



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PAULA GIOVANNA PIMENTA SOUZA**

# **INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO NO IMPACTO DO CUSTO EM ESTRUTURAS DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE CASO**

**Uberlândia, 2020.**

**PAULA GIOVANNA PIMENTA SOUZA**

**INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO NO IMPACTO  
DO CUSTO EM ESTRUTURAS DE PEQUENO PORTE – ESTUDO  
DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Uberlândia como pré-  
requisito para obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Civil sob orientação da Professora  
Vanessa Cristina de Castilho.

**Uberlândia, 2020.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares por terem me apoiado neste percurso, principalmente a minha mãe Aparecida e a minha avó Maria, por todo o carinho e apoio emocional, o que foi meu suporte para finalizar esta etapa em minha vida.

Ressalto minha eterna gratidão a engenheira Adriana Patrícia, uma grande amiga, que com seus conhecimentos e experiência com o *software* TQS, aliados à sua didática, me forneceu auxílio e sanou todas as minhas dúvidas ao decorrer do processamento deste projeto estudo. Sem seu amparo, me faltaria recursos para conclusão deste estudo, obrigada pelo seu tempo dedicado a mim, paciência e carinho.

Também, registro meus agradecimentos aos meus companheiros de apartamento Bruna, Erval e Isabela, que além de grandes amigos, estiveram presentes ao meu lado durante esse trajeto sempre me motivando emocionalmente a vencer cada obstáculo que surgiu ao longo do caminho, não me deixando desistir desta jornada.

Por fim, meu imenso agradecimento a Professora Vanessa que me auxiliou, me proporcionou recursos e alternativas nos momentos difíceis enfrentados em um ano de pandemia. Além de sua presteza e carinho em todos os momentos que mantivemos contato, mesmo sendo boa parte virtual.

## RESUMO

Com o advento dos estudos das estruturas na engenharia civil desencadeou-se diversas opções construtivas na área de concreto armado, as quais proporcionaram a execução de edificações mais esbeltas, mantendo a segurança e a economia. No presente estudo foi analisado o comportamento de uma estrutura de pequeno porte, com relação a alteração da resistência do concreto para os elementos de concreto. Foram avaliados 3 casos, de 25MPa, 35MPa e 50MPa e todos foram dimensionados com o auxílio do *software* TQS 22.1 versão estudante, o qual restringiu o estudo às permissões impostas pela versão. Foram avaliados em todos os casos, os efeitos dos parâmetros de estabilidade global e o comportamento das flechas nas lajes. Por fim, foi possível concluir que o caso de 35MPa foi o mais favorável no quesito econômico, levando em consideração a segurança da edificação, visto que todos os resultados foram executados conforme as recomendações da ABNT NBR 6118: 2014.

**Palavras-chave:** resistência característica do concreto – estruturas de concreto – elementos estruturais – lajes maciças – flechas

## Lista de Figuras

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Concreto simples versus concreto armado.....                                 | 11 |
| Figura 2 - Classificação dos tipos de bordos de uma laje.....                           | 14 |
| Figura 3 - Ilustração de elementos de contraventamento e elementos contraventados ..... | 15 |
| Figura 4 - Croqui do pavimento tipo .....                                               | 16 |
| Figura 5 - Alturas estimadas.....                                                       | 19 |
| Figura 6 - Posicionamento dos pilares no pavimento fundação .....                       | 20 |
| Figura 7 - Perfil da escada .....                                                       | 21 |
| Figura 8 – Edificação após lançamento estrutural.....                                   | 22 |
| Figura 9 - Gráfico do orçamento final de insumos.....                                   | 34 |
| Figura 10 - Consumo por tipo de material nos casos em lajes maciças .....               | 35 |
| Figura 11 - Variação das flechas na laje L3 nos casos 25-M, 35-M e 50-M.....            | 37 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Coeficientes de majoração para pilares com dimensão inferior à 19 cm ..... | 12 |
| Tabela 2 - Medidas gerais do edifício .....                                           | 18 |
| Tabela 3 - Coeficiente de arrasto e pressão exercida na edificação .....              | 18 |
| Tabela 4 - Dimensões dos pilares no Caso 25-M .....                                   | 23 |
| Tabela 5 - Dimensões das vigas no Caso 25-M.....                                      | 23 |
| Tabela 6 - Dimensões das lajes no Caso 25-M.....                                      | 24 |
| Tabela 7 - Consumo de material por elemento estrutural – Caso 25-M.....               | 24 |
| Tabela 8- Consumo de material por pavimento e orçamento final – Caso 25-M.....        | 25 |
| Tabela 9 - Parâmetros de instabilidade – Caso 25-M.....                               | 25 |
| Tabela 10 - Relatório de flechas pelo método linear e não-linear – Caso 25-M.....     | 26 |
| Tabela 11 - Dimensões dos Pilares no Caso 35-M.....                                   | 26 |
| Tabela 12 - Dimensões das vigas no Caso 35-M .....                                    | 27 |
| Tabela 13 - Dimensões da laje no Caso 35-M.....                                       | 28 |
| Tabela 14 - Consumo de material por elemento estrutural – Caso 35-M.....              | 28 |
| Tabela 15 - Orçamento final – Caso 35-M.....                                          | 29 |
| Tabela 16 - Parâmetros de instabilidade – Caso 35-M.....                              | 29 |
| Tabela 17 - Análise de flechas – Caso 35-M.....                                       | 29 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 18 - Dimensões dos pilares no Caso 50-M .....                              | 30 |
| Tabela 19- Dimensões das vigas no Caso 50-M.....                                  | 31 |
| Tabela 20 - Dimensões das lajes no Caso 50-M.....                                 | 31 |
| Tabela 21 - Consumo de materiais no Caso 50-M .....                               | 32 |
| Tabela 22 - Custos totais para – Caso 50-M.....                                   | 32 |
| Tabela 23 - parâmetros de instabilidade para Caso 50-M .....                      | 33 |
| Tabela 24 -Relatório de flechas pelo método linear e não-linear – Caso 50-M ..... | 33 |
| Tabela 25 – Resumo de custo para as análises .....                                | 34 |
| Tabela 26 - Resumo dos parâmetros de estabilidade dos casos analisados.....       | 36 |

## SUMÁRIO

|       |                                                                                |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | INTRODUÇÃO.....                                                                | 9  |
| 1.1   | Objetivo .....                                                                 | 9  |
| 1.2   | Metodologia .....                                                              | 9  |
| 2     | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                                     | 10 |
| 2.1   | Concreto armado .....                                                          | 10 |
| 2.1.1 | Vantagens do concreto armado.....                                              | 11 |
| 2.2   | Pilares.....                                                                   | 11 |
| 2.3   | Lajes.....                                                                     | 13 |
| 2.3.1 | Lajes Maciças .....                                                            | 13 |
| 2.4   | Ações do vento.....                                                            | 14 |
| 2.5   | O Concreto de Alto Desempenho em comparativo com o concreto convencional ..... | 15 |
| 3     | ESTUDO DE CASO .....                                                           | 16 |
| 3.1   | Dados gerais do edifício .....                                                 | 17 |
| 3.1.1 | Força de vento .....                                                           | 18 |
| 3.1.2 | Cobrimentos nominais.....                                                      | 19 |
| 3.1.3 | Lançamento dos Pilares e Vigas.....                                            | 19 |
| 3.1.4 | Lançamento da escada.....                                                      | 20 |
| 3.1.5 | Lançamento do carregamento .....                                               | 21 |
| 3.2   | Resultados obtidos .....                                                       | 22 |
| 3.2.1 | Caso 25-M.....                                                                 | 22 |
| 3.2.3 | Caso 35-M.....                                                                 | 26 |
| 3.2.5 | Caso 50-M.....                                                                 | 30 |
| 3.3   | Análise dos resultados .....                                                   | 33 |
| 3.3.1 | Análise de consumo de material e custos finais.....                            | 33 |
| 3.3.2 | Análise dos parâmetros Gama Z .....                                            | 36 |
| 3.4   | Análise das flechas.....                                                       | 36 |

|   |                                                  |    |
|---|--------------------------------------------------|----|
| 4 | CONCLUSÃO .....                                  | 37 |
|   | REFERÊNCIAS .....                                | 39 |
|   | ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO.....    | 40 |
|   | ANEXO B – CORTE AA E CORTE BB DA EDIFICAÇÃO..... | 41 |
|   | ANEXO C – CORTE CC DA EDIFICAÇÃO .....           | 42 |

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país que possui um histórico, na construção civil, com obras voltadas preponderante para estruturas em concreto armado, o que o torna um grande precursor de desenvolvimento de técnicas e tecnologias direcionados para aplicação desse material em elementos estruturais. Dessa forma, o aperfeiçoamento dos métodos construtivos, dos materiais e dos *softwares* trazem à engenharia estrutural resultados mais seguros, econômicos e de alta qualidade.

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem por objetivo analisar o comportamento de uma edificação de pequeno porte considerando a alteração da resistência do concreto nos pilares e vigas e lajes, com o intuito de realizar uma análise geral na edificação em estudo.

O estudo realizado, neste Trabalho de conclusão de curso, teve como auxílio o *software* TQS, programa desenvolvido por engenheiros civis brasileiros, que traz soluções importantes, com ferramentas didáticas, para elaboração de projetos estruturais e de fundação. Também, foram utilizados dispositivos do *software* de *design* AutoCAD para preparação da planta arquitetônica, deixando-a propícia para lançamento no programa TQS.

Dessa forma, este estudo tem como intuito compreender o comportamento estrutural e econômico da variação da resistência característica do concreto em lajes, vigas e pilares para uma edificação de pequeno porte. Além disso, tem o propósito de avaliar os benéficos positivos para economia de material e aumento da segurança estrutural.

## 1.1 Objetivo

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo avaliar o comportamento estrutural e econômico da alteração da resistência do concreto em lajes, vigas e pilares de uma estrutura de pequeno porte. Tal estudo, busca uma análise crítica dos efeitos gerados e possíveis contribuições positivas que podem acarretar para o dimensionamento de elementos estruturais em edificação residencial de pequeno porte.

## 1.2 Metodologia

Este trabalho visa realizar uma análise comparativa sobre os efeitos obtidos com variação da resistência do concreto armado nas seções dos pilares, vigas e lajes de uma edificação de cinco

pavimentos. O projeto arquitetônico da edificação foi cedido gentilmente, pelo engenheiro Marcelo Buiate, que possui um escritório de cálculo estrutural localizado na cidade de Uberlândia-MG.

Toda a edificação foi lançada no programa computacional TQS versão 22.1 Estudante. Deve-se ressaltar que, por se tratar de uma versão limitada, tornou-se necessária a adoção de algumas simplificações para viabilizar o estudo da estrutura. Dessa forma, não foi possível introduzir a casa de máquinas do sistema de elevador por ultrapassar o número de pavimentos permitidos na versão do programa.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste trabalho, para melhor compreensão, serão detalhados alguns conceitos sobre o material concreto, dimensionamento de pilares, lajes maciças, ações do vento e demais parâmetros necessários para análise do desempenho do concreto armado.

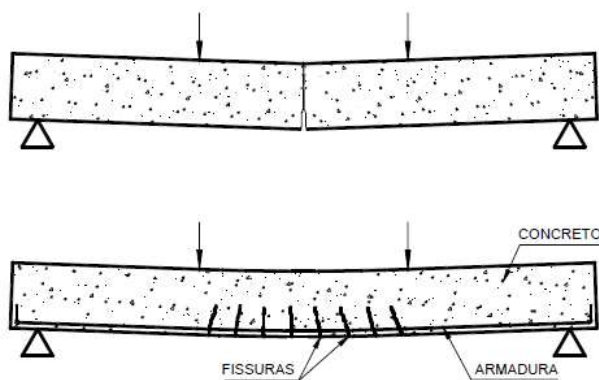
### **2.1 Concreto armado**

O concreto é composto por Cimento Portland, água e agregados finos e graúdos. Assim, a junção destes materiais forma o concreto simples, pois não possui armadura.

O cimento Portland é um material formado por calcário e argila e possui uma propriedade química que o torna essencial à construção civil, quando em contato com a água este insumo se enrijece e transforma-se em uma mistura rígida e altamente resistente à compressão, uma reação sem volta. Assim, essa união trouxe uma revolução ao campo da engenharia civil viabilizando a rotina da construção civil com as diversas vantagens que o concreto possui. No entanto, há uma grande desvantagem no concreto, o fato de possuir baixíssima resistência à tração era, ainda, um obstáculo e restringia bastante sua utilização. Dessa forma, na busca de aprimoramento de tal matéria-prima, por volta de 1852 foram desenvolvidas as primeiras peças de concreto armado, caracterizado pela adição de barras de aço no material em sua fase pastosa, o que trouxe à resistência à tração até então ausente. A Figura 1 ilustra os benefícios adquiridos pela inserção do aço no concreto.

Contudo, o ganho de resistência à tração só foi possível devido ao fenômeno da aderência entre o material aço e concreto. Ambos resistem em conjunto às forças solicitantes, pois têm coeficientes de dilatação térmica muito similares.

Figura 1- Concreto simples versus concreto armado



Fonte: BASTOS (2016)

Todavia, a armadura inserida no concreto não pode ficar exposta em contato direto com o ar, pois esta entra em processo de oxidação o que acarreta a diminuição de seção transversal e perda de suas propriedades de resistência. Assim, durante o processo construtivo as armaduras são dispostas de forma que ficam recobertas por uma camada de concreto, com espessura variável conforme indicação normativa, chamada de cobrimento nominal.

### 2.1.1 Vantagens do concreto armado

O material concreto tornou-se difundido pelo mundo por apresentar diversas vantagens construtivas, de tal forma que, no Brasil, é o meio construtivo mais utilizado.

O concreto é acessível economicamente e de fácil adaptação a diversos *designs* arquitetônicos, pois se acomoda em fôrmas sem sua fase pastosa e se enrije tomando seus formatos. Também, é um material altamente resistente à fogo, diferente das estruturas de madeiras que apresentam essa desvantagem. Além disso, é um material altamente resistente às ações externas, como choques mecânicos e vibrações, o que o leva a ser de alta durabilidade.

## 2.2 Pilares

Os pilares são elementos de demasiada importância para sustentação de uma edificação, pois fazem a intermediação de transmissão de esforços dos níveis superiores até a fundação e da

fundação para o solo. Tais elementos, em sua arquitetura mais comum, são lineares e dispostos na direção vertical. Estas peças estruturais são, preponderantemente, solicitadas por forças normais de compressão.

Com os variados avanços tecnológicos empregados nessa área, cada vez é possível a construção de pilares mais esbeltos viabilizados pelo aumento da resistência do concreto e aplicação de estudos dos efeitos de 2ª ordem.

O elemento estrutural pórtico é formado pela junção de pilares com vigas, assim cria-se uma unidade resistente a forças horizontais e verticais assegurando a estabilidade global da estrutura.

A seção transversal do pilar deve atender requisitos mínimos, dispostos na ABNT NBR 6118: 2014, para reforçar a segurança e resguardar a estrutura do fenômeno de flambagem, o qual ocorre em peças esbeltas, como os pilares, onde acarreta o encurvamento lateral do elemento quando submetido à compressão axial.

De acordo com as especificações normativas, ABNT NBR 6118: 2014, os pilares devem, no mínimo, possuir comprimento da seção transversal de 19 cm, independentemente do tamanho da edificação. No entanto, permite-se em caso excepcionais, dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que os esforços solicitantes sejam majorados por coeficientes adicionais, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficientes de majoração para pilares com dimensão inferior à 19 cm

| $b$<br>cm                                                                                                                                                                                                                                  | $\geq 19$ | 18   | 17   | 16   | 15   | 14   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| $\gamma_n$                                                                                                                                                                                                                                 | 1,00      | 1,05 | 1,10 | 1,15 | 1,20 | 1,25 |
| onde<br>$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$ ;<br>$b$ é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).<br>NOTA O coeficiente $\gamma_n$ deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo quando de seu dimensionamento. |           |      |      |      |      |      |

Fonte: ABNT NBR 6118: 2014

Ressalva-se ainda, que em qualquer caso de construção, para efeito de maior segurança no dimensionamento da estrutura, todos os pilares da edificação devem possuir área mínima, da seção transversal, de 360 cm² de acordo com a ABNT NBR 6118: 2014.

## 2.3 Lajes

As lajes são estruturas planas, as quais se apoiam sobre as vigas e estas sobre os pilares. As lajes são solicitadas, preponderantemente, por forças perpendiculares ao seu plano, sendo estas forças cargas acidentais e permanentes. Sua principal função é receber esses esforços e posteriormente transferi-los aos apoios.

Neste estudo, será avaliado o efeito estrutural devido à laje maciça e laje nervurada.

### 2.3.1 Lajes Maciças

As lajes maciças possuem espessuras variadas conforme indicação normativa, podendo variar entres 7 e 16 cm, de acordo com as especificações abaixo determinadas pela ABNT NBR 6118: 2014,

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportam veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $l/42$  para lajes de piso e  $bi$  apoiadas e  $l/50$  para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelos, fora do capitel.

Para determinação do tipo de classificação, ou seja, se a laje será armada em uma direção ou nas duas direções de seus vãos, faz-se um levantamento do vão teórico nas direções  $x$  e  $y$ , sendo  $x$  no sentido de menor vão e  $y$  no sentido de maior vão. A partir dessas medidas determina-se o parâmetro  $\lambda$ , conforme Equação 1 abaixo, tal que  $\lambda > 2$ , a laje será armada em uma direção, enquanto  $\lambda \leq 2$ , a laje será armada em duas direções.

$$\frac{l_y}{l_x} = \lambda \quad (1)$$

A armadura principal sempre é disposta na direção de menor vão para resistir ao maior momento fletor. As lajes, de um modo geral, podem ser vinculadas por borda livre, apoiada ou engastada (Figura 2).

Figura 2 - Classificação dos tipos de bordos de uma laje

|                                                                                   |                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
|  | Borda livre                |
|  | Borda simplesmente apoiada |
|  | Borda engastada            |

Fonte: (Tesla Concursos, 2020)

Nas bordas engastadas não há ocorrência de deslocamentos verticais e nem rotação, enquanto nas bordas apoiadas apenas a rotação é livre. Em contrapartida, nas bordas livres não há apoio e, portanto, há presença de deslocamentos verticais.

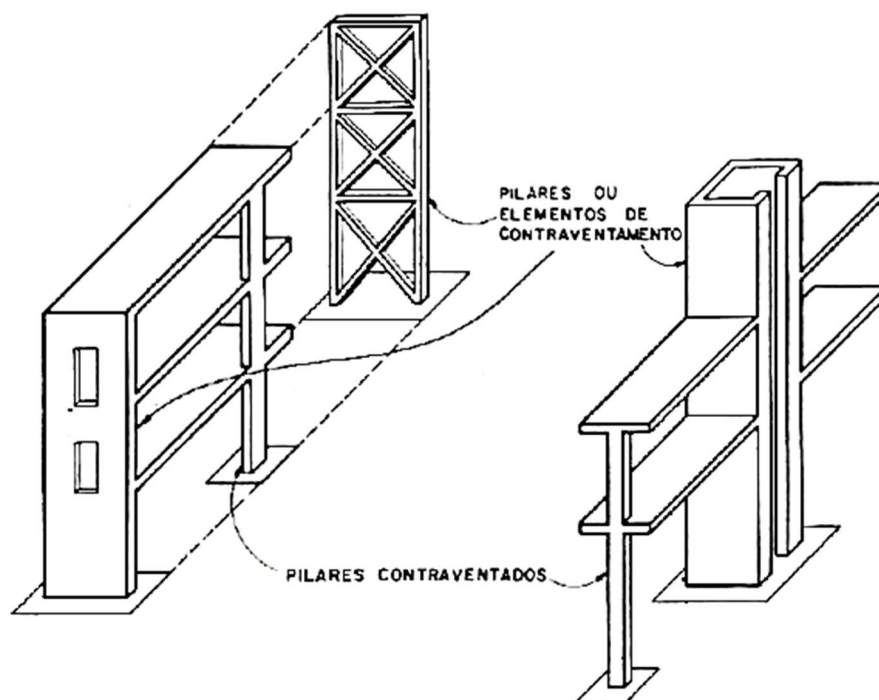
## 2.4 Ações do vento

De acordo com Fusco (1981) “exige-se a consideração da ação do vento nas estruturas em que esta ação possa produzir efeitos estáticos ou dinâmicos importantes”. Ainda, conforme o autor estruturas com nós deslocáveis sofrem efeitos mais intensos decorrente da ação do vento.

Diversos fatores influenciam na ação do vento, como a região do Brasil que se localiza a estrutura em estudo, a rugosidade do terreno e também, a geometria da edificação. Todos esses aspectos são levados em consideração para o cálculo do Vento Característico ( $V_k$ ), o qual é disposto pela norma Força devidas ao vento em edificações – ABNT NBR 6123: 1988.

Para proteção das estruturas contra a ação do vento, desenvolveu-se o sistema de contraventamento que tem por objetivo garantir a estabilidade global da estrutura e resistir aos esforços horizontais causados pela ação do vento. A Figura 3 abaixo ilustra uma estrutura com elementos de contraventamento.

Figura 3 - Ilustração de elementos de contraventamento e elementos contraventados



Fonte: FUSCO (1981)

Ademais, Fusco (1981) ressalta que não há necessidade de todos os pilares serem contraventados, ou seja, não é necessário que todos sejam responsáveis pela estabilidade global da estrutura que resiste à ação do vento, visto que isto acarretaria cálculos extremamente complexos e de precisão duvidosa.

## 2.5 O Concreto de Alto Desempenho em comparativo com o concreto convencional

Uma das grandes inovações advindas do progresso tecnológico no setor da construção civil é o CAD, Concreto de Alto Desempenho, com resistências a partir de 50 MPa. O CAD possui aspectos em sua composição que o difere de um concreto convencional, como sua menor relação água/cimento em paralelo à adição de superpozolanas e aditivos superplastificantes.

A composição geral do CAD gera um material de alta durabilidade, baixa porosidade e grande resistência à compressão. Ademais, dentre suas vantagens, visando o campo econômico, pode-se verificar o menor consumo de água e cimento.

A alta resistência possibilita a redução dos elementos estruturais, o que resulta em peças mais esbeltas em concomitante economia de aço e fôrmas. No entanto, a produção do Concreto de

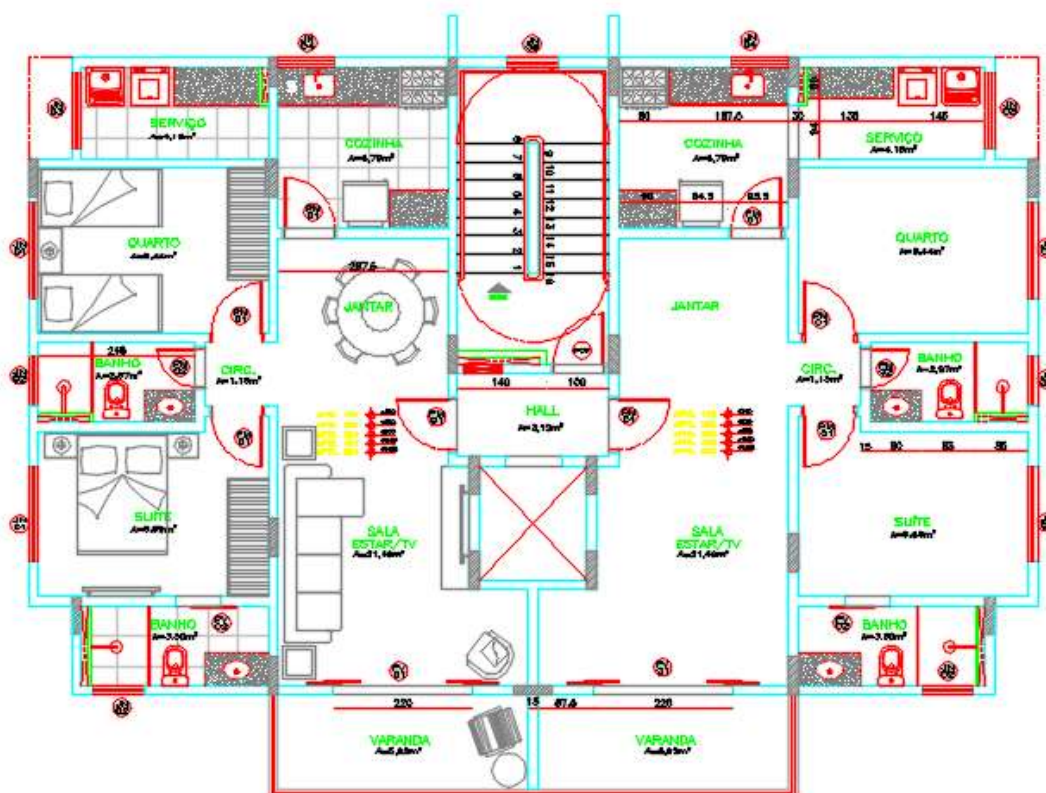
Alto Desempenho detém um maior custo em relação ao concreto convencional, devido aos aditivos usados em sua confecção.

Dessa forma, cada caso deve ser analisado isoladamente para verificar-se a melhor opção de custo-benefício na escolha do concreto. O estudo em questão visa realizar uma análise sobre qual caso, em edifício de pequeno porte, resultará em maiores vantagens construtivas, levando em consideração economia, segurança, estética (estruturas esbeltas) e tempo.

### 3 ESTUDO DE CASO

O projeto em estudo refere-se a uma edificação habitacional de pequeno porte, composta por 5 pavimentos: pavimento térreo, três pavimentos tipo, e o último andar, um pavimento ático. Cada andar possui dois apartamentos, com área de aproximadamente 65 m<sup>2</sup>. A Figura 5 ilustra o croqui do pavimento tipo do edifício. A planta baixa e os cortes da edificação estão apresentadas nos Anexos A, B e C.

Figura 4 - Croqui do pavimento tipo



Fonte: MBUIATE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS LTDA (2020)

Para avaliar o comportamento da variação da resistência de concreto em uma estrutura de pequeno porte, foram investigados 3 casos com o objetivo de gerar um estudo comparativo para

comprovação dos ganhos obtidos com tais alternativas. Nos 3 casos foram adotadas lajes maciças e toda a edificação foi modulada no programa computacional TQS versão 22.1 Estudante. São eles:

- Caso 25-M: Resistência do concreto com  $f_{ck} = 25$  MPa em lajes maciças;
- Caso 35-M: Resistência do concreto com  $f_{ck} = 35$  MPa em lajes maciças;
- Caso 50-M: Resistência do concreto com  $f_{ck} = 50$  MPa em lajes maciças.

Para os custos dos insumos, os valores foram obtidos pela consulta nas tabelas SINAPI e por preços cadastrados na versão mais recente do TQS 22.1 em dezembro de 2020. Deve-se ressaltar que os valores de mão de obra não foram considerados na análise.

- fôrmas em madeira: R\$ 35,00/m<sup>2</sup>;
- concreto: usinado bombeável, no valor de:
  - R\$ 346,66/m<sup>3</sup> para 25 MPa,
  - R\$ 368,00 para 35 MPa; e
  - R\$ 422,73/m<sup>3</sup> para 50 MPa.
- aço: valores em função do diâmetro:
  - R\$5,00/kg para o diâmetro de 5mm;
  - R\$7,17/kg para o diâmetro de 6,3mm;
  - R\$7,21/kg para o diâmetro de 8mm;
  - R\$6,8/kg para o diâmetro de 10mm;
  - R\$5,89/kg para o diâmetro de 12,5mm;
  - R\$6,76/kg para o diâmetro de 16mm;
  - R\$6,79/kg para o diâmetro de 20mm;
  - R\$8,9/kg para o diâmetro de 25mm.

### 3.1 Dados gerais do edifício

Primeiramente, para concepção do modelo estrutural, foram inseridos os dados gerais da edificação, como o número de pavimentos, pé-direito de cada pavimento, nome do projeto e localização da edificação.

O programa TQS contabiliza a fundação como pavimento, assim o edifício soma ao total 6 pavimentos. Do primeiro andar à cobertura, todos se caracterizam como tipo e com pé-direito

de 2,88 m e por fim, o último pavimento, demarcado como ático, possui altura total de 5,7 m, sendo que 2,3 m é a altura do reservatório que está elevado à 3,4 m da cobertura.

A Tabela 2 indica a cota em cada pavimento como, também, as áreas construídas em cada andar. No entanto, ressalta-se que no pavimento fundação a área exibida na tabela refere-se apenas a área das vigas baldrame e patamar da escada, visto que os elementos de fundação não foram desenvolvidos para simplificação do estudo dos casos avaliados.

Tabela 2 - Medidas gerais do edifício

| Pavimentos       | Piso a Piso (m) | Cota (m) | Área (m <sup>2</sup> ) |
|------------------|-----------------|----------|------------------------|
| reservatório     | 5,70            | 17,22    | 13,34                  |
| cobertura        | 2,88            | 11,52    | 171,46                 |
| pavimento tipo 3 | 2,88            | 8,64     | 168,19                 |
| pavimento tipo 2 | 2,88            | 5,76     | 168,20                 |
| pavimento tipo   | 2,88            | 2,88     | 168,20                 |
| Fundação         | 0,00            | 0,00     | 25,49                  |
| TOTAL            | ---             | ---      | 714,9                  |

Fonte: Autor (2020)

### 3.1.1 Força de vento

Para determinação da velocidade característica do vento ( $V_k$ ) alguns parâmetros devem ser levados em consideração, como a velocidade básica ( $V_o$ ) do vento que depende da região onde será erguida a edificação. Pode-se encontrar a velocidade básica pelo mapa de isopletras presente na ANBT NBR 6123:1988 e, já incorporado ao *software* TQS. Adotou-se, portanto, a velocidade de 34 m/s por ser referente ao município de Uberlândia. O coeficiente  $S_1$  refere-se ao relevo do terreno, o qual foi adotado 1 por se tratar de região plana ou pouco acidentada. Além disso, adotou-se categoria tipo IV para o parâmetro  $S_2$ , por referir-se a área urbanizada e, por fim, coeficiente  $S_3$  igual à 1 referente a construções residenciais. Dessa forma, foram obtidos os valores de coeficiente de arrasto apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficiente de arrasto e pressão exercida na edificação

| Caso | Ângulo (°) | Coef. Arrasto | Área (m <sup>2</sup> ) | Pressão (tf/m <sup>2</sup> ) |
|------|------------|---------------|------------------------|------------------------------|
| 5    | 90         | 1,19          | 198,6                  | 0,055                        |
| 6    | 270        | 1,19          | 198,6                  | 0,055                        |
| 7    | 0          | 1,04          | 162,2                  | 0,049                        |
| 8    | 180        | 1,04          | 162,2                  | 0,049                        |

Fonte: Autor (2020)

### 3.1.2 Cobrimentos nominais

Os cobrimentos nominais foram determinados de acordo com a classe de agressividade ambiental, sendo agressividade moderada por tratar-se de região urbana, portanto do tipo CAA II. Dessa forma, delimitaram-se os cobrimentos para lajes de 2,5 cm, vigas e pilares de 3 cm e, por fim, os elementos de fundação, vigas de 3 cm e pilares com 4,5 cm, em conformidade com a Tabela 7.2 da ABNT NBR 6118: 2014.

### 3.1.3 Lançamento dos Pilares e Vigas

No lançamento inicial dos pilares assumiu-se o valor de 14 cm, na dimensão mínima, para favorecer o aspecto arquitetônico, em virtude de as paredes possuírem espessura de 15 cm, para que dessa forma os elementos estruturais ficassem embutidos.

Para lançamento dos pilares ao longe da planta baixa, visou-se dispor os mesmos de forma favorável para formação de pórticos e lajes regulares. A princípio todos os elementos foram lançados com dimensão de 14x30 cm. Tais valores foram adotados visando a integridade estrutural, dentro da recomendação normativa de dimensão mínima de 14 cm, multiplicado por coeficiente de segurança, e também, com área de seção transversal maior que 360 cm<sup>2</sup> conforme ABNT NBR 6118: 2014.

A partir dos vãos entre os pilares foram locadas as vigas, onde foram definidos os pórticos de contraventamento da edificação. Assim como no caso dos pilares, de início, a dimensão mínima de 14 cm foi adotada para manter as vigas embutidas nas paredes.

As alturas foram estimadas pelo método de pré-dimensionamento, conforme Figura 5. Tal que,  $h_{est}$  indica altura estimada e  $l_0$  o vão livre, este é a distância entre as faces do apoio. No entanto, após processamento global da estrutura, o programa TQS aponta erros no dimensionamento e dessa forma, as alturas foram ajustadas, para cada caso estudado, a fim de zerar os erros graves.

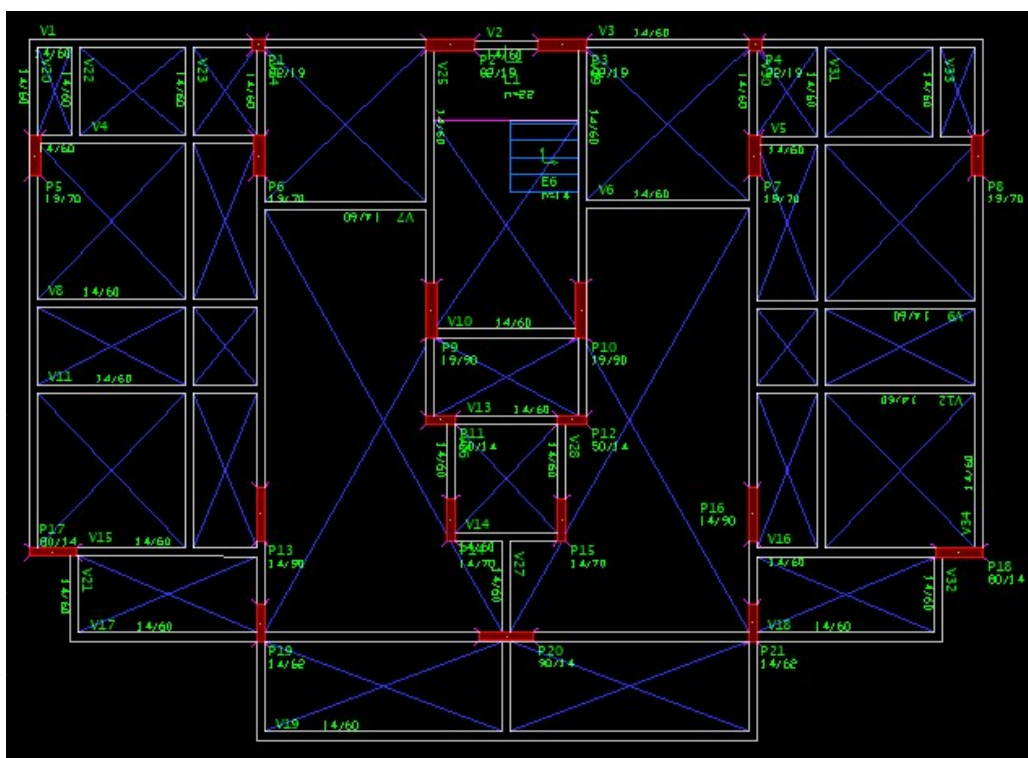
Figura 5 - Alturas estimadas

|                                      |                    |
|--------------------------------------|--------------------|
| tramos intermediários:               | $h_{est} = l_0/12$ |
| tramos extremos ou vigas biapoiadas: | $h_{est} = l_0/10$ |
| balanços:                            | $h_{est} = l_0/5$  |

Fonte: PINHEIRO (2003)

Por fim, no pavimento fundação inseriram-se as vigas baldrame, as quais tem função de receber o carregamento da estrutura e transmitir estes esforços aos elementos de fundação. Também, foram inseridas as vigas abaixo de todas as paredes para sustentação das alvenarias. A Figura 6 ilustra a composição final do pavimento fundação.

Figura 6 - Posicionamento dos pilares no pavimento fundação



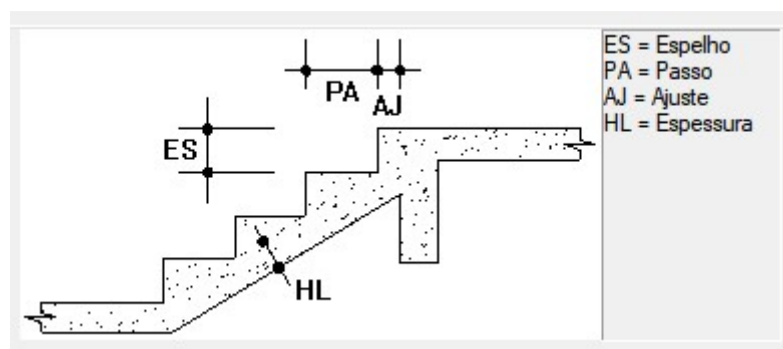
Fonte: Autor (2020)

### 3.1.4 Lançamento da escada

Para inserção da escada foi definido, primeiramente, um piso auxiliar entre os pavimentos tipo, onde foram lançados os patamares. As alturas entre os pisos auxiliares e pavimentos tipo foram determinadas em acordo com corte do projeto arquitetônico, lançado com medida de 1,44 m, ou seja, metade da altura do pé direito do edifício.

Na aba modelador estrutural, determinaram-se os dados gerais da escada da edificação. Com a altura entre os pavimentos e piso auxiliares foi possível chegar em lances de 7 degraus, com comprimento do passo de 28 cm e espelho de 17,5 cm. A espessura da laje foi definida em 18 cm, sendo estabelecidos conforme Figura 7.

Figura 7 - Perfil da escada



Fonte: TQS (2020)

Portando, atenderam-se aos padrões de conforto, visto que as dimensões admitidas ficaram entre o intervalo de 60 à 64 conforme apresentado pela Equação 2.

$$60 \text{ cm} \leq \text{Passo} + 2 \times \text{Espelho} \leq 64 \text{ cm} \quad (2)$$

$$18 + 2 \times 17,5 = 63 \text{ cm}$$

Ademais, a espessura adotada para laje (HL) foi de 18 cm, tanto para os lances quanto para os patamares, onde L100 ao L106 são as lajes que representam os patamares e E1 ao E6 foram os lances.

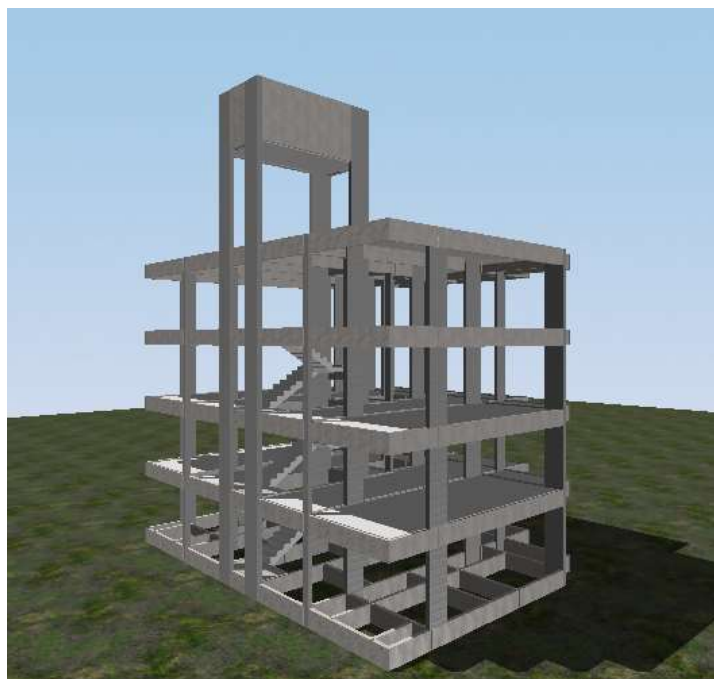
### 3.1.5 Lançamento do carregamento

Para definição de carga nas vigas foi considerado bloco de concreto de 14 cm como elemento de alvenaria. A carga distribuída linear é feita por unidade de área mais a altura da parede, que foi lançada nas vigas como a altura do pé direito menos a altura da viga considerada.

Nas lajes o próprio programa sugere o carregamento de acordo com o objetivo estrutural da edificação. Portanto, entres pavimentos tipos foi definido carga APART1, onde inclui sala, cozinha e dormitórios. Sendo assim, o carregamento nas lajes é distribuído por área, onde foi considerado a cargas APART1 somada ao peso de alvenarias lançadas sobre a laje. No último pavimento foi definido a carga de COBERT1.

Por fim, no ático devido fez-se o processo de tomada de carga manualmente, visto que se deve levar em consideração o volume do reservatório de 22,64 m<sup>3</sup>. Assim, consideraram-se 2 pessoas por dormitório e um consumo de 200 L/ (dia × pessoa). A Figura 8 apresenta a estética final do edifício após todo lançamento estrutural.

Figura 8 – Edificação após lançamento estrutural



Fonte: TQS (2020)

### 3.2 Resultados obtidos

As dimensões dos elementos estruturais foram adaptadas no programa TQS, conforme cada caso avaliado (Casos 25-M, 35-M e 50-M). Para dimensionamento da estrutura levaram-se em consideração as sugestões e erros indicados pelo programa e foram consideradas, também, as dimensões mínimas determinadas pela ABNT NBR 6118: 2014.

#### 3.2.1 Caso 25-M

No primeiro caso analisado, em lajes maciças e  $f_{ck}$  de 25 MPa, as dimensões finais dos pilares encontram-se expressas na Tabela 4.

Não foi possível manter a dimensão mínima de 14 cm em alguns pilares, por estarem em local de alta solicitação, sendo adotado a dimensão mínima, admitida pelo programa, de 19 cm. Dessa forma, nesses casos, não foi possível embutir a alvenaria, desfavorecendo o aspecto estético. As dimensões foram mantidas nas vigas ao decorrer de todos os pavimentos tipos, como também, vigas baldrame e vigas do pavimento cobertura. Manteve-se constante as alturas das vigas ao longo dos trechos, sem variação da seção entre os tramos.

Tabela 4 - Dimensões dos pilares no Caso 25-M

| DIMENSÕES DAS SEÇÕES DO PILARES |       |    |     |       |    |
|---------------------------------|-------|----|-----|-------|----|
| P1                              | 22X19 | cm | P12 | 14x30 | cm |
| P2                              | 19x82 | cm | P13 | 14x90 | cm |
| P3                              | 19x82 | cm | P14 | 14x70 | cm |
| P4                              | 22X19 | cm | P15 | 14x70 | cm |
| P5                              | 19x70 | cm | P16 | 14x90 | cm |
| P6                              | 19x70 | cm | P17 | 14x80 | cm |
| P7                              | 19x70 | cm | P18 | 14x80 | cm |
| P8                              | 19x70 | cm | P19 | 14x62 | cm |
| P9                              | 19x90 | cm | P20 | 14x90 | cm |
| P10                             | 19x90 | cm | P21 | 14x62 | cm |
| P11                             | 14x30 | cm |     |       |    |

Fonte: Autor (2020)

Tabela 5 - Dimensões das vigas no Caso 25-M

| DIMENSÕES DAS VIGAS |            |                  |      |            |                  |
|---------------------|------------|------------------|------|------------|------------------|
| Viga                | Seção (cm) | Comprimento (cm) | Viga | Seção (cm) | Comprimento (cm) |
| V1                  | 14x60      | 660,5            | V13  | 14x60      | 841,14           |
| V2                  | 19x60      | 129              | V14  | 14x60      | 134,31           |
| V3                  | 14x60      | 660,5            | V15  | 14x60      | 1154,3           |
| V4                  | 14x60      | 250,5            | V16  | 14x60      | 634,55           |
| V5                  | 14x60      | 250,5            | V17  | 14x60      | 155              |
| V6                  | 14x60      | 168              | V18  | 14x60      | 331,46           |
| V7                  | 14x60      | 171              | V19  | 14x60      | 155              |
| V8                  | 14x60      | 305,7            | V20  | 14x60      | 634,55           |
| V9                  | 14x60      | 305,7            | V21  | 14x60      | 1154,3           |
| V10                 | 14x60      | 1129             | V22  | 14x60      | 134,31           |
| V11                 | 14x60      | 310              | V23  | 14x60      | 841,14           |
| V12                 | 14x60      | 819,92           |      |            |                  |

Fonte: Autor (2020)

Neste caso, os erros graves foram eliminados apenas com as dimensões adotadas a seguir, dispostas na Tabela 6, o que resultou algumas lajes espessas.

Tabela 6 - Dimensões das lajes no Caso 25-M

| DIMENSÕES DAS LAJES NO 1º ANDAR |                | DIMENSÕES DAS LAJES NOS DEMAIS PAVIMENTOS TIPO |                | DIMENSÕES DAS LAJES NA COBERTURA |                |
|---------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| Lajes maciças                   | Espessura (cm) | Lajes maciças                                  | Espessura (cm) | Lajes maciças                    | Espessura (cm) |
|                                 |                |                                                |                | L1                               | H=14           |
|                                 |                |                                                |                | L2                               | H=14           |
| L2                              | H=14           | L3                                             | H=14           | L3                               | H=14           |
| L3                              | H=14           | L4                                             | H=14           | L4                               | H=14           |
| L5                              | H=14           | L5                                             | H=14           | L5                               | H=14           |
| L6                              | H=14           | L6                                             | H=14           | L6                               | H=10           |
| L7                              | H=10           | L7                                             | H=10           | L7                               | H=10           |
| L8                              | H=14           | L8                                             | H=14           | L8                               | H=12           |
| L9                              | H=14           | L9                                             | H=14           | L9                               | H=12           |
| L10                             | H=14           | L10                                            | H=14           | L10                              | H=12           |
| L11                             | H=14           | L11                                            | H=14           | L11                              | H=12           |

Fonte: Autor (2020)

Em análise com as tabelas de consumo de materiais, verificou-se que, neste primeiro caso, houve um alto consumo nas lajes comparados aos demais elementos estruturais, conforme apresentado na Tabela 7 e na Tabela 8. A coluna “Outros” especifica o consumo de material da escada por pavimento.

Tabela 7 - Consumo de material por elemento estrutural – Caso 25-M

| Pavimento    | Concreto (m³) |              |              |             | Fôrmas (m²)   |               |               |              | Aço (kg)    |             |             |            |
|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|              | Pilares       | Vigas        | Lajes        | Outros      | Pilares       | Vigas         | Lajes         | Outros       | Pilares     | Vigas       | Lajes       | Outros     |
| Reservatório | 3,73          | 4,54         | 2,12         | 0,00        | 47,88         | 48,59         | 10,58         | 0,00         | 209         | 321         | 111         | 0          |
| Tipo 4       | 6,70          | 8,40         | 21,08        | 0,00        | 101,72        | 113,83        | 155,14        | 0,00         | 442         | 574         | 1090        | 0          |
| Tipo 3       | 6,70          | 8,65         | 19,60        | 2,60        | 101,72        | 116,65        | 140,92        | 11,66        | 465         | 740         | 1142        | 143        |
| Tipo 2       | 6,70          | 8,59         | 19,60        | 2,60        | 101,72        | 116,67        | 140,91        | 11,67        | 465         | 641         | 1146        | 143        |
| Tipo         | 6,70          | 8,60         | 19,60        | 2,60        | 101,72        | 116,73        | 140,92        | 11,67        | 1079        | 664         | 1165        | 143        |
| Fundação     | 0,70          | 12,25        | 0,00         | 0,50        | 10,60         | 193,78        | 0,00          | 2,78         | 0           | 658         | 2           | 143        |
| <b>TOTAL</b> | <b>31,20</b>  | <b>51,03</b> | <b>82,00</b> | <b>8,29</b> | <b>465,36</b> | <b>707,04</b> | <b>588,47</b> | <b>37,79</b> | <b>2659</b> | <b>3598</b> | <b>4657</b> | <b>570</b> |

Fonte: Autor (2020)

Nesta análise de caso, por simplificação, não foram levados em consideração o consumo de materiais na caixa de escada. Também, não houve dimensionamento dos elementos de fundação blocos ou sapatas, incluindo apenas as vigas baldrame.

Tabela 8- Consumo de material por pavimento e orçamento final – Caso 25-M

| Consumo de Materiais |                       |           |          |           |          |          |          |                  |                  |                  |
|----------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------------|------------------|------------------|
| Pavimento            | Bitola (mm)           |           |          |           |          |          |          | Aço (kg)         | Concreto (m³)    | Fôrma (m²)       |
|                      | 5                     | 6,3       | 8        | 10        | 12,5     | 16       | 20       |                  |                  |                  |
| Reservatório         | 129                   | 106       | 104      | 126       | -        | 177      | -        | 642              | 10,39            | 107,05           |
| Tipo 4               | 330                   | 1032      | 5        | 608       | 135      | -        | -        | 2105             | 36,18            | 370,69           |
| Tipo 3               | 327                   | 1115      | 77       | 621       | 128      | 193      | 28       | 2489             | 37,55            | 371,75           |
| Tipo 2               | 322                   | 1113      | 47       | 607       | 210      | 96       | -        | 2395             | 37,49            | 370,97           |
| Tipo                 | 362                   | 1233      | 46       | 695       | 412      | 168      | 134      | 3050             | 37,50            | 371,04           |
| Fundação             | 125                   | 50        | 27       | 342       | 123      | 58       | 78       | 803              | 13,45            | 207,16           |
| <b>Quantidade</b>    | 1595                  | 4649      | 306      | 2994      | 1008     | 692      | 240      | 11484            | 172,56           | 1798,66          |
| <b>Custos (R\$)</b>  | 7.975,00              | 33.333,33 | 2.206,26 | 20.359,20 | 5.937,12 | 4.677,92 | 1.629,60 | <b>76.118,43</b> | <b>59.420,99</b> | <b>62.985,30</b> |
| <b>CUSTO TOTAL</b>   | <b>R\$ 198.524,72</b> |           |          |           |          |          |          |                  |                  |                  |

Fonte: Autor (2020)

Além disso, o programa TQS fornece, no relatório final do caso, os parâmetros de instabilidade, o qual é gerado uma análise dos efeitos de deslocabilidade da estrutura, importante por manter a estabilidade global do edifício. Atingiu-se um valor satisfatório a partir dos coeficientes  $\alpha$ ,  $\gamma_z$  e  $FAV_t$ , apresentados na Tabela 9, dentro do limite de 1,0 a 1,2 para o parâmetro  $\gamma_z$ .

Tabela 9 - Parâmetros de instabilidade – Caso 25-M

| Parâmetro | Valor máximo |
|-----------|--------------|
| GamaZ     | 1,03         |
| FAVt      | 1,03         |
| Alfa      | 0,59         |

Fonte: Autor (2020)

A análise de flechas obtida no resumido estrutural do TQS, pelo método linear, fornece a verificação destas levando em consideração a laje mais crítica de cada pavimento. Assim, conforme resultados apresentados na Tabela 10, obteve-se os valores de flecha máxima, diferença entre a flecha máxima gerada no *software* e deslocamento vertical no apoio, e valores de flecha limite, por meio da Equação 3.

$$a_{lim} = \frac{l_x}{250} \quad (3)$$

Os valores obtidos na flecha máxima não podem ultrapassar a situação crítica que corresponde a flecha limite. No entanto, o método linear fornece uma análise superficial dos casos, o qual fornece resultados imprecisos para trechos com grandes deslocamentos. Dessa forma, em alguns pavimentos exigiu-se uma verificação mais precisa e detalhada das flechas, por meio do

processo individual de cada pavimento, pelo método Grelha Não-Linear, onde é possível a verificação de todas as lajes do pavimento individualmente.

O método Grelha Não-Linear fornece resultados com maior acurácia para verificação de flechas e aberturas de fissuras, visto que nesta análise leva-se em consideração a não-linearidade física do material, como o concreto, à medida que o carregamento é aplicado. Dessa forma, tal método admite valores mais precisos e mais próximos a realidade do comportamento da estrutura.

A Tabela 10 apresenta as flechas nas lajes mais críticas de cada pavimento em ambos os métodos.

Tabela 10 - Relatório de flechas pelo método linear e não-linear – Caso 25-M

| Pavimento    | Análise    | Laje | Flecha máxima (cm) | Flecha limite (cm) | Situação |
|--------------|------------|------|--------------------|--------------------|----------|
| Reservatório | Linear     | 1    | -0,07              | 0,82               | OK       |
| Tipo 4       | Linear     | 3    | -0,70              | 1,39               | OK       |
| Tipo 3       | Não-linear | 3    | -1,11              | 1,46               | OK       |
| Tipo 2       | Não-linear | 4    | -1,05              | 1,46               | OK       |
| Tipo         | Não-linear | 2    | -1,09              | 1,46               | OK       |

Fonte: Autor (2020)

### 3.2.3 Caso 35-M

Neste caso houve a alteração da resistência do concreto dos elementos para 35 MPa e as lajes como do tipo maciça. A mudança de resistência possibilitou a variação de grande parte dos elementos estruturais listados abaixo nas Tabelas 11, 12 e 13, sem a geração de nenhum erro grave pelo *software* TQS.

Tabela 11 - Dimensões dos Pilares no Caso 35-M

| DIMENSÕES DAS SEÇÕES DO PILARES |       |    |     |       |    |
|---------------------------------|-------|----|-----|-------|----|
| P1                              | 20x19 | cm | P12 | 26x14 | cm |
| P2                              | 70x19 | cm | P13 | 14x70 | cm |
| P3                              | 70x19 | cm | P14 | 14x40 | cm |
| P4                              | 20x19 | cm | P15 | 14x40 | cm |
| P5                              | 14x70 | cm | P16 | 14x70 | cm |
| P6                              | 14x65 | cm | P17 | 80x14 | cm |
| P7                              | 14x65 | cm | P18 | 80x14 | cm |
| P8                              | 14x70 | cm | P19 | 14x40 | cm |
| P9                              | 19x80 | cm | P20 | 70x14 | cm |
| P10                             | 19x80 | cm | P21 | 14x40 | cm |
| P11                             | 26x14 | cm |     |       |    |

Fonte: Autor (2020)

Alguns pilares atingiram as dimensões mínimas, sem ultrapassar área da seção transversal menor que 360 cm<sup>2</sup>, sugerida pela ANBT NBR 6118:2014. Os pilares P17 e P18 foram os únicos pilares que se mantiveram inalterados em todos os casos.

As vigas mantiveram mesmo padrão do caso anterior, a única alteração realizada foi na altura de 60 cm para 50 cm, apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensões das vigas no Caso 35-M

| DIMENSÕES DAS VIGAS |            |                  |      |            |                  |
|---------------------|------------|------------------|------|------------|------------------|
| Viga                | Seção (cm) | Comprimento (cm) | Viga | Seção (cm) | Comprimento (cm) |
| V1                  | 14x50      | 660,5            | V13  | 14x50      | 841,14           |
| V2                  | 19x50      | 129              | V14  | 14x50      | 134,31           |
| V3                  | 14x50      | 660,5            | V15  | 14x50      | 1154,3           |
| V4                  | 14x50      | 250,5            | V16  | 14x50      | 634,55           |
| V5                  | 14x50      | 250,5            | V17  | 14x50      | 155              |
| V6                  | 14x50      | 168              | V18  | 14x50      | 331,46           |
| V7                  | 14x50      | 171              | V19  | 14x50      | 155              |
| V8                  | 14x50      | 305,7            | V20  | 14x50      | 634,55           |
| V9                  | 14x50      | 305,7            | V21  | 14x50      | 1154,3           |
| V10                 | 14x50      | 1129             | V22  | 14x50      | 134,31           |
| V11                 | 14x50      | 310              | V23  | 14x50      | 841,14           |
| V12                 | 14x50      | 819,92           |      |            |                  |

Fonte: Autor (2020)

A mudança de resistência do concreto possibilitou a diminuição da espessura de todos os elementos estruturais. Assim, nas lajes, houve redução em torno de 14,3%, de suas espessuras, para o primeiro andar, de 21,4% para os demais andares e de 28,6% na cobertura, em algumas lajes, o que implica em redução do peso próprio da estrutura. A Tabela 13 retrata as alturas de todas as lajes da edificação, de acordo com cada pavimento.

A Tabela 14 de consumo de materiais, para o atual caso em análise, apresentam diminuição em torno de 20% no consumo, em m<sup>3</sup>, de concreto armado para pilares e vigas e 12,9% para vigas em relação ao Caso M-25. Também, houve economia no emprego de fôrmas próximo à 11,2% para vigas e 13,8% para pilares. No entanto, o consumo de fôrmas para lajes manteve-se inalterado. Destaca-se que a utilização da quantidade de aço foi praticamente a mesma entre o Caso 25-M e Caso 35-M.

Tabela 13 - Dimensões da laje no Caso 35-M

| DIMENSÕES DAS LAJES NO 1º ANDAR |                | DIMENSÕES DAS LAJES NOS DEMAIS PAVIMENTOS TIPO |                | DIMENSÕES DAS LAJES NA COBERTURA |                |
|---------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| Lajes maciças                   | Espessura (cm) | Lajes maciças                                  | Espessura (cm) | Lajes maciças                    | Espessura (cm) |
|                                 |                |                                                |                | L1                               | H=10           |
|                                 |                |                                                |                | L2                               | H=10           |
| L2                              | H=12           | L3                                             | H=11           | L3                               | H=10           |
| L3                              | H=12           | L4                                             | H=11           | L4                               | H=10           |
| L5                              | H=12           | L5                                             | H=11           | L5                               | H=10           |
| L6                              | H=12           | L6                                             | H=11           | L6                               | H=10           |
| L7                              | H=10           | L7                                             | H=10           | L7                               | H=10           |
| L8                              | H=10           | L8                                             | H=10           | L8                               | H=10           |
| L9                              | H=10           | L9                                             | H=10           | L9                               | H=10           |
| L10                             | H=10           | L10                                            | H=10           | L10                              | H=10           |
| L11                             | H=10           | L11                                            | H=10           | L11                              | H=10           |

Fonte: Autor (2020)

Tabela 14 - Consumo de material por elemento estrutural – Caso 35-M

| Pavimento    | Concreto (m³) |              |              |             | Fôrmas (m²)   |               |               |              | Aço (kg)    |             |             |          |
|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|----------|
|              | Pilares       | Vigas        | Lajes        | Outros      | Pilares       | Vigas         | Lajes         | Outros       | Pilares     | Vigas       | Lajes       | Outros   |
| Reservatório | 3,25          | 4,72         | 2,12         | 0,00        | 42,86         | 49,62         | 10,58         | 0,00         | 184         | 331         | 118         | 0        |
| Tipo 4       | 5,26          | 7,17         | 15,53        | 0,00        | 87,32         | 100,89        | 155,29        | 0,00         | 402         | 546         | 1082        | 0        |
| Tipo 3       | 5,26          | 7,33         | 15,29        | 2,60        | 87,32         | 102,75        | 141,06        | 11,67        | 425         | 613         | 1106        | 0        |
| Tipo 2       | 5,26          | 7,33         | 15,29        | 2,60        | 87,32         | 102,74        | 141,05        | 11,68        | 425         | 600         | 1115        | 0        |
| Tipo         | 5,26          | 7,48         | 16,47        | 2,60        | 87,32         | 103,93        | 141,06        | 11,67        | 1077        | 685         | 1153        | 0        |
| Fundação     | 0,55          | 10,39        | 0,00         | 0,50        | 9,10          | 167,63        | 0,00          | 2,78         | 0           | 691         | 2           | 0        |
| <b>TOTAL</b> | <b>24,82</b>  | <b>44,44</b> | <b>64,70</b> | <b>8,30</b> | <b>401,25</b> | <b>627,56</b> | <b>589,04</b> | <b>37,81</b> | <b>2513</b> | <b>3467</b> | <b>4575</b> | <b>0</b> |

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 15 traz o resumo do consumo dos materiais por cada pavimento e por bitola de aço, em kg. A divisão do aço por bitola fez-se necessário para dimensionar os custos finais da edificação, visto que possuem valores diferenciados no mercado.

Tabela 15 - Orçamento final – Caso 35-M

| Consumo de Materiais |                       |           |          |           |          |          |          |           |               |            |
|----------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|---------------|------------|
| Pavimento            | Bitola (mm)           |           |          |           |          |          |          | Aço (kg)  | Concreto (m³) | Fôrma (m²) |
|                      | 5                     | 6.3       | 8        | 10        | 12,5     | 16       | 20       |           |               |            |
| Reservatório         | 77                    | 116       | 157      | 112       | -        | 171      | -        | 633       | 10,09         | 103,06     |
| Tipo 4               | 316                   | 1019      | 3        | 566       | 84       | 44       | -        | 2032      | 28,00         | 343,40     |
| Tipo 3               | 305                   | 868       | 246      | 602       | 95       | 134      | 36       | 2286      | 30,52         | 342,70     |
| Tipo 2               | 303                   | 873       | 245      | 608       | 122      | 93       | 36       | 2280      | 30,52         | 342,69     |
| Tipo                 | 328                   | 968       | 249      | 620       | 295      | 160      | 439      | 3059      | 31,84         | 343,88     |
| Fundação             | 130                   | 47        | 28       | 329       | 126      | 82       | 92       | 834       | 11,44         | 179,39     |
| Quantidade           | 1459                  | 3891      | 928      | 2837      | 722      | 684      | 603      | 11124     | 142,41        | 1655,12    |
| Custos (R\$)         | 7.295,00              | 27.898,47 | 6.690,88 | 19.291,60 | 4.252,58 | 4.623,84 | 4.094,37 | 74.146,74 | 52.351,68     | 57.865,50  |
| <b>CUSTO TOTAL</b>   | <b>R\$ 184.363,92</b> |           |          |           |          |          |          |           |               |            |

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 16 apresenta os parâmetros de estabilidade global para o Caso 35-M. Pelos valores obtidos, verifica-se que estão dentro do padrão permitido, com GamaZ inferior a 1,2.

Tabela 16 - Parâmetros de instabilidade – Caso 35-M

| Parâmetro | Valor máximo |
|-----------|--------------|
| GamaZ     | 1,02         |
| FAVt      | 1,03         |
| Alfa      | 0,55         |

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 17 apresenta as flechas mais críticas em cada pavimento e todas estão abaixo das flechas limites.

Tabela 17 - Análise de flechas – Caso 35-M

| Pavimento    | Análise    | Laje | Flecha máxima (cm) | Flecha limite (cm) | Situação |
|--------------|------------|------|--------------------|--------------------|----------|
| Reservatório | Linear     | 1    | -0,06              | 0,82               | OK       |
| Tipo 4       | Linear     | 3    | -1,13              | 1,39               | OK       |
| Tipo 3       | Não-linear | 3    | -1,24              | 1,46               | OK       |
| Tipo 2       | Não-linear | 4    | -1,10              | 1,46               | OK       |
| Tipo         | Não-linear | 3    | -1,09              | 1,46               | OK       |

Fonte: Autor (2020)

### 3.2.5 Caso 50-M

No Caso 50-M reduziu-se os elementos estruturais nas mínimas dimensões aceitáveis pelo *software* TQS, com exceção dos pilares P17 e P18, respeitando a segurança e as disposições da ABNT NBR 6118:2014. Dessa maneira, as dimensões finais de pilares, estão apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 - Dimensões dos pilares no Caso 50-M

| DIMENSÕES DAS SEÇÕES DO PILARES |       |    |     |       |    |
|---------------------------------|-------|----|-----|-------|----|
| P1                              | 19x19 | cm | P12 | 26x14 | cm |
| P2                              | 45x19 | cm | P13 | 14x60 | cm |
| P3                              | 45x19 | cm | P14 | 14x26 | cm |
| P4                              | 19x19 | cm | P15 | 14x26 | cm |
| P5                              | 14x60 | cm | P16 | 14x60 | cm |
| P6                              | 14x60 | cm | P17 | 80x14 | cm |
| P7                              | 14x60 | cm | P18 | 80x14 | cm |
| P8                              | 14x60 | cm | P19 | 14x32 | cm |
| P9                              | 19x45 | cm | P20 | 50x14 | cm |
| P10                             | 19x45 | cm | P21 | 14x32 | cm |
| P11                             | 26x14 | cm |     |       |    |

Fonte: Autor (2020)

Nas vigas foi admitido a altura mínima de 40 cm, admitido pelo programa TQS, sem geração de erros graves e ainda, dentro dos parâmetros normativos. No entanto, a viga V5 permaneceu com altura de 50 cm, localizada nos pisos auxiliares, a qual recebe os esforços do patamar do piso auxiliar. As dimensões gerais das vigas, adotadas por pavimento tipo, encontra-se na Tabela 19.

A Tabela 20 apresenta as dimensões finais das lajes, por pavimento, para o Caso 50-M.

Neste caso houve redução do consumo do material concreto e fôrma, comparado aos casos anteriores. Porém, a diminuição do consumo de aço foi constatada apenas nos pilares, conforme Tabela 23. Para os elementos vigas e lajes foram detectados um aumento considerável no consumo de aço.

Tabela 19- Dimensões das vigas no Caso 50-M

| DIMENSÕES DAS VIGAS |            |                  |      |            |                  |
|---------------------|------------|------------------|------|------------|------------------|
| Viga                | Seção (cm) | Comprimento (cm) | Viga | Seção (cm) | Comprimento (cm) |
| V1                  | 14x40      | 660,5            | V13  | 14x40      | 841,14           |
| V2                  | 19x40      | 129              | V14  | 14x40      | 134,31           |
| V3                  | 14x40      | 660,5            | V15  | 14x40      | 1154,3           |
| V4                  | 14x40      | 250,5            | V16  | 14x40      | 634,55           |
| V5                  | 14x50      | 250,5            | V17  | 14x40      | 155              |
| V6                  | 14x40      | 168              | V18  | 14x40      | 331,46           |
| V7                  | 14x40      | 171              | V19  | 14x40      | 155              |
| V8                  | 14x40      | 305,7            | V20  | 14x40      | 634,55           |
| V9                  | 14x40      | 305,7            | V21  | 14x40      | 1154,3           |
| V10                 | 14x40      | 1129             | V22  | 14x40      | 134,31           |
| V11                 | 14x40      | 310              | V23  | 14x40      | 841,14           |
| V12                 | 14x40      | 819,92           |      |            |                  |

Fonte: Autor (2020)

Tabela 20 - Dimensões das lajes no Caso 50-M

| DIMENSÕES DAS LAJES NO 1º ANDAR |                | DIMENSÕES DAS LAJES NOS DEMAIS PAVIMENTOS TIPO |                | DIMENSÕES DAS LAJES NA COBERTURA |                |
|---------------------------------|----------------|------------------------------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|
| Lajes maciças                   | Espessura (cm) | Lajes maciças                                  | Espessura (cm) | Lajes maciças                    | Espessura (cm) |
|                                 |                |                                                |                | L1                               | H=8            |
|                                 |                |                                                |                | L2                               | H=8            |
| L2                              | H=11           | L3                                             | H=10           | L3                               | H=8            |
| L3                              | H=11           | L4                                             | H=10           | L4                               | H=8            |
| L5                              | H=11           | L5                                             | H=10           | L5                               | H=8            |
| L6                              | H=11           | L6                                             | H=10           | L6                               | H=8            |
| L7                              | H=8            | L7                                             | H=8            | L7                               | H=8            |
| L8                              | H=10           | L8                                             | H=10           | L8                               | H=8            |
| L9                              | H=10           | L9                                             | H=10           | L9                               | H=8            |
| L10                             | H=10           | L10                                            | H=10           | L10                              | H=8            |
| L11                             | H=10           | L11                                            | H=10           | L11                              | H=8            |

Fonte: Autor (2020)

Tabela 21 - Consumo de materiais no Caso 50-M

| Pavimento    | Concreto (m³) |              |              |             | Fôrmas (m²)   |               |               |              | Aço (kg)    |             |             |            |
|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
|              | Pilares       | Vigas        | Lajes        | Outros      | Pilares       | Vigas         | Lajes         | Outros       | Pilares     | Vigas       | Lajes       | Outros     |
| Reservatório | 1,95          | 5,21         | 2,12         | 0,00        | 29,18         | 54,77         | 10,58         | 0,00         | 129         | 416         | 167         | 0          |
| Tipo 4       | 4,17          | 5,87         | 12,82        | 0,00        | 73,73         | 84,65         | 155,33        | 0,00         | 332         | 662         | 1284        | 0          |
| Tipo 3       | 4,17          | 6,00         | 14,04        | 2,60        | 73,73         | 84,63         | 141,06        | 11,71        | 339         | 813         | 1366        | 142        |
| Tipo 2       | 4,17          | 5,97         | 14,04        | 2,61        | 73,73         | 84,54         | 141,06        | 11,76        | 332         | 698         | 1340        | 142        |
| Tipo         | 4,17          | 6,00         | 15,23        | 2,60        | 73,73         | 83,71         | 141,06        | 11,67        | 840         | 786         | 1313        | 142        |
| Fundação     | 0,43          | 8,45         | 0,00         | 0,50        | 7,68          | 140,09        | 0,00          | 2,78         | 0           | 794         | 2           | 142        |
| <b>TOTAL</b> | <b>19,06</b>  | <b>37,51</b> | <b>58,25</b> | <b>8,32</b> | <b>331,78</b> | <b>532,38</b> | <b>589,10</b> | <b>37,92</b> | <b>1972</b> | <b>4169</b> | <b>5472</b> | <b>570</b> |

Fonte: Autor (2020)

O orçamento final dos gastos referente ao consumo de materiais está disposto na Tabela 22, o qual percebe-se um significativo aumento nos custos finais em relação ao Caso 50-M.

Tabela 22 - Custos totais para – Caso 50-M

| Consumo de Materiais |                       |           |          |           |          |          |          |          |                  |                  |                  |
|----------------------|-----------------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|------------------|------------------|------------------|
| Pavimento            | Bitola (mm)           |           |          |           |          |          |          |          | Aço (kg)         | Concreto (m³)    | Fôrma (m²)       |
|                      | 5                     | 6,3       | 8        | 10        | 12,5     | 16       | 20       | 25       |                  |                  |                  |
| Reservatório         | 52                    | 74        | 200      | 161       | -        | 225      | -        | -        | 712              | 9,28             | 99,53            |
| Tipo 4               | 161                   | 1160      | 200      | 482       | 99       | 155      | 22       | -        | 2279             | 22,86            | 326,28           |
| Tipo 3               | 162                   | 1101      | 113      | 786       | 186      | 120      | 194      | -        | 2662             | 26,81            | 323,7            |
| Tipo 2               | 163                   | 1150      | 58       | 773       | 202      | 68       | 99       | -        | 2513             | 26,79            | 323,74           |
| Tipo                 | 173                   | 1257      | 250      | 565       | 333      | 322      | 133      | 47       | 3080             | 28,00            | 322,74           |
| Fundação             | 2                     | 207       | 28       | 296       | 153      | 140      | -        | 111      | 937              | 9,38             | 163,12           |
| <b>Quantidade</b>    | 713                   | 4949      | 849      | 3063      | 973      | 1030     | 448      | 158      | 12183            | 123,12           | 1559,03          |
| <b>Custos (R\$)</b>  | 3.565,00              | 35.484,33 | 6.121,29 | 20.828,40 | 5.730,97 | 6.962,80 | 3.041,92 | 1.406,20 | <b>83.140,91</b> | <b>57.203,82</b> | <b>54.566,03</b> |
| <b>CUSTO TOTAL</b>   | <b>R\$ 194.910,78</b> |           |          |           |          |          |          |          |                  |                  |                  |

Fonte: Autor (2020)

Como esperado, o parâmetro GamaZ do Caso M-50 obteve pouca variação em relação aos demais casos avaliados. Assim, conclui-se que as alterações realizadas na edificação geraram pequena influência em tal coeficiente.

Tabela 23 - parâmetros de instabilidade para Caso 50-M

| Parâmetro | Valor máximo |
|-----------|--------------|
| GamaZ     | 1,05         |
| FAVt      | 1,07         |
| Alfa      | 0,75         |

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 24 apresenta o relatório final das flechas por pavimentos para os casos mais críticos, onde todas as flechas máximas encontram-se abaixo do limite. Para os andares mais críticos fez individualmente a avaliação da flecha pelo método Grelha Não-linear.

Tabela 24 -Relatório de flechas pelo método linear e não-linear – Caso 50-M

| Pavimento    | Análise    | Laje | Flecha máxima (cm) | Flecha limite (cm) | Situação |
|--------------|------------|------|--------------------|--------------------|----------|
| Reservatório | Linear     | 1    | -0,06              | 0,82               | OK       |
| Tipo 4       | Linear     | 3    | -1,18              | 1,39               | OK       |
| Tipo 3       | Não-linear | 3    | -1,43              | 1,46               | OK       |
| Tipo 2       | Não-linear | 4    | -1,27              | 1,46               | OK       |
| Tipo         | Não-linear | 2    | -1,12              | 1,46               | OK       |

Fonte: Autor (2020)

### 3.3 Análise dos resultados

Após a análise dos resultados apresentados pelo programa TQS, verificou-se que as mudanças nos casos 25-M, 35-M e 50-M são estruturalmente viáveis. Isso se deve ao fato de que os valores nesses casos ficaram dentro dos limites estabelecidos por norma, tanto para os parâmetros de estabilidade global quanto para os deslocamentos na estrutura.

#### 3.3.1 Análise de consumo de material e custos finais

Nos casos avaliados constatou-se que houve reduções no custo final do consumo de materiais com o aumento da resistência do concreto. A Tabela 25 apresenta o resumo do custo das análises obtidas para os três casos.

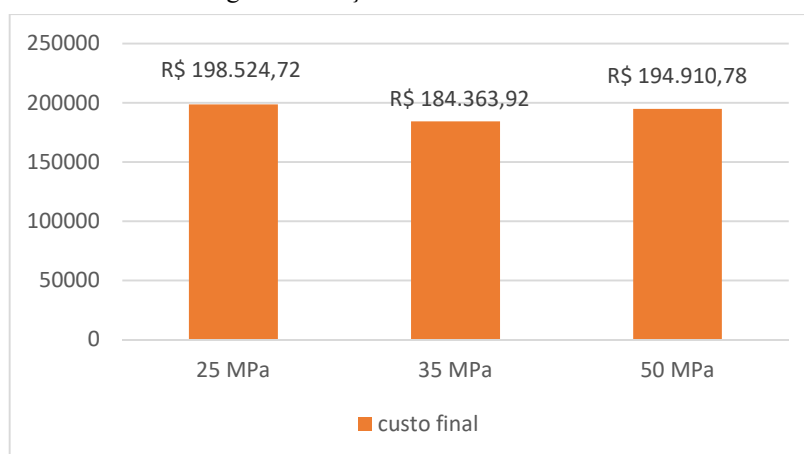
Tabela 25 – Resumo de custo para as análises

| Casos                      | 25-M                  |                  |                  | 35-M                  |                  |                  | 50-M                  |                  |                  |
|----------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| Insumos                    | Aço (kg)              | Concreto (m³)    | Fôrma (m²)       | Aço (kg)              | Concreto (m³)    | Fôrma (m²)       | Aço (kg)              | Concreto (m³)    | Fôrma (m²)       |
| Quantidades                | 642                   | 10,39            | 107,05           | 633                   | 10,09            | 103,06           | 712                   | 9,28             | 99,53            |
|                            | 2105                  | 36,18            | 370,69           | 2032                  | 28               | 343,4            | 2279                  | 22,86            | 326,28           |
|                            | 2489                  | 37,55            | 371,75           | 2286                  | 30,52            | 342,7            | 2662                  | 26,81            | 323,7            |
|                            | 2395                  | 37,49            | 370,97           | 2280                  | 30,52            | 342,69           | 2513                  | 26,79            | 323,74           |
|                            | 3050                  | 37,5             | 371,04           | 3059                  | 31,84            | 343,88           | 3080                  | 28               | 322,74           |
|                            | 803                   | 13,45            | 207,16           | 834                   | 11,44            | 179,39           | 937                   | 9,38             | 163,12           |
|                            | 11484                 | 172,56           | 1798,66          | 11124                 | 142,41           | 1655,12          | 12183                 | 123,12           | 1559,03          |
| <b>Custo Parcial (R\$)</b> | <b>76.118,43</b>      | <b>59.420,99</b> | <b>62.985,30</b> | <b>74.146,74</b>      | <b>52.351,68</b> | <b>57.865,50</b> | <b>83.140,91</b>      | <b>57.203,82</b> | <b>54.566,03</b> |
| <b>Total</b>               | <b>R\$ 198.524,72</b> |                  |                  | <b>R\$ 184.363,92</b> |                  |                  | <b>R\$ 194.910,78</b> |                  |                  |

Fonte: Autor (2020)

Com a variação da resistência do concreto, de 25 MPa para 35 MPa, ocorreu uma diminuição de cerca de 7% no orçamento, gerando uma economia de R\$14.160,00 reais com insumos. No entanto, entre as resistências de 25 MPa e 50 MPa observou-se uma pequena redução de custos, inferior à 2%. Ademais, o Caso 35-M destacou-se como mais favorável no quesito gastos, por apresentar economia final superior a 10 mil comparado aos demais casos em análise, de acordo com a Figura 9 abaixo.

Figura 9 – Orçamento final de insumos



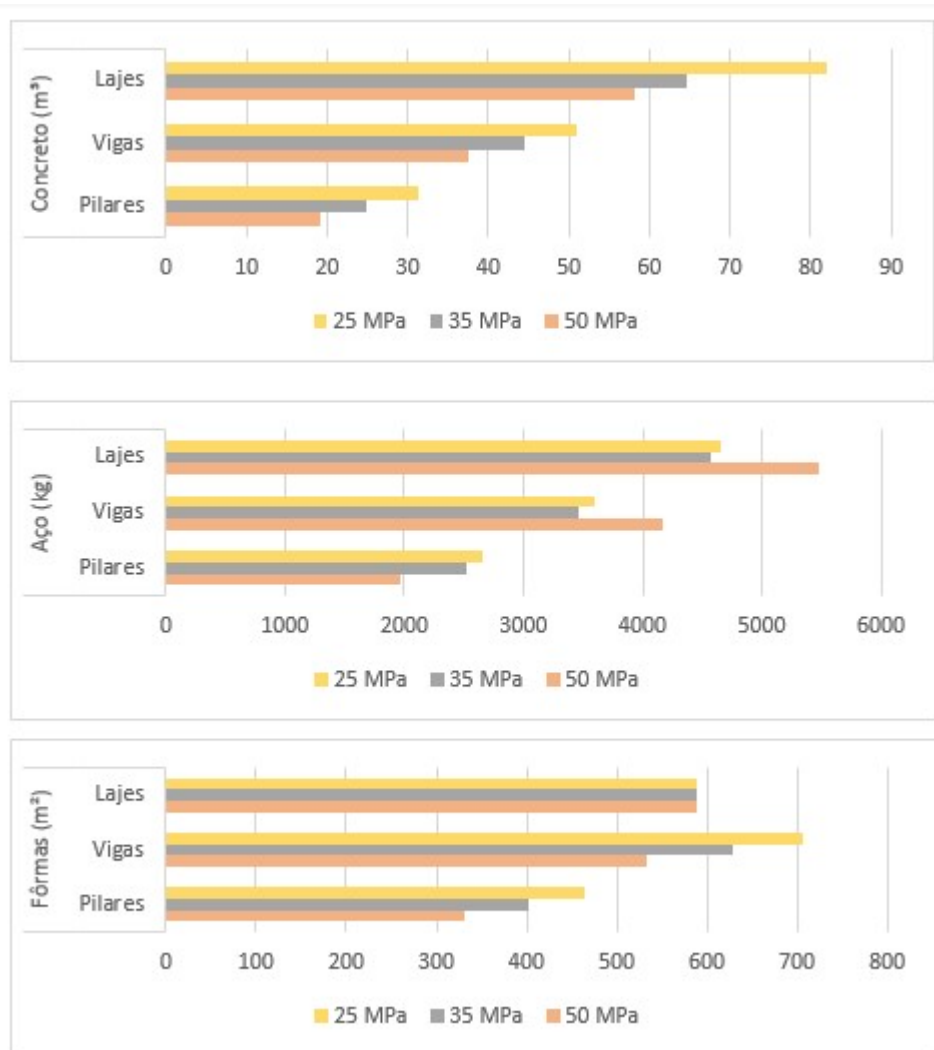
Fonte: Autor (2020)

Destaque-se a discrepância no valor do concreto de 50 MPa em relação ao demais. Dessa forma, mesmo gerando menor consumo, teve um alto custo final ultrapassando o orçamento do Caso 35-M. Logo, os Casos 25-M e 50-M apresentaram-se inviáveis economicamente, para

construção de uma edificação habitacional de pequeno porte. Destaque-se que este orçamento foi realizado considerando-se os valores de mercado entre o período de setembro e dezembro de 2020.

A Figura 10 mostra o consumo de cada insumo, concreto, fôrmas e aço, para as três resistências de concreto verificadas.

Figura 10 - Consumo por tipo de material nos casos em lajes maciças



Fonte: Autor (2020)

Por meio de análise da quantidade de insumos foi possível constatar alguns dados de consumo que justifiquem o menor orçamento para o Caso 35-M, dentre os quais destaque-se o elevado consumo de aço nas vigas e lajes do Caso 50-M.

Em relação ao consumo de concreto, de acordo com a análise, houve uma variação praticamente linear entre as três resistências, com diminuição gradual do consumo de concreto armado da

menor resistência para maior. No entanto, destaque-se uma divergência no Caso 25-M, com alto consumo de concreto nas lajes, o que gerou lajes espessas.

A utilização de fôrmas decorreu de forma decrescente da resistência de 25 MPa para a de 50 MPa, também, de forma gradual. Porém, com exceção das lajes, no qual manteve-se praticamente invariável o consumo.

### 3.3.2 Análise dos parâmetros Gama Z

Dentre os três casos analisados verificou-se uma alteração mínima do coeficiente GamaZ, conforme Tabela 26 a seguir. Dessa forma, as alterações realizadas não influenciaram de forma significativa este parâmetro, visto que os efeitos do GamaZ geram maior interferência em edificações de médio e grande porte, com perfis mais esbeltos, devido a deslocabilidade maior dos nós.

Tabela 26 - Resumo dos parâmetros de estabilidade dos casos analisados

| Parâmetro | Valor máximo |
|-----------|--------------|
| Caso 25-M | 1,03         |
| Caso 35-M | 1,02         |
| Caso 50-M | 1,05         |

Fonte: Autor (2020)

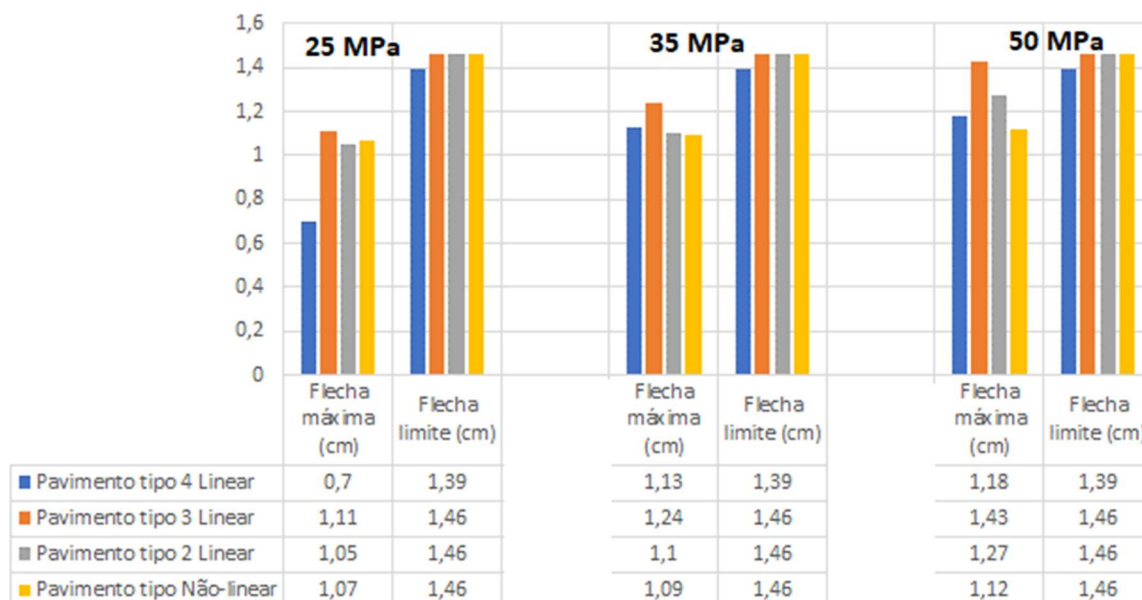
Assim, como o GamaZ em todos os casos foram abaixo de 1,1 a estrutura é considerada de nós fixos e dessa forma, pode-se desconsiderar os efeitos globais de 2ª ordem por ser inferiores à 10% dos esforços de 1ª ordem.

### 3.4 Análise das flechas

A análise realizada, com as diversas resistências e espessura da laje fixa, auxiliou na interpretação final dos dados do Caso 25-M, Caso 35-M e Caso 50-M, para dimensões dos elementos estruturais variadas, bem como, também, a resistência do concreto. Os resultados das flechas na laje mais crítica de cada pavimento estão apresentados na Figura 11. Ressalta-se que nos casos avaliados por grelha linear há uma pequena variação nos valores das flechas limites,

pois os resultados são multiplicados por um coeficiente definido nos critérios gerais de grelha para considerar de forma simplificada o efeito da fluência.

Figura 11 - Variação das flechas na laje L3 nos casos 25-M, 35-M e 50-M



Fonte: Autor (2020)

Após comparação dos resultados gerais dos casos, percebeu-se maiores flechas nas maiores resistências, principalmente no Caso 50-M, onde houve diminuição das flechas com o aumento da resistência da classe do concreto. Sendo assim, verificou-se que a variação da espessura da laje (14 cm para 25 MPa, 12 cm para 35MPa e 11 cm para 50MPa) gerou efeitos preponderantes na variação das flechas em relação à variação da resistência característica do concreto.

## 4 CONCLUSÃO

O *software* TQS e a norma ABNT NBR 6118: 2014, adjunto aos aprendizados teóricos, sobre dimensionamento de elementos estruturais em concreto armado, possibilitaram o desenvolvimento deste estudo, o qual teve como principal objetivo avaliar e comparar os efeitos produzidos da variação da resistência do concreto em uma edificação residencial de pequeno porte em concreto armado.

A crescente demanda e concorrência no mercado da construção civil requer recursos cada vez mais sofisticados para desenvolvimentos de projetos. O impulso gerado nesta área da engenharia contribui para elaboração de tecnologias na construção civil que buscam uma

minimização no consumo de recursos naturais, visando projetos mais limpos e sustentáveis, aliado à economia de material e ainda, com redução nos custos finais da obra.

Dentre os três casos analisados ao longo deste Trabalho de Conclusão de Curso pôde-se chegar em algumas conclusões que podem agregar contribuição aos casos mais comuns na construção civil, como edifícios habitacionais, em lajes maciças, de pequeno porte. Dessa forma, em questão de economia financeira, o Caso 35-M demonstrou-se o mais viável para o tipo de edificação analisada, levando-se em consideração valores considerados para o orçamento retirados da Tabela SINAPI entre os meses de setembro à dezembro de 2020.

Todos os casos chegaram em resultados admissíveis estruturalmente, sendo estes viáveis construtivamente. Porém, cada um obteve suas particularidades, como por exemplo, o Caso 50-M resultou na edificação com elementos mais esbeltos, menor consumo de concreto e fôrmas, no entanto, com preço inviável, por  $m^3$ , do material concreto armado de 50 MPa. Além disso, foi o caso em que obteve as maiores flechas nos vãos das lajes.

O Caso 25-M atingiu o maior orçamento final, maior consumo de material e maiores dimensões estruturais, comprometendo a estética aparente da edificação. Todavia, foi o caso que apresentou menores flechas.

Assim, conclui-se que, em uma análise final levando em consideração o custo-benefício, o Caso-35M seria o mais viável construtivamente, visto que apresentou menor custo total dentre todas as análises.

O efeito da resistência afetou, além do orçamento final, o peso próprio da estrutura à medida que foi aumentado a resistência do concreto armado. Também, houve diminuição da carga de fundação, pois se obteve uma edificação mais leve com a redução na espessura dos elementos estruturais.

## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2006.

BASTOS, P. S. S. **Lajes de Concreto**. Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2015.

MBUIATE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS LTDA. Croqui do pavimento tipo, Uberlândia, 2020.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Solicitações Normais Estados Limites Últimos Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 464 p.

J. S. SANTOS; M. V. REINERT; M. R. GARCEZ; A. B. ROHDEN. **Estudo comparativo entre o concreto de alto desempenho e o concreto convencional em pilares de edificações altas**. Disponível em: <

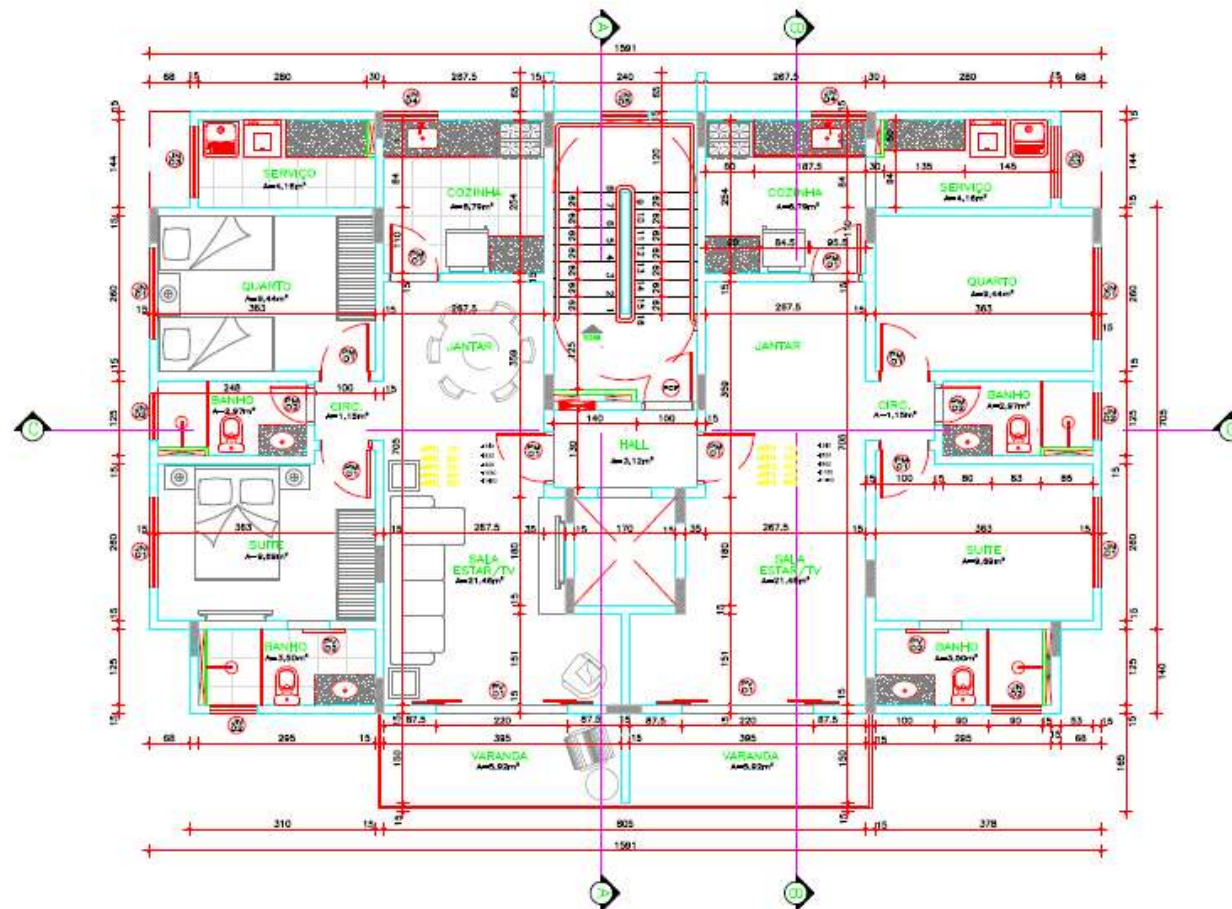
[https://www.researchgate.net/publication/309155661\\_Estudo\\_comparativo\\_entre\\_o\\_concreto\\_de\\_alto\\_desempenho\\_e\\_o\\_concreto\\_convencional\\_em\\_pilares\\_de\\_edificacoes\\_altas/link/58015cb908ae310e0d98afa9/download](https://www.researchgate.net/publication/309155661_Estudo_comparativo_entre_o_concreto_de_alto_desempenho_e_o_concreto_convencional_em_pilares_de_edificacoes_altas/link/58015cb908ae310e0d98afa9/download)>. Acesso em: 02 de novembro de 2020.

PINHEIRO, L.; MUZARDO, C.; SANTOS, S. **Lajes maciças**. USP – EESC, Departamento de Engenharia de Estruturas. 2003.

TESLA CONCURSOS. **Capítulo Lajes**. Disponível em: <[https://teslaconcursos.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Cap\\_Lajes.pdf](https://teslaconcursos.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Cap_Lajes.pdf)>. Acesso em: 15 de setembro de 2020.

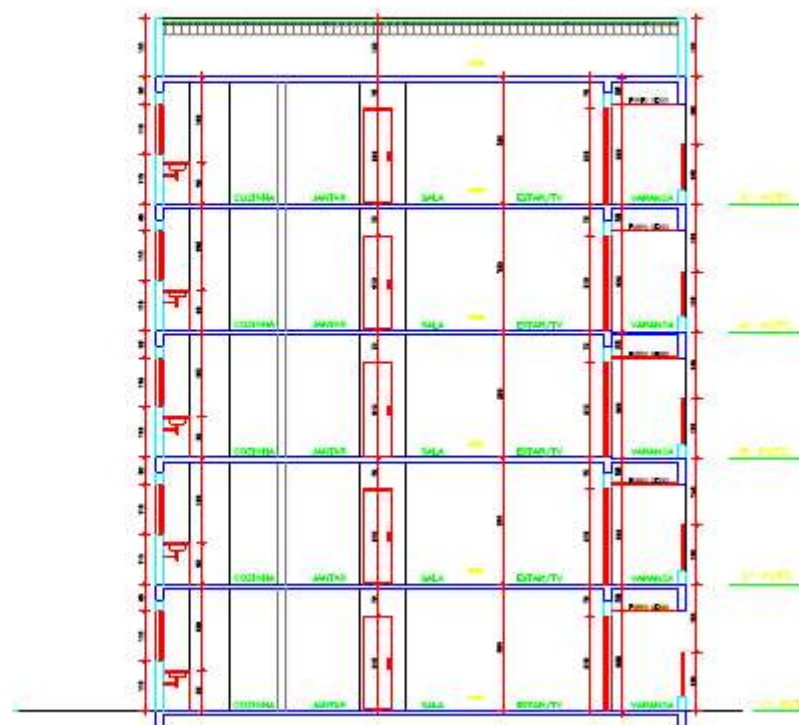
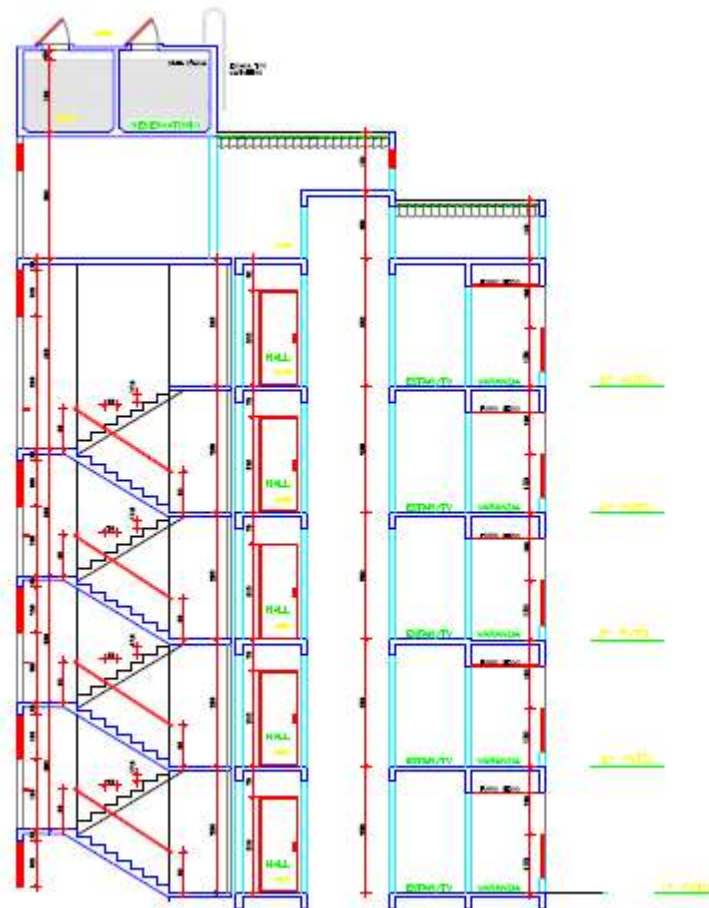
TQS DOCS. **Tutoriais**. Disponível em: <<http://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3177&language=pt-BR>>. Acesso em 13 de setembro de 2020.

# ANEXO A – PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TIPO



PLANTA  
PAVIMENTO TIPO (X5)  
ESC. 1:50

## ANEXO B – CORTE AA E CORTE BB DA EDIFICAÇÃO



## ANEXO C – CORTE CC DA EDIFICAÇÃO

