplo de ações excepcionais os choques de veículos na edificação, explosões, sismos, enchentes e incêndios (JÚNIOR, 2015). As ações excepcionais não serão abordadas neste trabalho.

Vale destacar que, para complementar a análise e considerar o efeito das ações em uma estrutura de um edifício em concreto armado garantindo sua segurança, é muito importante

que se leve em consideração a ABNT NBR 6120/2019 – Ações para o cálculo de estruturas de edificações, e a ABNT NBR 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações.

2.1.2 ABNT NBR 6120/2019

Originada no ano de 1980 (corrigida em 2000), a ABNT NBR 6120 é a norma que trata das ações para o cálculo de estruturas de edificações, sendo esta portanto a normativa nacional que rege a aplicação dos carregamentos em uma estrutura. Sua versão original possuía 5 páginas, trazendo apenas uma relação dos pesos específicos dos materiais de construção e armazenagem, valores mínimos para sobrecarga em diversos tipos de ambiente, e uma tabela para realização da redução das cargas variáveis. No ano de 2019 ocorreu, enfim, a revisão da NBR 6120, trazendo uma norma mais completa, com 60 páginas e de melhor entendimento. O item 6.12 da referida norma, dispõe sobre a possibilidade de redução de cargas variáveis em até 60% de seu valor, utilizando coeficientes multiplicadores conforme o número de pisos acima do elemento, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Multiplicador α_n das cargas variáveis

Número de pisos que atuam sobre o elemento	Multiplicador α_n das cargas variáveis
1 a 3	1,0
4	0,8
5	0,6
6 ou mais	0,4

Fonte: ABNT NBR 6120/2019.

Para se obter os esforços solicitantes em pilares e fundações, que suportem “n” andares acima do elemento em questão, com conjuntos de pisos adjacentes com o mesmo tipo de uso, o valor da sobrecarga pode ser multiplicado por um coeficiente de redução α_n . A ABNT NBR 6120/2019 estabelece ainda que as reduções adotadas devem ser registradas nos documentos do projeto estrutural.

Não é permitida a redução das cargas variáveis de garagens, reservatórios, coberturas, jardins, depósitos de explosivos e inflamáveis e áreas de estoque em geral, áreas de armamentos, áreas técnicas, instalações nucleares, indústrias, estádios, teatros e cinemas, passarelas, assembleias com assentos fixos ou móveis e demais áreas cujas cargas variáveis não sejam redutíveis (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019).

Ainda, segundo a ABNT NBR 6120/2019, o fato de existirem pavimentos inteiros ocupados por carga variável não redutível (conforme locais citados no parágrafo anterior), entre pavimentos onde se é possível fazer a redução, a continuidade dos multiplicadores α_n é mantida. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as figuras da norma relacionadas aos coeficientes utilizados em cada pavimento.

Figura 2 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com um tipo de uso

Cobertura	$1,0 \times q_k$
Ático	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Térreo	$1,0 \times q_k$
Garagens	$1,0 \times q_k$

Cobertura	$1,0 \times q_k$
Ático	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
c.v.n.r	$1,0 \times q_k$
c.v.n.r	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Térreo	$1,0 \times q_k$
Garagens	$1,0 \times q_k$

Fonte: ABNT NBR 6120/2019.

Figura 3 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com dois e três tipos de uso.

Cobertura	$1,0 \times q_k$
Ático	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso2	$0,8 \times q_k$
Uso2	$0,6 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Térreo	$1,0 \times q_k$
Garagens	$1,0 \times q_k$

Cobertura	$1,0 \times q_k$
Ático	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
Uso3	$1,0 \times q_k$
Uso3	$1,0 \times q_k$
c.v.n.r	$1,0 \times q_k$
Uso3	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso3	$0,8 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Uso3	$0,6 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$1,0 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,8 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,6 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Uso2	$0,4 \times q_k$
Uso3	$0,4 \times q_k$
Térreo	$1,0 \times q_k$
Garagens	$1,0 \times q_k$

Fonte: ABNT NBR 6120/2019.

Figura 4 - Multiplicadores de cargas variáveis para edificações com grupos de pavimentos com diferentes áreas e mesmo tipo de uso

Cobertura	$1,0 \times q_k$
Ático	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Uso1	$1,0 \times q_k$
Uso1	$1,0 \times q_k$
Uso1	$1,0 \times q_k$
Uso1	$0,8 \times q_k$
Uso1	$0,6 \times q_k$
Uso1	$0,4 \times q_k$
Térreo	$1,0 \times q_k$
Garagens	$1,0 \times q_k$

Fonte: ABNT NBR 6120/2019.

2.1.3 Outras normalizações Internacionais de ações

A título de conhecimento, este item abordará uma breve introdução de como outras normas internacionais apresentam o tema de redução de cargas variáveis em edifícios de concreto armado. Estas normativas internacionais não serão utilizadas no desenvolvimento do presente trabalho.

2.1.3.1 Norma Europeia EM 1991-1-1

A norma (EC1-1-1, 1.1) define seu escopo como sendo o de fornecer uma orientação de projeto e ações para o projeto estrutural de edifícios e trabalhos de engenharia civil incluindo alguns aspectos geotécnicos relacionados às densidades de materiais de construção e materiais armazenados, o peso próprio de construções e as cargas acidentais para edifícios (LORENZON, 2019).

Para áreas classificadas nas categorias de A a D, conforme mostra a Figura 5, para pilares e paredes, a carga acidental total de múltiplos pavimentos pode ser multiplicada pelo fator de redução α_n , cujo valor é encontrado por:

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2).0,7}{n} \quad (2)$$

Onde n é o número de pavimentos acima do elemento (válido para $n > 2$)

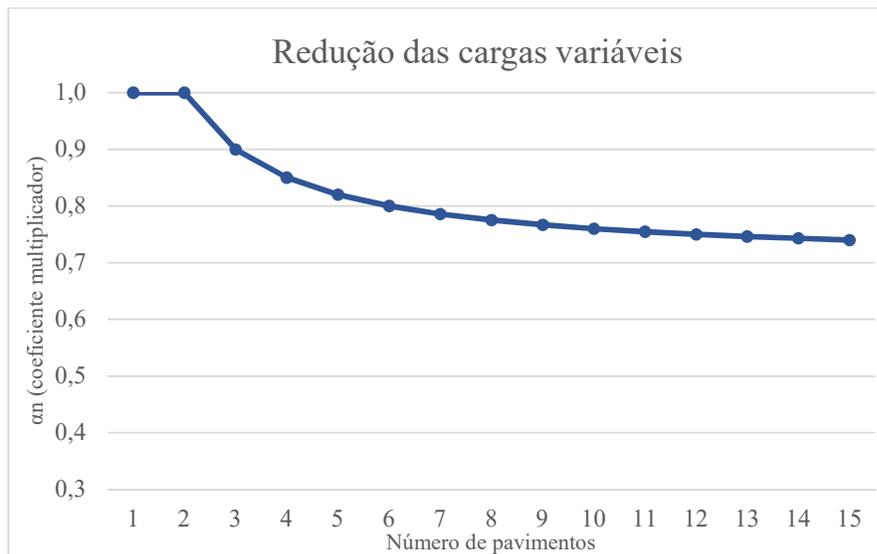
Figura 5 - Categorias de uso das edificações segundo a norma europeia

Categoria	Uso específico	Exemplo
A	Área para atividades domésticas e residenciais	Espaços em edifícios residenciais e casas; quartos e enfermarias em hospitais, quartos em hotéis e cozinhas e banheiros de hostel.
B	Áreas de escritórios.	B1: escritório privado B2: escritório aberto ao público
C	Áreas onde pessoas podem se reunir (com exceção de áreas definidas nas categorias A,B e D)	C1: áreas com mesas, etc. Ex: áreas em escolas, cafés, restaurantes, salas de jantar, áreas de leitura, recepções. C2: áreas com assentos fixos. Ex: áreas em igrejas, teatros ou cinemas, salas de conferência, salas de aula, salas de espera. C3: áreas sem obstáculos para mobilidade de pessoas. Ex: áreas em museus, salas de exibição, etc, e áreas de acesso público em prédios de administração, hotéis, hospitais. C4: áreas com possíveis atividades físicas. Ex: salões de dança, salas de ginástica, palcos. C5: áreas susceptíveis a grandes multidões. Ex: em edifícios para eventos públicos como salas de concerto, salões de esportes, incluindo arquibancadas, terraços e áreas de acesso e plataformas ferroviárias.
D	Áreas comerciais	D1: áreas em lojas de varejo. D2: áreas em lojas de departamento.

Fonte: LORENZON, 2019.

Como pode-se observar na Figura 6, a norma europeia é mais conservadora em relação as reduções. Neste caso as cargas acidentais são reduzidas a partir do terceiro pavimento, de cima para baixo, e a redução da sobrecarga é de, no máximo, 25% do seu valor integral.

Figura 6 - Coeficientes de redução das cargas variáveis segundo a norma europeia



Fonte: autor.

2.1.3.2 Norma Americana ASCE-7

A normativa americana fornece requisitos mínimos de cargas para projetos de edifícios e outras estruturas. Além disso fornece cargas e combinações, resistências, limites admissíveis e especificação de materiais

A ASCE-7 trata as reduções de acordo com a posição dos pilares e vigas levando em consideração um fator de elemento de carga dinâmica, K_{LL} , encontrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Fator de elemento de carga dinâmica

Elemento	K_{LL}
Pilares internos	4
Pilares externos sem lajes	4
Pilares de borda com lajes	3
Pilares de canto com lajes	2
Vigas de borda sem lajes	2
Vigas internas sem lajes	2
Outros membros não inclusos	1

Fonte: autor. Adaptado da ASCE-7.

O equacionamento utilizado para encontrar a carga variável reduzida, é dado por:

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_t}} \right) \quad (3)$$

Onde:

L= carga variável reduzida

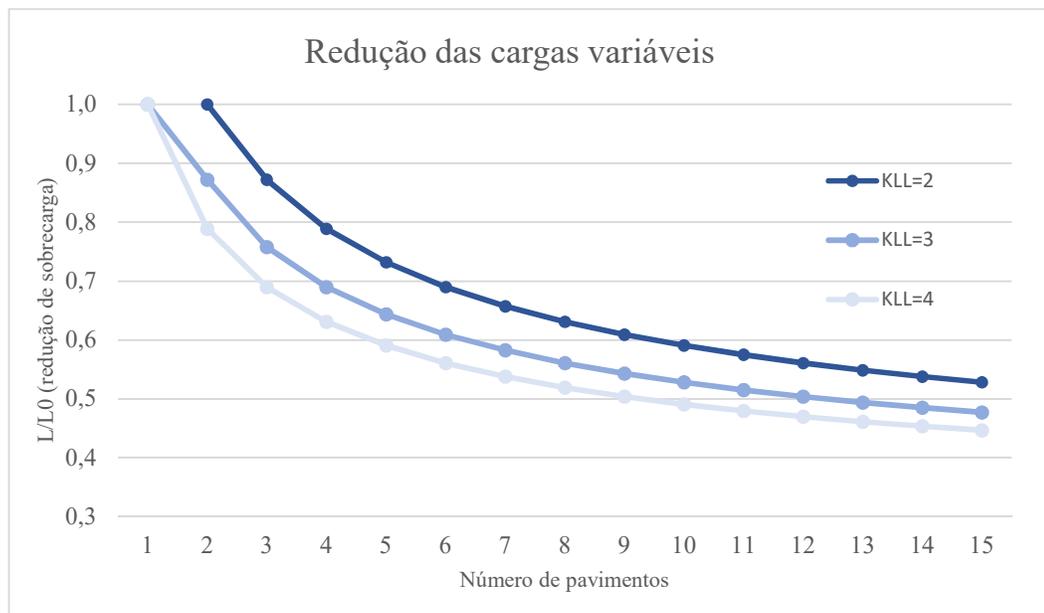
L₀= carga variável não reduzida, encontrada na tabela 4-1 da ASCE-7

K_{LL}= fator de elemento

A_t= área por piso (m²)

Na Figura 7 nota-se que a porcentagem das reduções é superior à da norma europeia para diferentes posições dos elementos estruturais. Para a norma americana as reduções começam a partir da cobertura, e são permitidas reduções entre 47% e 55%.

Figura 7 - Coeficientes de redução das cargas variáveis segundo a norma americana



Fonte: autor.

2.1.4 Redução da ação de sobrecarga no software TQS

Ao habilitar a redução de sobrecargas, o TQS gera um novo caso de carregamento com sufixo `_R`, como por exemplo: `ACID_R`. Segundo a TQS INFORMÁTICA LTDA, o software gera as combinações para o dimensionamento no Estado Limite Último separadas, primeiro para vigas e lajes e depois para pilares e fundações. As vigas e lajes são dimensionadas com a envoltória de combinações sem redução de sobrecargas, enquanto os pilares são calculados com os esforços de cada combinação com o caso de carga acidental reduzida, de forma que o alojamento de armaduras seja o mais desfavorável.

Nos casos com carga acidental reduzida, os valores do coeficiente γ_z tendem a ser um pouco menores que os demais, justamente devido a redução da carga vertical. Estes efeitos de segunda ordem calculados com a redução da sobrecarga são aplicados apenas para os pilares e fundações.

O comando do TQS para a definição de valores padrão requer a seleção de um piso escolhido como último ou então "cobertura". A partir do piso da cobertura, define-se, de cima para baixo, redutores 0 nos 3 primeiros pisos, 0,20 (20%) no 4º, 0,40 (40%) no 5º e 0,60 (60%) nos demais pisos. O multiplicador α_n da tabela da ABNT NBR 6120/2019 igual a 1,0, na verdade representa 0% de redução para o TQS, o igual a 0,8 representa 20%, 0,6 representa 40% e, por fim, 0,4 que representa 60% de redução. Para o software as cargas variáveis são multiplicadas por $(1 - \text{reductor})$, portanto não sofrem redução para o redutor igual a 0, e se anulam para o redutor igual a 1.

2.1.5 Parâmetros de Estabilidade Global

A verificação da estabilidade global é um requisito muito importante ao desenvolver um projeto estrutural de um edifício de concreto armado e tem por objetivo garantir a segurança da estrutura para o ELU (Estado Limite Último), o qual se relaciona ao colapso ou a qualquer outra forma de ruína estrutural que determine a paralisação do uso da estrutura.

Existem parâmetros, α e γ_z , encontrados na ABNT NBR 6118/2014, que permitem verificar a estabilidade global de forma simplificada e estimar os efeitos de segunda ordem na edificação. O parâmetro α constitui, por assim dizer, um termômetro na avaliação do estado de saúde da estrutura (VASCONCELOS, 1985). Com o resultado do parâmetro α é possível a verificação da dispensa ou não dos efeitos de segunda ordem, porém a avaliação desses

efeitos na estrutura deformada não é obtida com ele, representando uma grande desvantagem para esse método (MARACAJÁ, 2020).

Através da análise, se o valor do coeficiente γ_z for maior que 1,1 a estrutura é classificada como de nós móveis e, nesse caso, devem ser obrigatoriamente considerados os efeitos da não linearidade física e geométrica, sendo necessário fazer a verificação dos efeitos locais e globais de segunda ordem. Caso $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$ pode-se considerar os efeitos de segunda ordem como um valor aproximado, majorando os esforços horizontais por $0,95 \gamma_z$. Para demais casos onde γ_z for maior que 1,3, ou no caso desta pesquisa em que os edifícios são altos e esbeltos, a verificação dos efeitos deve ser feita por métodos mais refinados, como o P-Delta.

2.1.5.1 Cálculo do P-Delta pelo software TQS

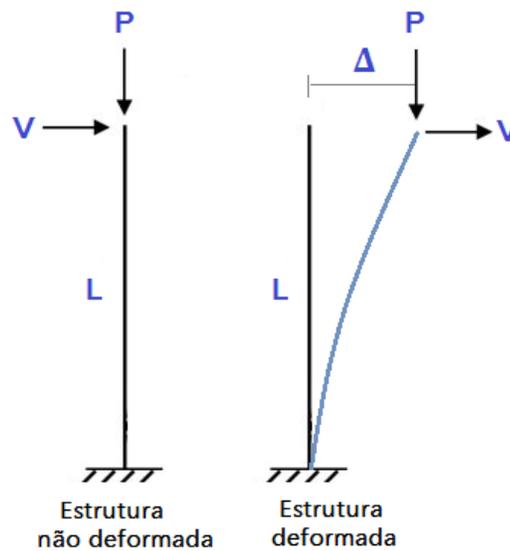
Nos Sistemas TQS, o que se chama de P-Delta (P- Δ) consiste numa análise não-linear geométrica em que os efeitos de 2ª ordem são calculados de forma bastante minuciosa. Trata-se de um processo numérico que busca a posição final de equilíbrio da estrutura de forma iterativa, por meio de sucessivas correções na matriz de rigidez (incorporação da matriz de rigidez geométrica $[K_g]$), de tal forma a flagrar o aparecimento de esforços adicionais na estrutura à medida que a estrutura se deforma (TQS INFORMÁTICA LTDA).

A análise da estrutura com o processo "P- Δ em dois passos" resulta em esforços solicitantes com a consideração dos efeitos da não-linearidade geométrica (2ª ordem) de maneira bastante precisa (TQS INFORMÁTICA LTDA). Porém essa solução da estrutura não gera em um coeficiente que permita avaliar a sua estabilidade, portanto, a fim de suprir essa deficiência, foi criado o coeficiente RM2M1.

O coeficiente RM2M1 procura, de forma aproximada, quantificar globalmente os resultados da análise P- Δ num único número por uma análise não-linear geométrica, onde M1 é o momento das forças horizontais em relação a base do edifício e o M2 é a somatória das forças verticais multiplicadas pelo deslocamento dos nós.

Com os valores de RM2M1 calculados para cada combinação ELU, é possível obter uma estimativa da magnitude dos efeitos de 2ª ordem perante os efeitos de 1ª ordem, de forma similar ao coeficiente γ_z (TQS INFORMÁTICA LTDA). A Figura 8 ilustra o efeito do P-Delta.

Figura 8 - O Efeito P-Delta



Fonte: AltoQi

2.1.6 Modelo estrutural

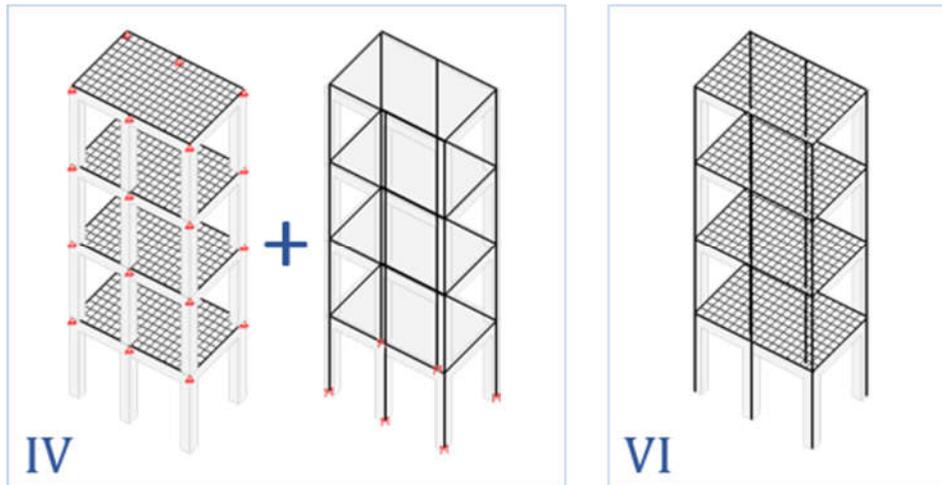
A definição do modelo estrutural mais adequado para um determinado projeto deve levar em consideração diversos fatores como exemplo: concepção arquitetônica, carregamentos atuantes, condições de fabricação e/ou montagem da estrutura, material a ser empregado, entre outros aspectos (VALLE; ROVERE; PILLAR, 2013). Segundo Martha (2010, p. 04) “A criação do modelo estrutural de uma estrutura real é uma das tarefas mais importantes da análise estrutural. Essa tarefa pode ser bastante complexa, dependendo do tipo de estrutura e da sua importância.”

2.1.6.1 Modelos estruturais no TQS

Segundo a TQS INFORMÁTICA LTDA, a partir da versão V16 dos sistemas TQS® o engenheiro estrutural tem a sua disposição dois modelos possíveis para utilização na análise estrutural (Figura 9):

- a) Modelo IV: os pavimentos são simplificados em grelhas isoladas (lajes e vigas), e leva em conta a presença dos pilares através de molas nos apoios. Nesse caso cada pavimento é "independente" dos outros;
- b) Modelo VI: é analisado um pórtico completo, com lajes, vigas e pilares. Nesse caso não há transferência das forças da grelha para o pórtico.

Figura 9 - Modelos estruturais



Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA

3. METODOLOGIA

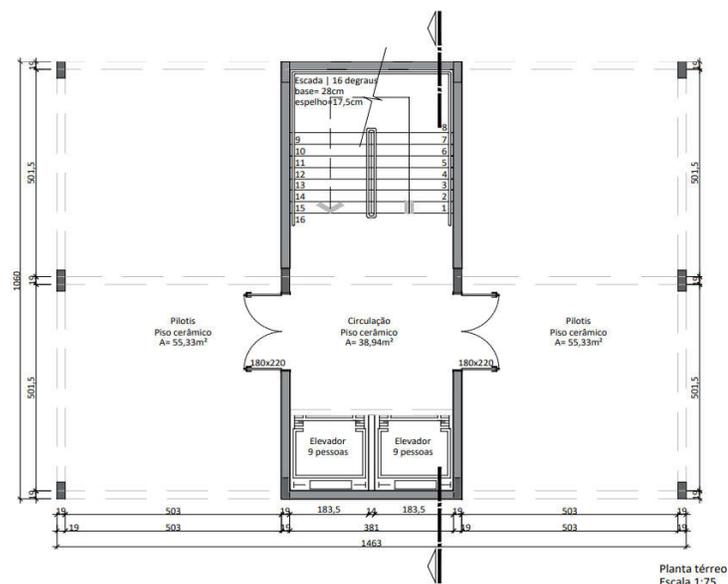
Para desenvolver o presente trabalho, foram dimensionados dois prédios para cada número de pavimentos escolhido (8, 12, 16, e 20 pavimentos) sendo um deles com, e o outro sem o uso dos coeficientes de redução da sobrecarga. Foram dimensionados e analisados, portanto, um total de oito edificações. A escolha de edifícios altos foi com o intuito de se obter maior efeito do uso dos coeficientes, pois existe um número maior de repetições de pavimentos.

Os edifícios foram modelados e analisados no programa TQS V22, e para isso utilizou-se uma versão educacional do programa cedida pela empresa TQS INFORMÁTICA para uso neste trabalho.

3.1. Edificações Analisadas

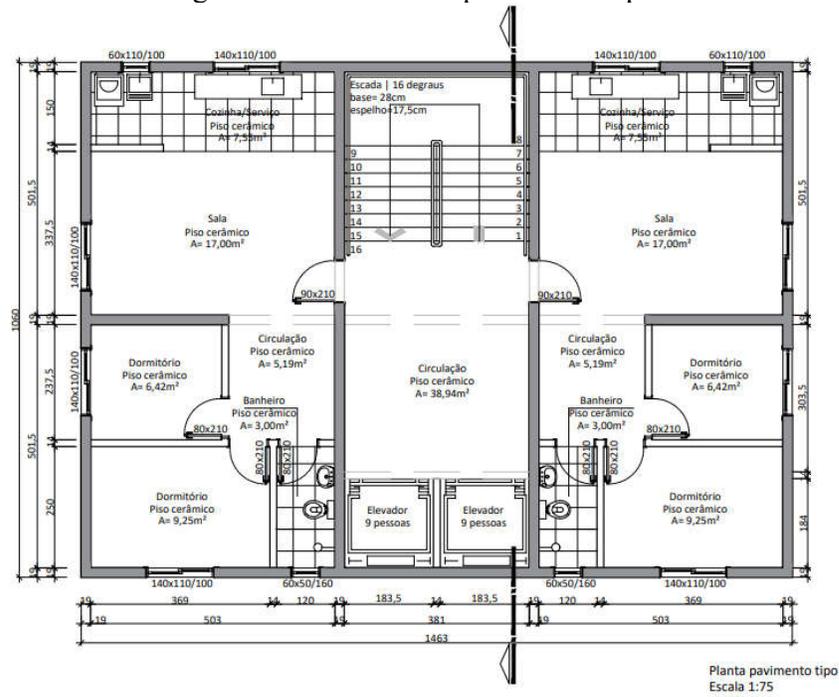
Foi escolhida a planta baixa de um edifício residencial multifamiliar de forma retangular, de dimensões em planta de 14,63 m x 10,60 m. Cada pavimento possui área total de 155,08 m², tendo plantas baixas diferentes para o térreo, pavimentos tipo e cobertura, conforme as Figuras 10, 11 e 12, respectivamente. O projeto arquitetônico utilizado foi desenvolvido pela Arq. Auriele Fogaça Cuti para ser utilizado na disciplina de Estruturas de Concreto, do curso de Engenharia Civil da UFSM, para fins acadêmicos.

Figura 10 - Planta baixa pavimento térreo



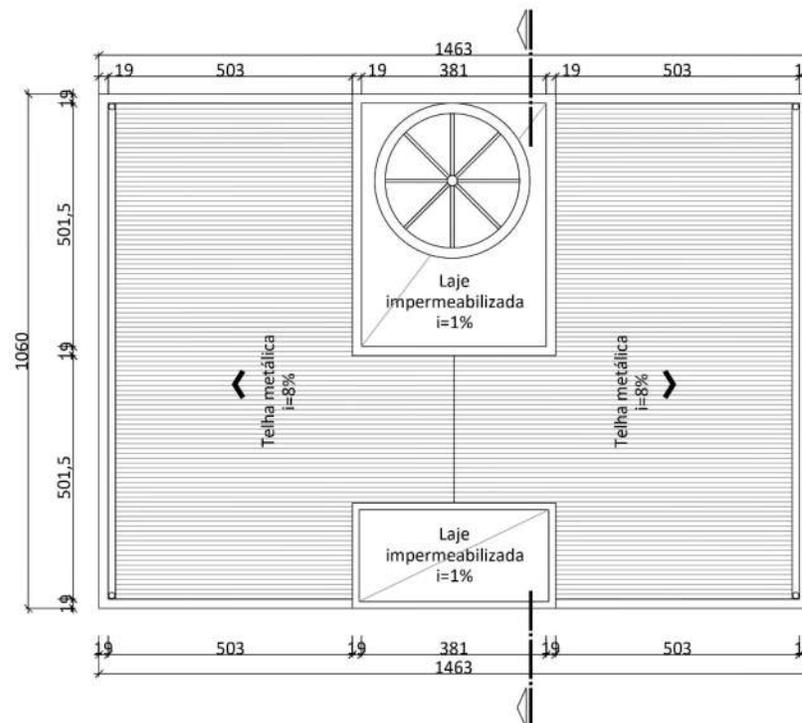
Fonte: Arq. Auriele Fogaça Cuti.

Figura 11 - Planta baixa pavimentos tipo.



Fonte: Arq. Auriele Fogaça Cuti.

Figura 12 - Planta baixa cobertura.



Fonte: Arq. Auriele Fogaça Cuti.

3.2 Materiais e Durabilidade

As edificações foram modeladas com vigas, pilares e lajes maciças em concreto armado, e suas fundações em bloco sobre estacas. O valor do f_{ck} dos elementos estruturais é diferente entre eles, sendo 30 MPa para vigas, lajes e fundações, e 35 MPa para os pilares. O uso de resistências maiores foi com o intuito de enrijecer os elementos da estrutura, pois tratam-se de edificações bastante esbeltas.

Os cobrimentos das armaduras foram definidos considerando a Classe de Agressividade Ambiental II (Moderada- Urbana) e de acordo com as recomendações da ABNT NBR 6118/2014, ou seja, o cobrimento das lajes foi considerado 2,0 cm e para vigas, fundações e pilares 2,5 cm. A Classe de Agressividade Ambiental II ainda recomenda um f_{ck} mínimo de 25 MPa, o que conforme o parágrafo anterior está respeitado.

3.3 Modelagem

A modelagem foi iniciada pela edificação de 8 pavimentos e para as demais edificações duplicou-se o mesmo modificando apenas o fator S_2 do vento conforme varia a dimensão vertical (aumenta o número de pavimentos) e fez-se o reprocessamento da estrutura para então dimensioná-la.

As seções transversais dos pilares são variáveis em cada um dos prédios, conforme aumenta o número de pavimentos optou-se por reduzir as dimensões dos pilares visando a economia de material.

As lajes foram consideradas iguais em todas as modelagens, com 10 cm de espessura, exceto a laje da escada onde foi utilizada uma espessura média (h_m) de 26,45 cm. No pavimento cobertura, na laje da casa de máquinas dos elevadores foi utilizada uma espessura de 20 cm.

As fundações, blocos sobre estacas, foram pré-dimensionadas no Modelador Estrutural do software TQS e após o processamento e análise da estrutura foi feito o seu dimensionamento final.

Considerou-se que o edifício será implantado na cidade de Porto Alegre/RS, principalmente pelo fato de o perfil de sondagem adquirido ser desta cidade (ver Anexo 1). O referido perfil de sondagem é o mesmo utilizado pelo autor na disciplina de Fundações “A” da Universidade Federal de Santa Maria, portanto, todos os dados de resistência das estacas e profundidade necessária de escavação já haviam sido calculados, sendo, portanto, adotados

também neste trabalho de pesquisa. As estacas serão do tipo escavada com lama bentonítica e suas capacidades de carga obtidas encontram-se no Anexo 2.

Para o cálculo das fundações foi considerado que as mesmas estariam articuladas no solo, a fim de não necessitar do cálculo dos valores do coeficiente de mola. Não foi considerado nas análises das edificações a interação solo-estrutura.

O método de cálculo utilizado para o dimensionamento dos blocos de fundação foi o desenvolvido em Fusco (2013) (ver Anexo 3). A distância entre estacas foi fixada em 3ϕ e sua profundidade é de 8 m. Os pilares formam uma ligação rígida com os blocos de concreto. Considerou-se também que cada estaca irá penetrar 5 cm do fundo do bloco de concreto.

É válido salientar que a edificação foi modelada até a laje de piso da cobertura e sem considerar o peso do reservatório superior que consta na planta baixa do pavimento em questão, porém considerando devidamente o peso da casa de máquinas do elevador neste pavimento. Além disso, não foi modelada a escada, no local apenas foi adotada uma laje com espessura média de 26,45 cm e atribuídas suas cargas permanente e acidental. No Apêndice A encontram-se as considerações de cargas utilizadas neste trabalho. A Figura 13 mostra a estrutura da edificação de 12 pavimentos.

Os valores para as ações verticais como cargas permanentes de paredes, revestimentos e sobrecargas na estrutura utilizados neste trabalho são normatizados pela ABNT NBR 6120/2019 e se encontram relacionados no Apêndice A. Salienta-se que o peso próprio da estrutura é automaticamente calculado pelo TQS, após informada suas dimensões.

O ponderador de ações γ_f utilizado foi 1,4 e os fatores de combinação (ψ_0) e redução (ψ_1 e ψ_2) para ações variáveis são, respectivamente, 0,5, 0,4 e 0,3, segundo a classe de cargas acidentais escolhida como: locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas.

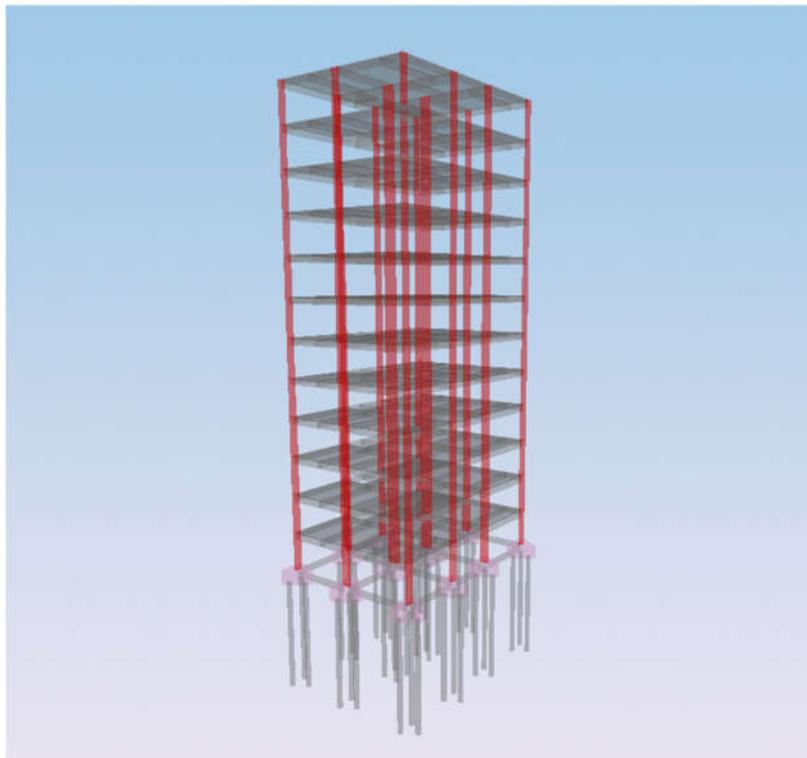
Para as cargas de vento seguiu-se as recomendações da ABNT NBR 6123/1988, sendo utilizada a velocidade básica (V_o) igual a 44 m/s para a região de Porto Alegre/RS. Os fatores S_1 (fator topográfico), S_2 (fator de rugosidade e dimensões da edificação) e S_3 (fator estatístico) adotados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2- Valores dos fatores de vento utilizados

Pavimentos	S1	S2	S3
8	1,0	III-B	1,0
12	1,0	III-B	1,0
16	1,0	III-B	1,0
20	1,0	III-C	1,0

Fonte: autora. Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.

Figura 13 - Vista espacial da estrutura da edificação de 12 pavimentos



Fonte: autora.

3.4 Análise Estrutural e Dimensionamento

Finalizada a etapa do lançamento da estrutura a mesma foi verificada de modo que atenda aos critérios de dimensionamento da ABNT NBR 6118/2014, tanto no Estado Limite Último (ELU), como no Estado Limite de Serviço (ELS). A estrutura é dimensionada para o ELU e depois é feita sua verificação para o ELS.

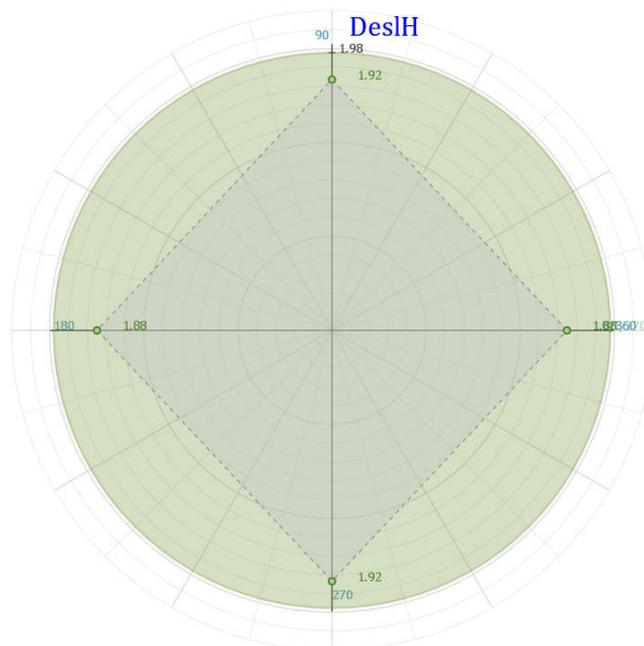
Após o pré-dimensionamento dos elementos estruturais foi feito o primeiro processamento global da estrutura no programa TQS e, a partir disso, se fez necessário a correção de alguns erros, tais como cargas elevadas na biela dos blocos de fundação, pilares

sem possibilidade de dimensionamento pelo fato da seção ser inferior a necessária para alocar as barras de ferro, deslocamentos altos no pórtico, etc. Com isso, após as correções, se fez novamente o processamento do edifício para verificar se os erros persistem ou não, até a sua completa correção para, por fim, se obter o dimensionamento final da estrutura.

No relatório de estabilidade global gerado pelo programa TQS foi possível fazer a verificação da estabilidade global do edifício, relacionada ao Estado Limite Último, onde encontram-se os parâmetros de estabilidade para todos os casos de vento. Todos os edifícios deste trabalho, pelo fato de terem um elevado número de pavimentos, foram habilitados para serem calculados via P- Δ , através do coeficiente RM2M1.

No processamento global foi possível verificar a estrutura para o Estado Limite de Serviço (ELS), ou seja, verificar as deformações excessivas (flechas), abertura de fissuras e deslocamentos horizontais máximos. A partir da geração da grelha não-linear, pôde-se obter os valores das flechas pela Combinação Quase Permanente (CQP) e também fazer a análise de abertura de fissuras pela Combinação Freqüente (CF). As Figuras 14 e 15 mostram, respectivamente, a verificação do ELS para os deslocamentos horizontais e verificação das flechas nas lajes do pavimento tipo para o edifício de 12 pavimentos.

Figura 14 - Deslocamentos horizontais no edifício de 12 pavimentos



Fonte: autora.

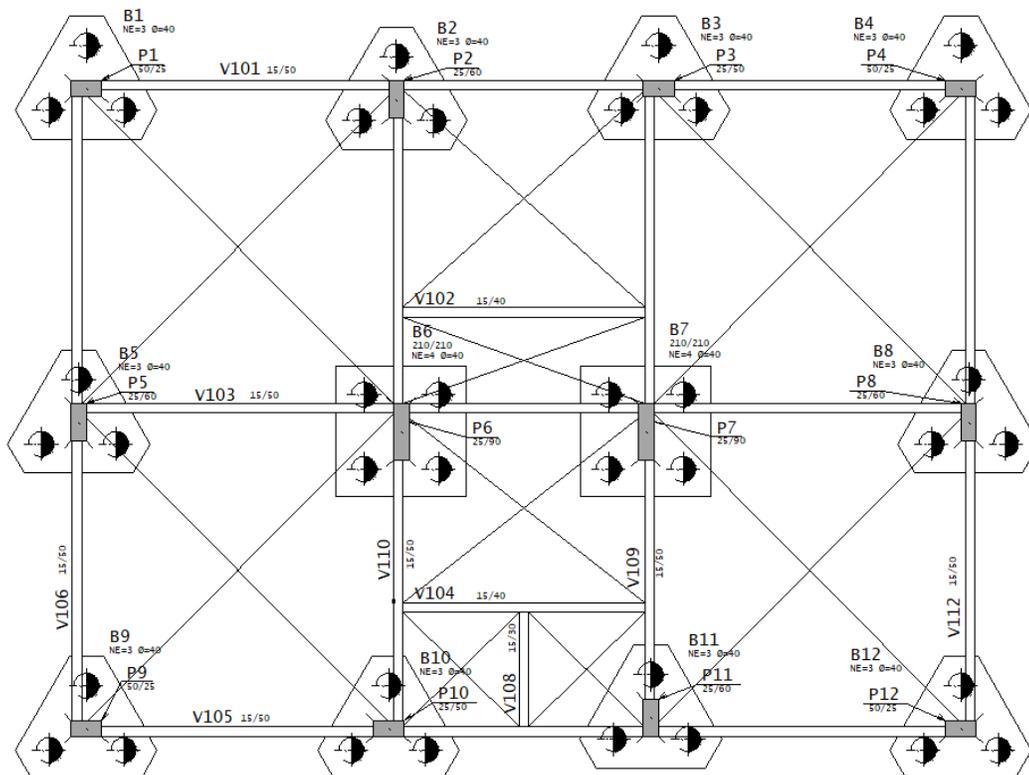
Figura 15 - Flecha nas lajes do pavimento tipo do edifício de 12 pavimentos

Laje	L (cm)	f (cm)	f lim. (cm)	Situação
L1	151.5	-0.38	0.61	Passou
L2	350.8	-0.32	1.40	Passou
L3	151.5	-0.46	0.61	Passou
L4	335	-0.67	1.34	Passou
L5	339	-0.75	1.36	Passou
L6	385	-0.34	1.54	Passou
L7	239	-0.78	0.96	Passou
L8	239.2	-0.72	0.96	Passou
L9	251.5	-0.79	1.01	Passou
L10	251.6	-0.74	1.01	Passou

Fonte: autora.

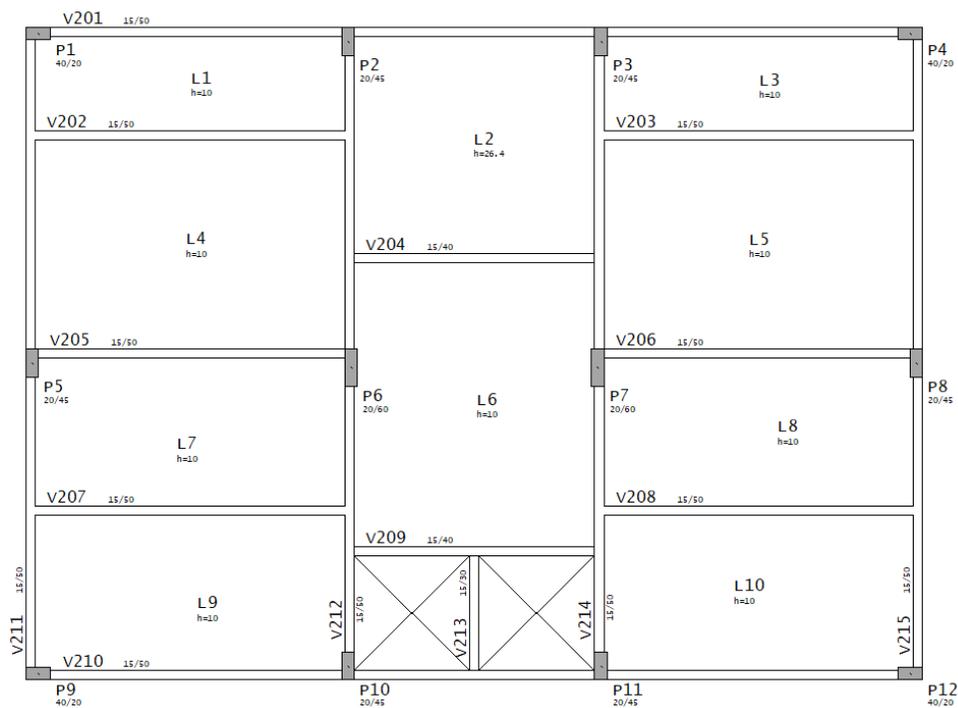
Com os resultados obtidos pelas análises dos Estados Limites para todos os elementos (vigas, lajes, pilares e blocos de fundação), realizou-se o dimensionamento de cada um deles, otimizando suas dimensões quando possível e respeitando os critérios de dimensionamento da ABNT NBR 6118/2014. Na Figura 16 encontra-se a localização dos blocos de fundação do edifício de 12 pavimentos. As Figuras 17, 18, 19 e 20 mostram pilares, lajes e vigas do primeiro pavimento tipo dimensionados para cada um dos edifícios (8, 12, 16 e 20 pavimentos).

Figura 16 - Localização das fundações do edifício de 12 pavimentos



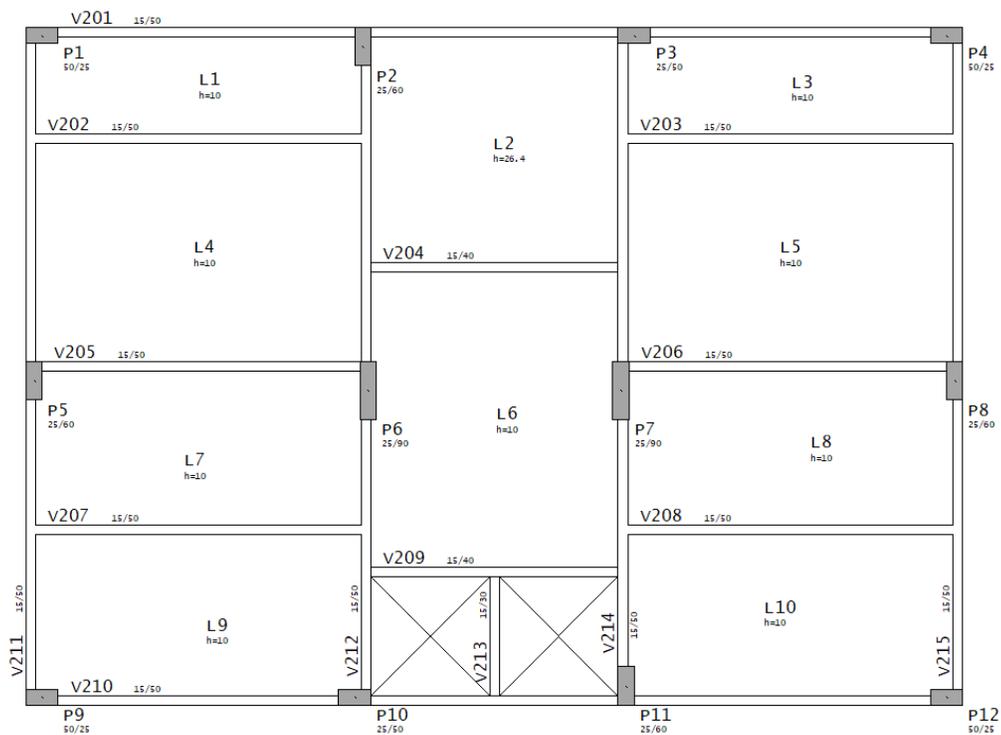
Fonte: autora.

Figura 17 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 8 pavimentos



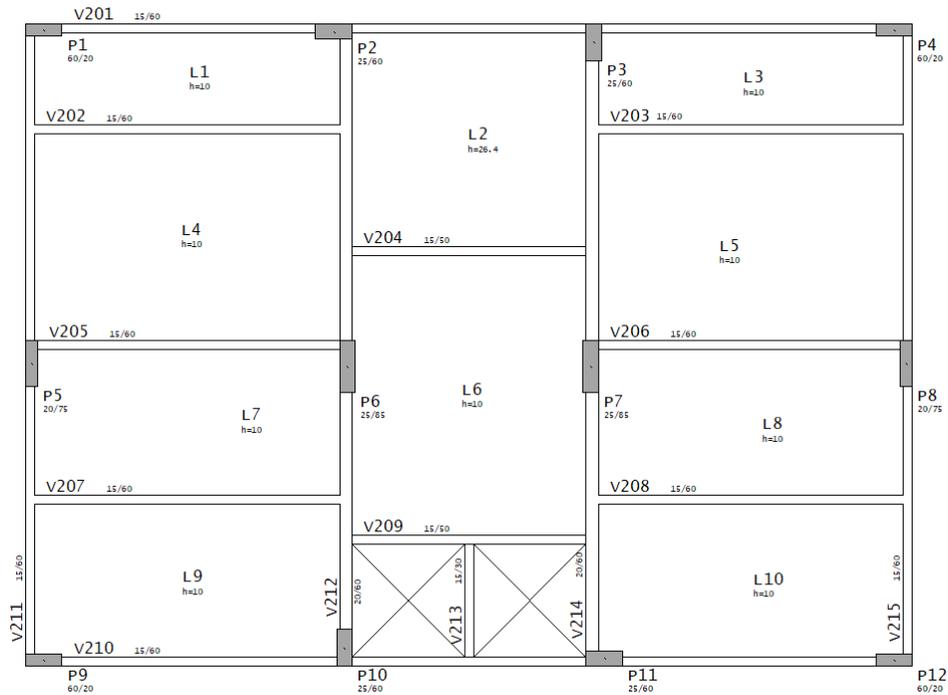
Fonte: autora.

Figura 18 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 12 pavimentos



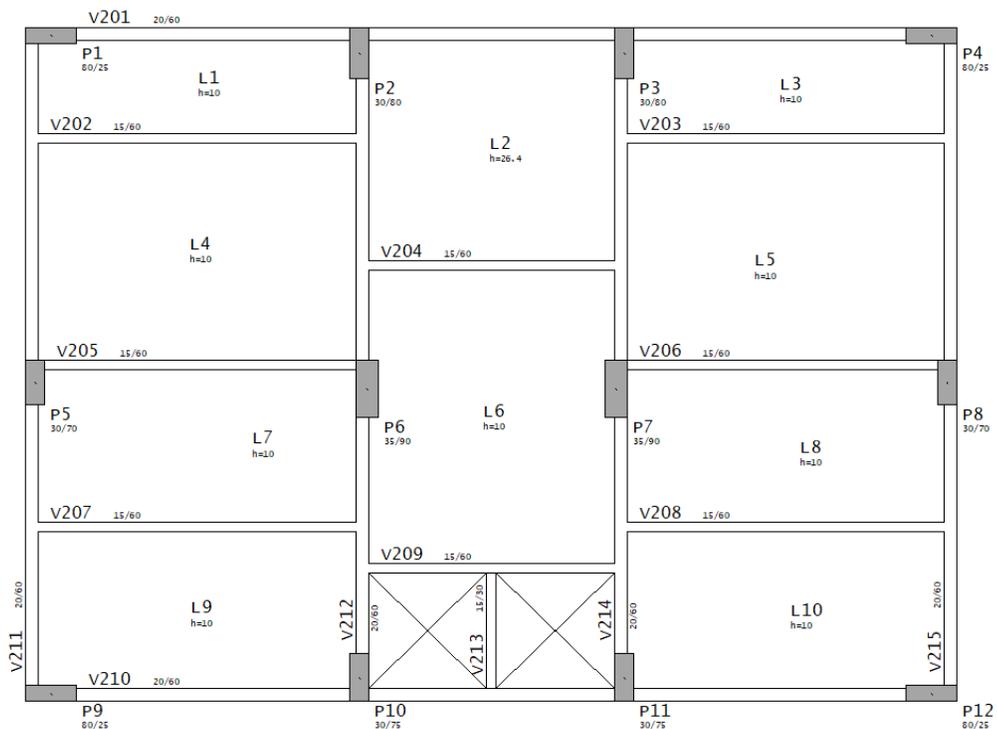
Fonte: autora.

Figura 19 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 16 pavimentos



Fonte: autora.

Figura 20 – Planta de formas do primeiro pavimento tipo do edifício de 20 pavimentos



Fonte: autora.

3.5 Aplicação dos Coeficientes de Redução de Cargas Variáveis

Nesta etapa foram impostos nas edificações os coeficientes multiplicadores de redução de cargas variáveis indicados pela ABNT NBR 6120/2019, em cada pavimento, para os quatro modelos de edifícios (8, 12, 16, e 20 pavimentos).

Cabe esclarecer que o coeficiente redutor não foi aplicado nos pavimentos cobertura e térreo. A cobertura, segundo a norma, é chamada de pavimento de cargas variáveis não redutíveis (c.v.n.r), o mesmo acontece com o térreo que é um pavimento formado por garagens.

No programa TQS foi habilitado para se fazer a redução de sobrecarga automaticamente e utilizando os valores padrões da ABNT NBR 6120/2019, porém na forma de porcentagem. A Figura 21 apresenta um layout das quatro edificações analisadas, com indicação da porcentagem de redução adotada em cada pavimento, conforme recomendado pela ABNT NBR 6120/2019.

Figura 21 - Porcentagem de redução adotada em cada pavimento

8 Cobertura c.v.n.r			12 Cobertura c.v.n.r			16 Cobertura c.v.n.r			20 Cobertura c.v.n.r		
7	Tipo	0%	11	Tipo	0%	15	Tipo	0%	19	Tipo	0%
6	Tipo	0%	10	Tipo	0%	14	Tipo	0%	18	Tipo	0%
5	Tipo	0%	9	Tipo	0%	13	Tipo	0%	17	Tipo	0%
4	Tipo	20%	8	Tipo	20%	12	Tipo	20%	16	Tipo	20%
3	Tipo	40%	7	Tipo	40%	11	Tipo	40%	15	Tipo	40%
2	Tipo	60%	6	Tipo	60%	10	Tipo	60%	14	Tipo	60%
1	Tipo	60%	5	Tipo	60%	9	Tipo	60%	13	Tipo	60%
0	Térreo	0%	4	Tipo	60%	8	Tipo	60%	12	Tipo	60%
			3	Tipo	60%	7	Tipo	60%	11	Tipo	60%
			2	Tipo	60%	6	Tipo	60%	10	Tipo	60%
			1	Tipo	60%	5	Tipo	60%	9	Tipo	60%
			0	Térreo	0%	4	Tipo	60%	8	Tipo	60%
						3	Tipo	60%	7	Tipo	60%
						2	Tipo	60%	6	Tipo	60%
						1	Tipo	60%	5	Tipo	60%
						0	Térreo	0%	4	Tipo	60%
									3	Tipo	60%
									2	Tipo	60%
									1	Tipo	60%
									0	Térreo	0%

Fonte: autora.

Após a inserção da redução nas edificações, se fez o processamento global da mesma a fim de verificá-la para os Estados Limites (ELU e ELS). A partir do processamento foram obtidas as cargas finais na estrutura para que seja feito seu dimensionamento final.

Vale salientar que as reduções foram impostas nos edifícios já previamente dimensionados, conforme o Item 3.4.

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Usando a metodologia descrita no Capítulo 3 foi possível obter uma conclusão com relação à influência do uso dos coeficientes redutores de cargas variáveis em uma edificação em concreto armado.

A partir dos resultados obtidos pelo programa TQS, nota-se que ao aplicar os coeficientes redutores houve a redução das cargas que chegam nas fundações dos edifícios. Observando as Figuras 22, 23, 24 e 25 tem-se que a carga média que chega na fundação se reduz em 6,13% no edifício de 20 pavimentos, 6,11% no edifício de 16 pavimentos, 5,74% na edificação com 12 pavimentos e 3,77% na edificação de 8 pavimentos. Nas Figuras o caso 16 representa uma combinação do ELU sem a aplicação da redução da carga acidental e o caso 25 a mesma combinação, porém com a aplicação da redução.

Embora exista a redução nas cargas que chegam nas fundações dos prédios, não houve redução significativa nas dimensões e na armadura dos blocos de fundação.

Figura 22 - Cargas nas fundações do edifício de 8 pavimentos

Elem	Caso 16	Caso 25
	Fz tf	Fz tf
B1	56.07	54.71
B2	117.87	113.41
B3	120.23	115.72
B4	55.45	54.14
B5	107.33	103.76
B6	169.64	160.75
B7	174.38	165.35
B8	106.48	103.02
B9	44.48	43.08
B10	83.78	81.58
B11	82.99	80.76
B12	44.00	42.65

Fonte: autora. Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.

Figura 23 - Cargas nas fundações do edifício de 12 pavimentos

Elem	Caso 16	Caso 25
	Fz tf	Fz tf
B1	101.90	98.39
B2	197.69	186.46
B3	172.44	162.83
B4	98.77	95.34
B5	164.09	155.82
B6	262.54	241.60
B7	290.05	268.12
B8	163.00	154.96
B9	60.82	57.69
B10	96.69	92.65
B11	103.97	99.16
B12	59.39	56.40

Fonte: autora. Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.

Figura 24 - Cargas nas fundações do edifício de 16 pavimentos

Elem	Caso 16	Caso 25
	Fz tf	Fz tf
B1	126.88	121.79
B2	251.69	237.20
B3	280.96	264.62
B4	134.20	128.85
B5	234.51	220.53
B6	388.42	360.91
B7	336.83	310.81
B8	235.59	221.41
B9	63.41	58.92
B10	107.00	101.39
B11	108.45	103.37
B12	66.08	61.52

Fonte: autora. Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.

Figura 25 - Cargas nas fundações do edifício de 20 pavimentos

Elem	Caso 16	Caso 25
	Fz tf	Fz tf
B1	208.77	201.26
B2	381.11	358.31
B3	380.09	357.16
B4	209.31	201.78
B5	299.60	281.94
B6	414.10	382.98
B7	415.42	384.08
B8	297.26	279.50
B9	92.16	85.39
B10	147.46	139.01
B11	148.93	140.50
B12	92.57	85.77

Fonte: autora. Adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.

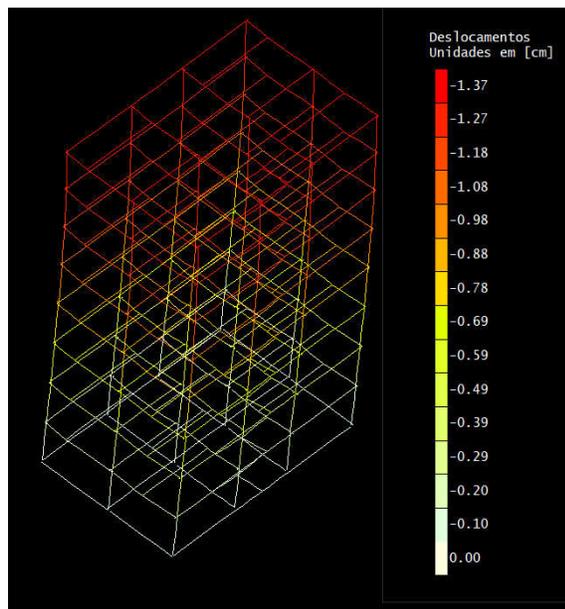
Em relação ao consumo de materiais, obteve-se uma influência média de 6% na redução no consumo do aço dos pilares para os prédios de 8, 12 e 16 pavimentos o que, para os valores atuais do material, significa uma considerável redução no custo final. As seções dos pilares foram mantidas mesmo após aplicadas as reduções, pois sua mudança, mesmo que pouca, interfere na estabilidade do edifício.

Para a edificação de 20 pavimentos, obteve-se pouca influência no consumo de aço dos pilares (na ordem de 1%), muito provavelmente influenciada pelo fato de ter uma elevada dimensão na vertical em relação as suas dimensões em planta baixa, o que induz a um elevado índice de esbeltez e maiores deslocamentos horizontais, podendo notar pelas Figura 26 e 27, que mostram os deslocamentos dos prédios de 12 e de 20 pavimentos, respectivamente, para o ELS. Nesse caso as seções também foram mantidas pelo mesmo motivo citado no parágrafo anterior.

Tratando-se dos esforços utilizados no dimensionamento dos pilares, foram analisados alguns relatórios de dimensionamento de pilares gerado pelo software para concluir se o TQS reduz apenas as cargas normais (N) ou também os momentos fletores (M). A Figura 28 mostra o diagrama de momento fletor no lance 5 do pilar P1 da edificação de 16 pavimentos (pilar de

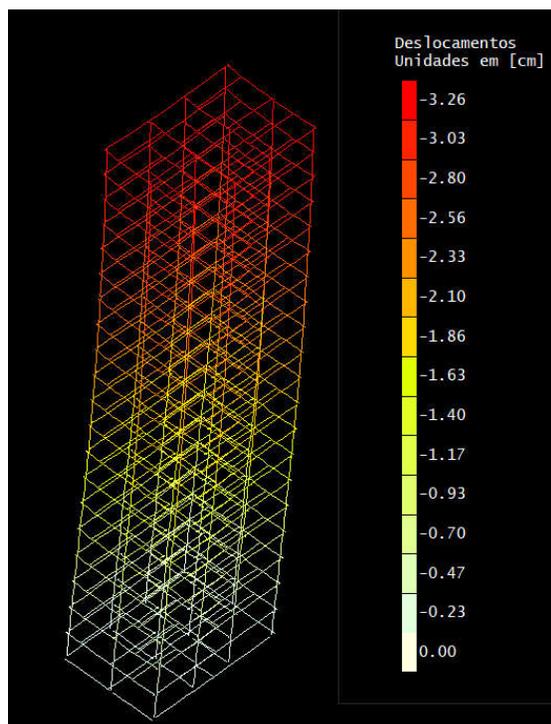
canto), com e sem a habilitação da redução e, a partir disso nota-se que o TQS dimensiona o elemento pelos momentos reduzidos.

Figura 26 - Deslocamentos no pórtico do edifício de 8 pavimentos



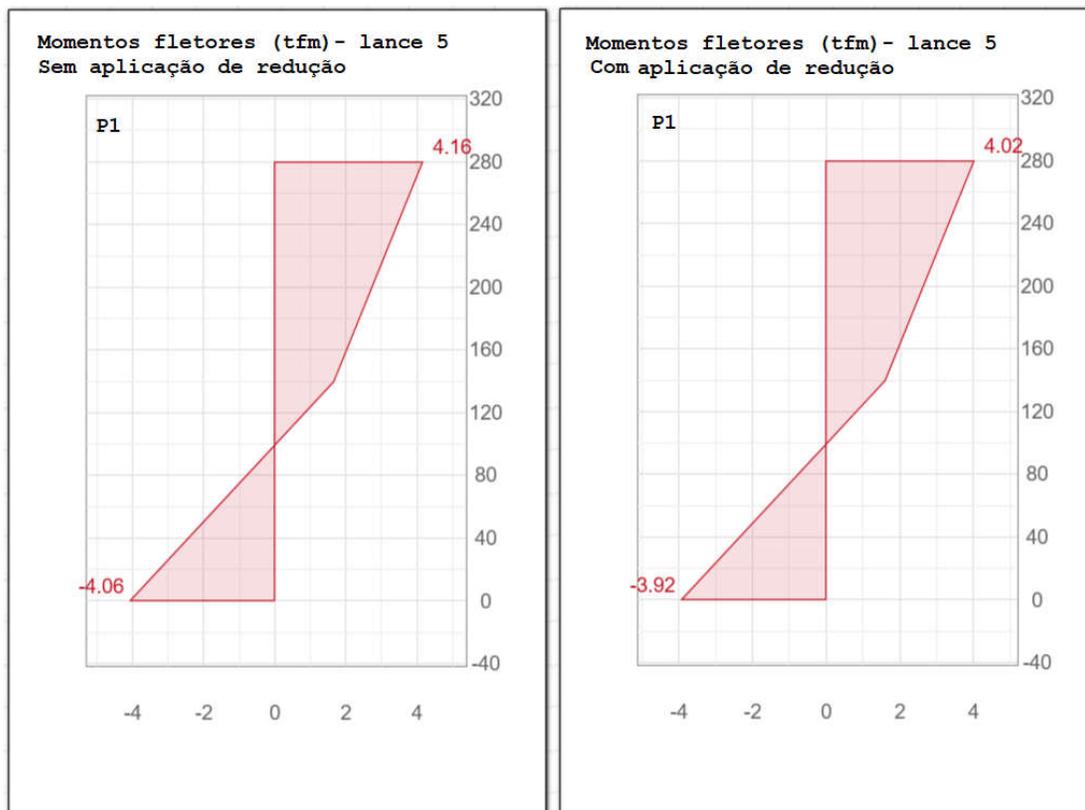
Fonte: autora.

Figura 27 - Deslocamentos no pórtico do edifício de 20 pavimentos



Fonte: autora.

Figura 28 - Momentos fletores no quinto lance do pilar P1



Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA.

Já para o dimensionamento das vigas, os esforços utilizados pelo programa foram integrais, tanto para a edificação em que não se habilitou as reduções de sobrecarga quanto para edificações com a redução habilitada, considerando justamente o que a ABNT NBR 6120/2019 expõe sobre o uso dos coeficientes. Por esse motivo as vigas se mantiveram com as seções iguais em todas as análises mesmo com a sobrecarga reduzida, ou seja, não houve redução de materiais para este elemento.

A grande esbelteza das edificações requer elementos estruturais mais robustos a fim de enrijecer a estrutura para que esteja dentro dos limites aceitos de deslocabilidade e estabilidade, fato este que teve consequência no dimensionamento da estrutura dos edifícios podendo, portanto, influenciar os resultados finais desta pesquisa.

O vento também foi um fator condicionante na obtenção dos resultados pelo fato de o edifício encontrar-se numa zona de ventos fortes (44 m/s), o que faz com que as ações horizontais na edificação sejam muito altas, maiores que as ações verticais de cargas permanentes e sobrecarga, necessitando, portanto, de uma estrutura bastante rígida para conter

esses esforços. A pouca quantidade de pilares nos edifícios pode também ser um fator de influência nos resultados, pois tendo poucos pilares para enrijecer a estrutura estes devem ser de grandes seções para suprir os esforços.

5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. Conclusão

O presente estudo propôs uma análise acerca da influência do uso dos coeficientes multiplicadores de cargas variáveis apresentados pela ABNT NBR 6120/2019 em uma edificação em concreto armado.

Depois de todos os elementos estruturais dimensionados para todas as edificações (8, 12, 16 e 20 pavimentos), com e sem a adoção da sobrecarga reduzida, foi possível fazer uma análise através dos resultados obtidos pelo software TQS em relação aos esforços e ao consumo de materiais.

Analisando os esforços concluiu-se que, para a geometria e disposição dos elementos estruturais utilizada e números de pavimentos adotados, a carga que chega nas fundações se reduz de forma mais significativa quanto maior for a altura da edificação. Por mais que exista a redução do esforço na fundação este não foi significativo para o dimensionamento do elemento, portanto a mesma não apresentou mudanças na seção e na taxa de armadura.

Tratando do consumo de materiais nos pilares, houve maior influência nos edifícios de 8, 12 e 16 pavimentos relacionada ao consumo de aço. Para a edificação de 20 pavimentos por mais que a carga reduziu mais que nas outras edificações, não se viu uma influência expressiva no consumo do aço, pois muito provavelmente a esbeltez da edificação pode ter influenciado os resultados do dimensionamento.

As vigas e lajes se mantiveram com seções e taxa de armadura iguais mesmo após a redução da sobrecarga, o que já era esperado, pois conforme a norma a redução das cargas variáveis influencia principalmente no dimensionamento de pilares e fundações.

Vale salientar que esta conclusão está baseada no edifício citado anteriormente, relativamente de poucos pilares, geometria retangular, e para os números de pavimentos escolhidos.

5.2. Sugestão para trabalhos futuros

Ao final deste trabalho deixa-se a sugestão de fazer a modelagem de um edifício com uma geometria diferente para os mesmos números de pavimentos adotados neste trabalho,

analisá-lo e dimensioná-lo como nesta pesquisa, com e sem o uso dos multiplicadores, para que se possa ter maior certeza acerca do resultado encontrado.

Outra sugestão interessante seria modificar o local da edificação para uma região em que a velocidade do vento é mais baixa, a fim de verificar a influência da força horizontal do vento no dimensionamento dos elementos e na estabilidade da edificação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AltoQi: **O efeito P-Delta nas estruturas de edifícios**. Ebook. 2016. Disponível em: < <https://maisengenharia.altoqi.com.br/wp-content/uploads/2016/08/Ebook-OEfeitoPDelta.pdf> >. Acesso em: 12 de agosto de 2021.

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **ASCE/SEI 7-10: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures**. Reston, VA, 2010.

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

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

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003**. 3 o Ed. São Carlos, 5o reimpressão: Editora EdUFSCar, 2013.

EN 1991-1-1 (2002). **Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings**.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado: Projeto estrutural de edifícios**. Apostila – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

Instituto de Engenharia. **Normas de Cargas, ABNT NBR 6120 – A evolução da revisão da norma**. 2018. Disponível em: < www.institutodeengenharia.org.br/site/2018/08/30/pos-evento-norma-de-cargas-abnt-nbr-6120-a-evolucao-da-revisao-da-norma/ >. Acesso em: 03 de agosto de 2021.

JÚNIOR, Davidson de Oliveira França. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO COM QUATRO PAVIMENTOS: ESTUDO DE CASO**

PARA DIFERENTES MODELOS ESTRUTURAIS. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2015.

LORENZON, Rodrigo Z. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS NORMAS BRASILEIRA E EUROPEIA NO DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2019

MARACAJÁ, A.L.C. **SOBRE OS PARÂMETROS DE INSTABILIDADE GLOBAL E RELAÇÕES ENTRE O ALFA E O GAMA-Z.** Trabalho de conclusão de curso - Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, 2020.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos.** 1 o Ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2010.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Manual do usuário: Dominando os sistemas CAD/TQS – análise estrutural.** TQS Informática, v. 3, São Paulo, 2009.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Sistema CAD-TQS – Suporte para o usuário.** São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://www.tqs.com.br/>> Acesso em: 15 de julho de 2021.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **TQSdocs.** São Paulo, 2014. Disponível em: < <http://docs.tqs.com.br/>>. Acesso em 20 de junho de 2021.

VALLE, Ângela do; ROVERE, Henriette Lebre La; Pillar, Nora Maria De Patta. **Apostila de análise estrutural I.** Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013. Disponível em: < <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/anc3a1lise-estrutural-i-apostila-de-ufsc.pdf>>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

VASCONCELOS, A. C. (1985). **Critérios para Dispensa de Consideração dos Efeitos de 2 a Ordem, in: Colóquio sobre Estabilidade Global das Estruturas de Concreto Armado.** IBRACON, São Paulo, SP.

APÊNDICE A – Cargas de paredes e lajes

Para simplificação dos cálculos dos carregamentos foi considerada uma dimensão média das vigas de 15x50cm. Todos os valores de pesos foram adotados conforme a ABNT NBR 6120/2019, para tijolo de vedação vazado com revestimento de 1,5cm por face. As aberturas não foram descontadas no peso da parede. Os valores da sobrecarga nas lajes foram adotados, também, conforme a norma de cargas ABNT NBR 6120/2019 segundo o tipo de uso específico de cada laje.

Figura 29 - Peso das paredes – dados

PESO DE PAREDES	
Dim. Tijolo (parede interna)=	0,14 m
Dim. Tijolo (parede externa)=	0,19 m
Revestimento parede=	0,015 m
Dim. Total parede interna=	0,17 m
Dim. Total parede externa=	0,22 m
Pé direito tipo=	2,80 m
Largura inicial Vigas=	0,15 m
Altura inicial Vigas=	0,50 m
Altura parede tipo=	2,30 m
Altura platibanda=	1,70 m
Espessura inicial Laje=	0,10 m
Peso tijolo 14+revest. =	1,70 kN/m ²
Peso tijolo 19+revest.=	2,00 kN/m ²

Conforme NBR6120/2019, considerando revestimento de 1,5cm por face

Fonte: autora.

Figura 30 - Peso das paredes

PAREDES EXTERNAS (pav térreo e tipos)	
Carga parede=	4,6 kN/m
	0,46 tf/m
PAREDES INTERNAS (pav térreo e tipos)	
Carga parede=	3,91 kN/m
	0,39 tf/m
PLATIBANDAS E PAREDE ELEVADOR	
Carga parede=	3,4 kN/m
	0,34 tf/m
PAREDES SOBRE LAJE (NÃO TEM VIGA EM CIMA)	
Carga parede=	4,59 kN/m
	0,46 tf/m

Fonte: autora.

Figura 31 - Lajes - dados

LAJES		
Considerações iniciais:		
$\gamma_{\text{conc.}}$	= 25	kN/m ³
$\gamma_{\text{arg. contrapiso}}$	= 21	kN/m ³
$\gamma_{\text{arg. forro}}$	= 19	kN/m ³
h contrapiso	= 0,025	m
h forro	= 0,02	m
Carga piso	= 0,20	kN/m ²
Carga telhado	= 0,40	kN/m ²

Fonte: autora.

Figura 32 - Cargas nas lajes

Cargas nas lajes do pavimento tipo:		
Permanentes (g):		
PPcontrapiso	= 0,525	kN/m ²
PPforro	= 0,38	kN/m ²
Piso	= 0,20	kN/m ²
Carga permanente total	= 1,11	kN/m ²
	= 0,11	tf/m ²
Sobrecargas por uso (q):		
Dormitório	= 1,50	kN/m ² 0,15 tf/m²
Sala	= 1,50	kN/m ² 0,15 tf/m²
Cozinha	= 1,50	kN/m ² 0,15 tf/m²
Banheiro	= 1,50	kN/m ² 0,15 tf/m²
Circulação	= 1,50	kN/m ² 0,15 tf/m²
Corredor uso comum	= 3,00	kN/m ² 0,3 tf/m²
Lavanderia	= 2,00	kN/m ² 0,2 tf/m²
Cargas nas lajes do pavimento cobertura :		
Permanentes (g):		
PPforro	= 0,38	kN/m ²
Telhado	= 0,40	kN/m ²
Carga permanente total	= 0,78	kN/m ²
	= 0,08	tf/m ²
Sobrecargas por uso (q):		
Acesso apenas para manutenção	= 1,00	kN/m ² 0,1 tf/m²
Cargas na laje da casa de máquinas do elevador:		
Permanentes (g):		
PPforro	= 0,38	kN/m ²
PElevador	= 2,97	kN/m ²
Carga permanente total	= 3,35	kN/m ²
	= 0,33	tf/m ²
Sobrecargas por uso (q):		
Elevador	= 30	kN/m ² 3,00 tf/m²

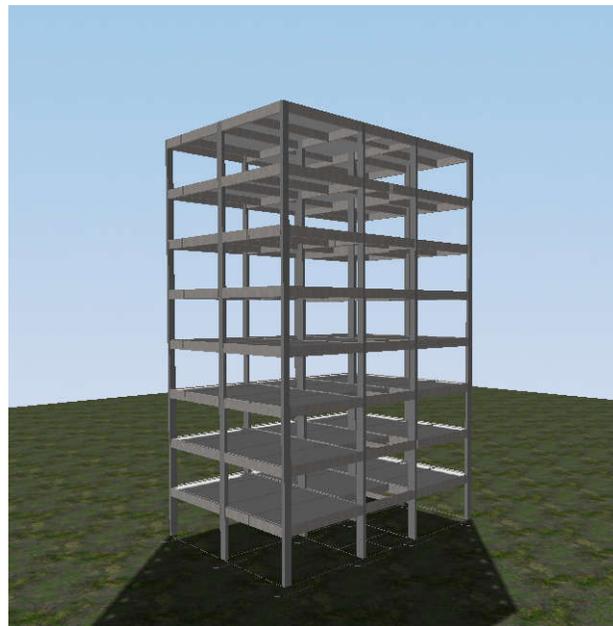
Fonte: autora.

Figura 33- Cargas na laje da escada

Cargas na laje da escada (Hm=26,45cm):				
Permanentes (g):				
PPcontrapiso=	0,525	kN/m ²		
PPforro=	0,38	kN/m ²		
Piso=	0,20	kN/m ²		
Carga permanente total=	1,11	kN/m²		
	0,11	tf/m²		
Sobrecargas por uso (q):				
Escada com acesso ao público=	3,00	kN/m ²	0,3	tf/m²

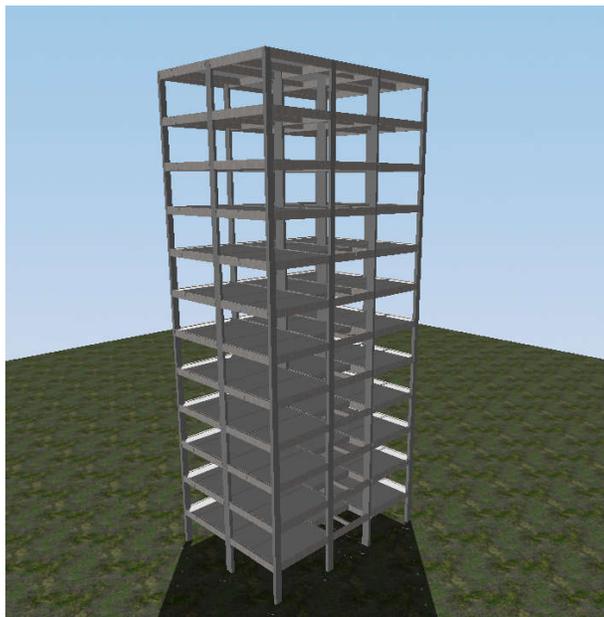
Fonte: autora.

Figura 34 - Vista espacial do edifício de 8 pavimentos



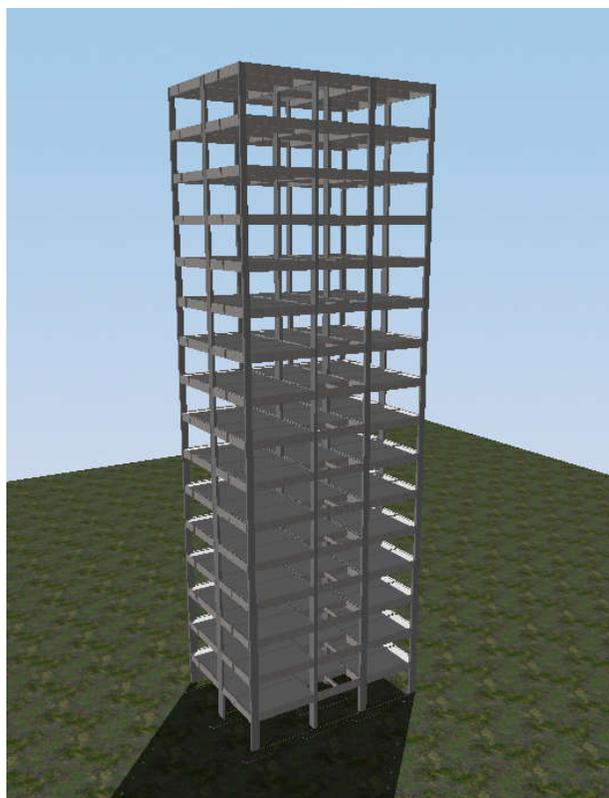
Fonte: autora.

Figura 35 - Vista espacial do edifício de 12 pavimentos



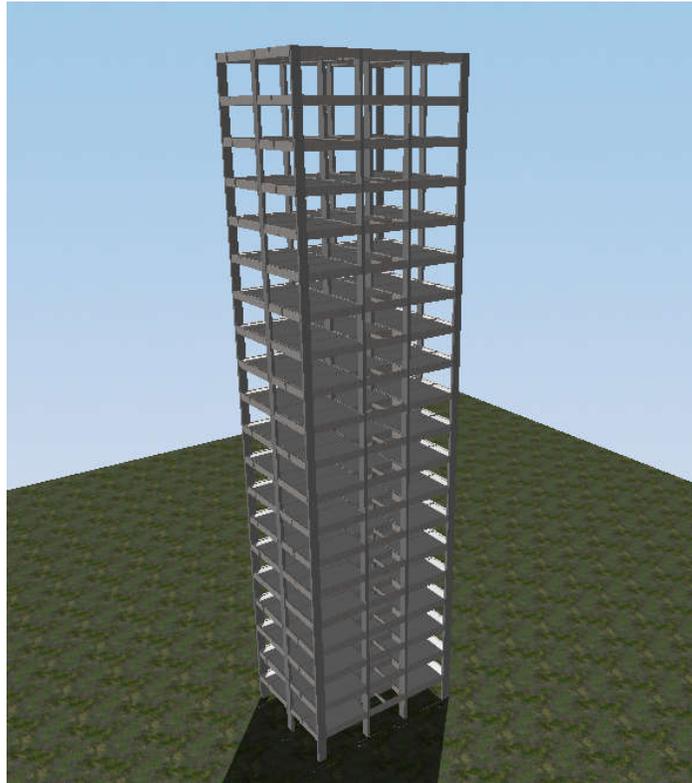
Fonte: autora.

Figura 36 - Vista espacial do edifício de 16 pavimentos



Fonte: autora.

Figura 37 - Vista espacial do edifício de 20 pavimentos



Fonte: autora.

Anexo 2 - Capacidade carga das estacas conforme o diâmetro adotado

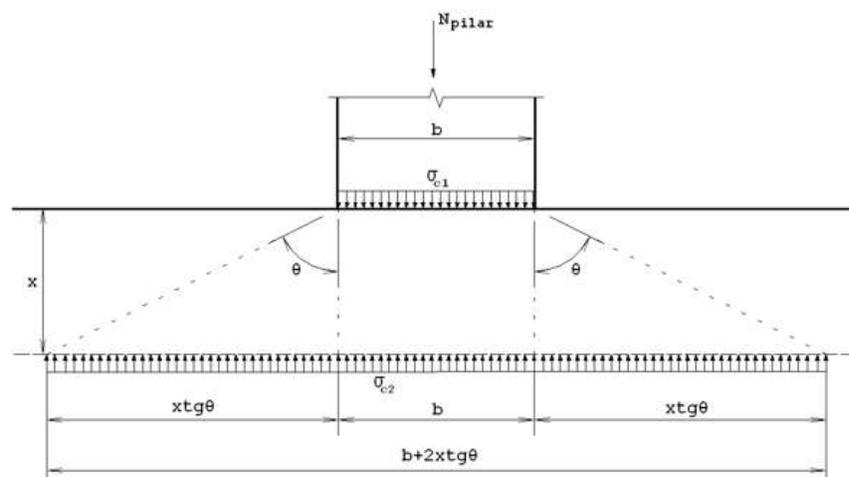
Diametro (cm)	Cap. Carga (tf)
40	80.00
60	140.00
80	210.00
30	45.00

Adicionar Remove

Fonte: TQS INFORMÁTICA LTDA.

Anexo 3 - Método de Fusco (2013)

Nessa verificação, a tensão é analisada em uma área ampliada situada à profundidade X da face superior do bloco, considerando que, a partir dessa profundidade, apenas o concreto passa a resistir às tensões resultantes dos esforços transmitidos ao bloco. No cálculo da profundidade X são levadas em consideração as dimensões do pilar e a taxa geométrica de armadura de arranque do pilar (ρ). Deve-se adotar um valor médio para esta taxa geométrica para todos os pilares dentre os valores listados. Também é necessário definir o ângulo de espraio das bielas de compressão (θ), variando dentro da faixa de 45° a 64° . A tensão normal na área ampliada é calculada a partir de uma força normal equivalente que considera os efeitos dos momentos transmitidos ao bloco. Nesse caso, para que o bloco seja considerado seguro quanto tensão nas bielas de compressão, a tensão à profundidade X (σ_{c2}) deve ser inferior a 20% da resistência à compressão de cálculo do concreto (f_{cd}).



Fonte: adaptado de TQS INFORMÁTICA LTDA.