

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS-UFAL
CAMPUS SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JULIANA NORBERTO QUEIROZ

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO NO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO EM
CONCRETO ARMADO**

Delmiro Gouveia-AL
2018

JULIANA NORBERTO QUEIROZ

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À
COMPRESSÃO DO CONCRETO NO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO EM
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil como parte dos requisitos exigidos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Vinicius Costa Correia.

Delmiro Gouveia - AL

2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Larissa Carla dos Prazeres Leobino – CRB-4 2169

Q3a Queiroz, Juliana Norberto

Análise da influência da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento de um edifício em concreto armado / Juliana Norberto Queiroz. – 2018.

79 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Vinicius Costa Correia.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2018.

1. Engenharia estrutural. 2. Projeto estrutural. 3. Consumo de aço.
I. Título.

CDU: 624

Folha de Aprovação

JULIANA NORBERTO QUEIROZ

**Análise da Influência da Resistência Característica à Compressão do Concreto
no Dimensionamento de um Edifício em Concreto Armado**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
corpo docente do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas – Campus
Sertão e aprovado em 26 de setembro de
2018.

Vinicius Costa Correia

Prof. MSc. Vinicius Costa Correia, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:

Vinicius Costa Correia

Prof. MSc. Vinicius Costa Correia, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Alverlando Silva Ricardo

Prof. MSc. Alverlando Silva Ricardo, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

Victor Bezerra Falcão

Prof. MSc. Victor Bezerra Falcão, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

Dedico este trabalho a todos familiares e amigos(as) que me impulsionaram todos os dias com carinho e palavras de apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para superar a minhas dificuldades, possibilitando assim a conclusão do curso.

Aos meus pais, Marli Queiroz Norberto e Adilson Norberto dos Santos, pelo amor, incentivos e apoio incondicional durante a minha jornada. As minhas tias, Maria da Conceição Queiroz de Jesus e Auzenir Norberto dos Santos, por me apoiarem e incentivarem em todos os meus planos. E a todos os meus familiares que me apoiaram direta ou indiretamente ao longo dos anos da minha graduação.

À meu namorado, Guilherme Henrique Soares Gonçalves, por todo apoio e compreensão nesses anos de cursos, principalmente nos momentos de dificuldades que passei durante a graduação. A todos os meus amigos, em especial Giselle Araújo e Lucas Araújo dos Santos, vocês foram fundamentais para minha formação, agradeço por todo amor, força, incentivo e apoio que recebi de vocês durante todos esses anos que nos conhecemos.

Ao meu orientador, Vinicius Costa Correia, por todos os ensinamentos transmitidos e por toda dedicação para a realização deste trabalho.

RESUMO

A fase de execução do projeto estrutural de uma edificação é a que demanda maior custo na construção civil, com isso, a busca constante por redução se faz necessário, para isso, é preciso que haja a diminuição no consumo de materiais. Tendo isso em vista, o presente trabalho expõe um estudo relacionado à influência da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) no consumo do aço em um projeto estrutural de concreto armado. Para isso, a análise se deu com o dimensionamento de um edifício, com o auxílio do Eberick V10, com diferentes valores de f_{ck} para a superestrutura, sendo eles 25, 35 e 45 MPa. Foram verificados também os efeitos da variação do f_{ck} nos deslocamentos das lajes e vigas. A pesquisa mostrou que o menor consumo de aço ocorreu para o f_{ck} de 35MPa, enquanto os deslocamentos tiveram uma redução gradativa com o aumento do f_{ck} , fazendo com que o valor de 45 MPa apresentasse menores deslocamentos.

Palavras-chave: Resistência Característica à Compressão do Concreto (f_{ck}); Projeto Estrutural; Consumo de Aço; Deslocamentos.

ABSTRACT

The execution phase of the structural project of a building is the one that demands greater cost in the civil construction, with that, the constant search for reduction is necessary, for that, it is necessary that there is a decrease in the consumption of materials. In this paper, we present a study related to the influence of the concrete compressive strength (f_{ck}) on steel consumption in a structural reinforced concrete design. For this, the analysis was done with the dimensioning of a building, with the aid of Eberick V10, with different values of f_{ck} for the superstructure, being 25, 35 and 45 MPa. The effects of the variation of f_{ck} in the displacements of slabs and beams were also verified. The research showed that the lower steel consumption occurred for the f_{ck} of 35MPa, while the shifts had a gradual reduction with the increase of f_{ck} , making the value of 45 MPa lower displacements.

Keywords: Compressive strength of concrete (f_{ck}); structural design; Steel consumption; displacements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.....	21
Figura 2- Diagrama tensão-deformação para armadura passiva.	24
Figura 3- Geometria de elementos lineares.	26
Figura 4- Geometria de elementos bidimensionais ou superficiais.	26
Figura 5- Geometria de elementos bidimensionais ou superficiais.	27
Figura 6- Lajes lisas.	28
Figura 7 - Exemplo de laje lisa e cogumelo.....	29
Figura 8 - Laje cogumelo.....	29
Figura 9 - Laje nervurada.	30
Figura 10 - Vão efetivo.	31
Figura 11 - Tipos de lajes em função dos vínculos nas bordas.....	32
Figura 12 - Valores práticos para estimativa da altura das vigas.	34
Figura 13 - Tipos de solicitações em pilares.	35
Figura 14 - Comprimento de flambagem.....	36
Figura 15 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares intermediários.....	37
Figura 16 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de extremidade	38
Figura 17 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de canto.	38
Figura 18 - Sistema estrutural composto por lajes, vigas e pilares.	39
Figura 19 - Modelo tridimensional de uma estrutura.	51
Figura 20 - Localização da cidade de Maceió.	52
Figura 21 - Planta baixa.	53
Figura 22 - Pórtico 3D.	57
Figura 23 - Dimensionamento estrutural no software.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.	21
Quadro 2 – Representação dos tipos de apoio.	32
Quadro 3 - Valores de coeficiente adicional γ_n para pilares.	35
Quadro 4 - Cassetes de agressividade ambiental.	40
Quadro 5 - Cobrimento de acordo com a agressividade ambiental.	41
Quadro 6 - Limites para deslocamentos.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de aço conforme a classe de resistência do concreto estrutural.	59
Tabela 2 - Flechas nas vigas do pavimento Tipo 1.	63
Tabela 3 - Deslocamentos nas vigas do pavimento Cobertura.	65
Tabela 4 - Flechas nas lajes do pavimento Tipo 1.	68
Tabela 5- Flechas nas lajes do pavimento Cobertura.	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de aço em percentuais nos pilares.	60
Gráfico 2 - Consumo de aço em percentuais nas vigas.	60
Gráfico 3 - Consumo de aço em percentuais nas lajes.	61
Gráfico 4 - Consumo de aço em percentuais da superestrutura.	62
Gráfico 5 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Tipo1.	64
Gráfico 6 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Tipo1.	65
Gráfico 7 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Cobertura.	67
Gráfico 8 -Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Cobertura.	67
Gráfico 9- Deslocamentos em percentuais nas lajes do pavimento Tipo 1.	69
Gráfico 10- Deslocamentos em percentuais nas lajes do pavimento Cobertura.	70

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	13
1.2 JUSTIFICATIVA do trabalho	14
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA	14
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 CONCRETO ARMADO	16
2.2 CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO	16
2.2.1 Massa específica.....	17
2.2.2 Propriedades mecânicas	17
2.2.3 Resistência característica do concreto à compressão	20
2.2.4 Deformações	21
2.3 CARACTERÍSTICAS DO AÇO.....	23
2.4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS E SISTEMAS ESTRUTURAIS	25
2.4.1 Lajes.....	27
2.4.2 Vigas	33
2.4.3 Pilares	34
2.4.4 Sistemas estruturais	39
2.5 COBRIMENTO	40
2.6 ESTADOS LIMITES	41
2.6.1 Estado-limite último (ELU).....	42
2.6.2 Estado-limite de Serviço (ELS).....	43
2.6.3 Deslocamentos-Limites	44
2.7 AÇÕES.....	45
2.7.1 Ações Permanentes	45
2.7.2 Ações Variáveis.....	46
2.7.3 Ações Excepcionais	46
2.8 PROJETO ESTRUTURAL.....	47
2.9 SOFTWARES PARA DIMENSIONAMENTO	49
2.9.1 TQS.....	49

2.9.2	CYPECAD	50
2.9.3	Eberick	50
3.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
3.1	ÁREA DE ESTUDO	52
3.2	COLETA DE DADOS	53
3.3	PROCEDIMENTOS E ANÁLISE DE DADOS	54
3.3.1	Construção do projeto estrutural	54
3.3.2	Análise estrutural	56
3.3.3	Dimensionamento	57
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	CONSUMO DO AÇO	59
4.2	FLECHAS NAS VIGAS E NAS LAJES	62
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	73
	Apêndice A - Planta da forma do pavimento Tipo 1	77
	Apêndice B - Planta da forma do pavimento Cobertura	78

1. INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil devido às diversas vantagens que ele apresenta, principalmente a sua boa resistência à compressão, entretanto como qualquer material ele possui desvantagens, sendo uma delas a baixa resistência à tração. Diante disso, entra em cena a atuação do aço, que apresenta boa resistência à tração, a união desses dois materiais forma então o concreto armado.

A área estrutural é um dos ramos mais antigos e tradicionais da engenharia civil, sendo responsável por desenvolver os projetos estruturais. A estrutura por sua vez, é responsável por transmitir todos os esforços impostos a ela até o solo. No que tange o projeto estrutural, ele engloba todas as questões relacionadas à estrutura, como os elementos estruturais que irão compor os sistemas estruturais, a concepção estrutural, análise estrutural, materiais e o dimensionamento.

O projeto estrutural pode ser influenciado por diversas questões como o clima de onde será construído, especificidades arquitetônicas, inúmeras possibilidades de arranjo estrutural, entre outras. Apesar disso, as principais questões que estão ligadas ao projeto estrutural dizem respeito à segurança, economia e durabilidade, estes por sua vez estão relacionados principalmente à concepção estrutural e aos materiais utilizados.

Por muitos anos os projetos estruturais eram dimensionados de forma manual por tabelas e equações simplificadas, entretanto esse cenário começa a mudar com a chegada de programas computacionais. Os softwares auxiliam no dimensionamento e na análise estrutural, contudo o profissional qualificado na área para interpretar os resultados se faz necessário, já que podem ocorrer erros na hora do lançamento da estrutura.

A resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) é uma das primeiras características escolhidas para o dimensionamento de um projeto estrutural, ela está ligada diretamente às questões econômicas, de segurança e durabilidade da estrutura. O seu valor pode influenciar em questões como o

consumo de aço, que seria a relação da quantidade de aço e concreto utilizado, e os deslocamentos (flechas) dos elementos da estrutura.

Diante do exposto, a pesquisa em questão buscou realizar a análise da influência do f_{ck} no consumo de aço e na variação das flechas nos elementos estruturais da superestrutura de um prédio. O dimensionamento estrutural ocorreu com a variação do f_{ck} , seguindo também as recomendações da NBR 6118:2014 e com auxílio do software da AltoQi, Eberick V10.

1.2 – JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Conforme citado anteriormente, a economia faz parte do “tripé” que um projeto estrutural deve seguir. Com isso, o desperdício e o consumo de matérias influenciam de forma direta o valor final da estrutura. O objetivo do engenheiro estrutural é diminuir os custos econômicos da estrutura, para isso, deve-se analisar como esse quesito é influenciado, para a partir daí tomar medidas que diminuam esse valor, entretanto elas devem estar alinhadas também ao objetivo de ter segurança e durabilidade da estrutura.

Vale salientar, ainda, que a resistência característica à compressão do concreto é uma das premissas em um projeto estrutural, com base nela o dimensionamento é realizado. O valor adotado influencia no consumo de aço, que está diretamente ligado ao valor final que o projeto estrutural irá custar, além dos outros quesitos do tripé do projeto.

Nesse contexto, a análise da influência da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento estrutural de um edifício em concreto armado se torna pertinente, pois a partir disso vai ser possível observar como a estrutura se comporta com a alteração do f_{ck} em relação ao consumo de aço e os deslocamentos.

1.3 – OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão dispostos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais estão expostos a seguir.

1.3.1 – Objetivo geral

Realizar um estudo da influência da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento estrutural de um edifício em concreto armado.

1.3.2 – Objetivos específicos

- Dimensionar a superestrutura com três valores distintos de f_{ck} , sendo eles, 25, 35 e 45 MPa;
- Comparar os valores do consumo de aço obtidos a partir da variação do f_{ck} ;
- Comparar os deslocamentos nas vigas e nas lajes.

1.4 – ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se estruturado em 5 capítulos que se completam, contribuindo para obtenção dos resultados pretendidos.

No capítulo 1, é apresentado o tema do trabalho e sua contextualização, a justificativa, o objetivo geral, os objetivos específicos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2, é exposto o suporte teórico para o trabalho, abordando o concreto armado, os tipos de elementos estruturais e sistemas estruturais, cobrimento, estados limites, ações, assim como, o projeto estrutural e softwares que auxiliam no dimensionamento estrutural.

O capítulo 3 apresenta a metodologia e procedimentos utilizados para obtenção dos resultados, que vai desde a localização e descrição do objeto de estudo até os procedimentos e análise de dados.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos no dimensionamento usando três valores para o f_{ck} , trazendo a variação do consumo de aço na superestrutura e a variação dos deslocamentos das vigas e das lajes.

No mais, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais sobre o presente trabalho, deixando contribuições e sugestões para futuros trabalhos desenvolvidos com esse tema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta parte, são apresentadas as características dos principais materiais da composição do concreto armado (concreto e aço), algumas características essenciais para a elaboração de um projeto estrutural, como os elementos estruturais e suas ações conjuntas formando os sistemas estruturais, os estados limites, as ações, e o cobrimento; assim como as etapas no desenvolvimento de um projeto estrutural e os principais softwares usados no Brasil que auxiliam no seu desenvolvimento.

2.1 – CONCRETO ARMADO

O uso do concreto armado é predominante na construção civil em torno do mundo, isso ocorre devido às características que o material apresenta, como a facilidade na sua execução, a possibilidade de tomar qualquer forma, da durabilidade das peças, assim como, suas propriedades mecânicas. Em virtude das inúmeras possibilidades de uso do concreto armado, a sua aplicação ocorre nos mais variados tipos de estruturas, como em vigas, pilares, lajes, sapatas, tubulões, entre outros.

O concreto simples é composto pela união adequada de cimento, água e agregados miúdos (areia) e graúdos (britas ou seixos rolados). Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 17) comentam que o concreto apresenta uma satisfatória resistência à compressão e baixa resistência à tração, fazendo com que o seu uso sozinho não seja adequado, uma vez que os elementos estruturais geralmente apresentam na mesma seção tanto tensões de compressão quanto de tração. Para sanar essa deficiência é introduzido o aço, pois o mesmo é um material que apresenta uma boa resistência à tração, com isso, forma-se o concreto armado.

2.2 – CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

A união de cimento, água e agregados forma o concreto, o qual, apresenta características que o tornam um dos materiais mais usados, sendo encontrados facilmente no cotidiano, como em casas de alvenaria, obras hidráulicas, em pontes, edifícios, entre outros tipos de obras.

“Duas propriedades do concreto que o destacam como material construtivo são: sua resistência à água – diferentemente do aço e da madeira, o concreto sofre menor deterioração quando exposto à água, razão de sua utilização em estruturas de controle, armazenamento e transporte de água – sua plasticidade – que possibilita obter formas construtivas inusitadas, como se vê nas obras arquitetônicas de Niemeyer. Mas existem outras vantagens: a disponibilidade abundante de seus elementos constituintes e seu baixo custo.” (PEDROSO, 2009, p. 15).

2.2.1 – Massa específica

O peso próprio da estrutura de concreto simples ou armado é uma característica importante, visto que o mesmo influencia no dimensionamento dos componentes constituídos por esse material. Segundo Moreira (2004, p. 60), comumente é utilizado massa da unidade de volume, no qual incluem os vazios, essa massa específica do concreto varia entre 2300 Kg/m³ e 2500 Kg/m³.

Quando a massa específica real não for conhecida, para efeito de cálculo, podem ser usados os valores de 2400 kg/m³ e 2500 Kg/m³, respectivamente, para concreto simples e concreto armado. Se o valor da massa específica do concreto simples for conhecido pode-se a partir dela definir o valor da massa específica do concreto armado, para isso bastar acrescentar 100 Kg/m³ a 150 Kg/m³ no valor do concreto simples. (NBR 6118:2014, item 8.2.2).

2.2.2 – Propriedades mecânicas

As propriedades mecânicas referem-se ao comportamento desse material ao ser submetido à tensão, as principais são a resistência à compressão, resistência à tração e o módulo de elasticidade. Conforme Pinheiro (2007, p. 2.1), essas propriedades são determinadas através de ensaios que são executados de maneira específica.

a) Resistência à compressão

Para determinação da resistência à compressão simples do concreto no Brasil são realizados ensaios com copos de prova cilíndrico ou prismático. Usualmente os corpos de prova são cilíndricos, com dimensões de altura igual ao dobro do

diâmetro, onde são moldados de acordo com a NBR 5738:2015, item 4.1.1.1. Já a NBR 5739:2007 determina como devem ser executados os ensaios à compressão dos corpos de prova cilíndricos de concreto. O ensaio é realizado 28 dias depois que o corpo de prova for moldado e com ele é obtido o valor da resistência à compressão do concreto, chamado de f_c .

Segundo Pinheiro (2007, p. 2.2) ao se realizar vários ensaios com corpos de prova, é traçado um gráfico com os valores de f_c versus a quantidade de ensaios realizados, a partir dessa curva são obtidos os valores de resistência média à compressão, f_{cm} , e o de resistência característica, f_{ck} .

b) Resistência à tração

Embora o concreto simples apresente baixa resistência à tração, é necessário conhecer o seu valor, pois as peças construídas com o mesmo são responsáveis por suportar esforços cortantes e também se relaciona diretamente com a sua fissuração, assim como afirmam Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 36).

Segundo a NBR 6118:2014, item 8.2.5, “a resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas em ensaios realizados segundo a ABNT NBR 7222:2010 e a ABNT NBR 12142:2010, respectivamente”. Quando não têm ensaios para determinar esses valores podem ser usadas as equações 2.1, 2.2 e 2.3 para concreto com resistência característica à compressão de até 50 MPa.

$$f_{ctk,inf} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (2.1)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad (2.2)$$

$$f_{ctk,inf} = 1,3 f_{ct,m} \quad (2.3)$$

Ainda de acordo com a NBR 6118:2014, item 8.2.5, essas equações são utilizadas para $f_{ckj} \geq 7\text{MPa}$ e podem ser usadas para idades diferentes de 28 dias.

c) Módulo de elasticidade

Essa propriedade mecânica tem como finalidade a medição da rigidez de um material sólido, podendo ser definido a partir da relação de tensão e deformação, conforme o diagrama tensão-deformação. (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2016, p. 38).

Segundo a NBR 6118:2014, o módulo de elasticidade deve ser obtido através do ensaio que é descrito pela NBR 8522:2017. Ainda segundo a norma, quando não forem realizados ensaios ou não existir informações sobre o concreto pode-se usar a equação 2.4 (para f_{ck} de 20 MPa a 50MPa) ou equação 2.5 (para f_{ck} de 55 MPa a 90MPa) para determinar o valor estimado para o módulo de elasticidade para concreto com idade de 28 dias.

$$E_{ci} = 5\,600 f_{ck}^{1/2} \quad (2.4)$$

$$E_{ci} = 21,5 \times 10^3 \times \alpha_E \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad (2.5)$$

A equação 2.4 pode ser usada também para concreto com idade maior que 7 dias, basta substituir f_{ck} por f_{ckj} , que é referente à resistência à compressão na idade que se deseja descobrir o módulo de elasticidade.

A NBR 6118:2014, item 8.2.8, mostra ainda a expressão que deve ser utilizada para determinar o módulo de elasticidade secante (equação 2.6), o qual é usado em projetos para a determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço.

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (2.6)$$

d) Módulo de elasticidade e Coeficiente de Poisson

Quando o concreto é submetido a uma força surgem deformações em duas direções, tanto na direção que a força foi aplicada quanto na direção transversal à força, a relação entre essas deformações é chamada de coeficiente de Poisson. A NBR 6118:2014, item 8.2.9, comenta que “para tensões de compressão menores que $0,5f_c$ e tensões de tração menores que f_{ct} , o coeficiente de Poisson ν pode ser tomado igual a 0,2 e o módulo de elasticidade transversal G_s igual a $0,4E_{cs}$ ”.

2.2.3 – Resistência característica do concreto à compressão

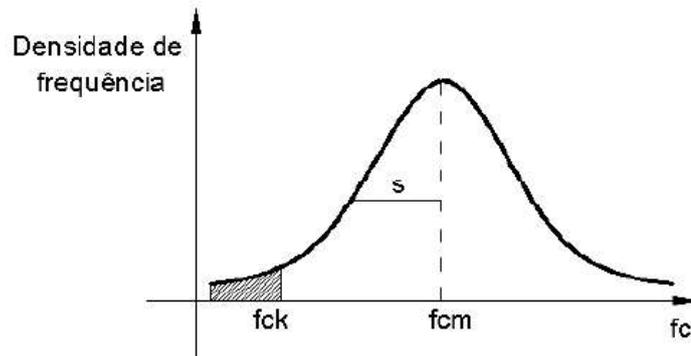
A principal diferença entre os tipos de concreto consiste em sua resistência característica à compressão, denominada de f_{ck} , a qual é responsável por quantificar os esforços de compressão que o mesmo é capaz de suportar. A escolha do valor da resistência característica à compressão, a ser utilizada no projeto, depende do tipo de estrutura, a partir disso o projetista escolhe o valor mais adequado para cada tipo de peça que será dimensionada.

Como o valor da resistência característica à compressão do concreto é adotado no momento do dimensionamento da estrutura, o mesmo está diretamente ligado tanto à segurança quanto à estabilidade estrutural. Em vista disso, essa propriedade é importante no que diz respeito a dimensionamento estrutural.

Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 34) explicam que em um ensaio de compressão, realizado em uma determinada quantidade de corpos de prova, os valores obtidos são mais ou menos dispersos, fazendo com que o f_{ck} seja um valor expressivo a essa amostra, no qual leva-se em consideração tanto a dispersão quanto o valor médio que a mesma apresenta.

Com um grande número de corpos de prova é possível fazer uma análise estatística para determinar o f_{ck} . Essa análise parte da construção de um gráfico com os valores de resistência à compressão *versus* a quantidade de corpos de provas, com isso, é encontrado a curva estatística de Gauss ou a curva de distribuição normal (figura 1). Na curva é encontrado o valor de compressão médio, f_{cm} , e o valor da resistência característica do concreto à compressão, f_{ck} . Ainda referente à curva, 5% dos corpos de prova possuem $f_c < f_{ck}$ enquanto os outros 95% possuem $f_c \geq f_{ck}$. (PINHEIRO, 2007, p. 2.2).

Figura 1- Curva de Gauss para a resistência do concreto à compressão.



Fonte: PINHEIROS (2007, p. 2.2)

Como supracitado, para se obter a curva de Gauss é necessária uma grande quantidade de corpos de prova para realizar o ensaio, entretanto isso se torna inviável, principalmente em uma obra, por isso é determinado o valor estimado para a resistência característica do concreto à compressão.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os concretos para fins estruturais por meio da norma NBR 8953:2015, eles são classificados nos grupos I e II, de acordo com a resistência característica à compressão (f_{ck}), o quadro 1 apresenta essa classificação.

Quadro 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: Adaptado da NBR 8953 (2015, p. 2).

2.2.4 – Deformações

As deformações que ocorrem no concreto são devido a sua estrutura interna, sendo assim, tem como origem o próprio material, a execução das peças estruturais, utilização da estrutura ou por forças externas.

a) Retração

Segundo Amaral (2011, p. 25), a retração ocorre devido à redução do volume do concreto após a sua moldagem, ocorrendo devido à perda de água de amassamento por evaporação, mudança de temperatura, fenômenos químicos e mudanças de volume no estado plástico. Os tipos de retração serão descritos a seguir:

- Retração química: ocorre devido à reação durante a hidratação do cimento.
- Retração por secagem: a variação de volume ocorre devido à perda de água para o ambiente.
- Retração por carbonização: o hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), contido no cimento, reage com o dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera fazendo com que o volume reduza.
- Retração capilar: a evaporação parcial da água capilar juntamente com a perda da água adsorvida, faz com que o fluxo de água provoque essa retração. (PINHEIRO, 2007, p. 2.9).

b) Expansão

Segundo Araújo (2002, p. 21) quando o concreto é submerso em água há um aumento de volume devido à absorção desse líquido.

c) Deformação imediata

Quando o concreto é submetido a uma força ocorre a deformação imediata, isso acontece devido à acomodação dos cristais que constituem a matéria. Essa acomodação é influenciada também pela quantidade de vazios que o material apresenta, pois eles permitem uma maior acomodação interna. (GIONGO, 2007, p. 16).

d) Fluência

Ainda segundo Giongo (2007, p. 16), a fluência ocorre depois da deformação imediata, a acomodação dos cristais gera forças de compressão na água capilar,

aumentando assim o volume de água que sai da peça de concreto por evaporação. Se essa força continuar sendo aplicada, os meniscos caminham para capilaridades cada vez mais finos, fazendo com que a tensão capilar aumente, diante disso a deformação começa a ocorrer, na qual é chamada de fluência.

e) Deformações térmicas

Ao ser submetido à variação de temperatura, a estrutura constituída de concreto tende a se deformar, isso ocorre devido ao material apresentar um coeficiente de dilatação térmica, α_{te} , o seu valor segundo a NBR 6118:2014, item 8.2.3, pode ser admitido como sendo igual a $10^{-5}/^{\circ}C$.

2.3 – CARACTERÍSTICAS DO AÇO

O aço é uma liga metálica formada principalmente por ferro e carbono, existem vários tipos, dos quais depende da sua composição, que influencia diretamente nas suas características mecânicas. Segundo Pinheiro (2007, p. 3.1), o teor de carbono no aço é de cerca de 0,002% até 2%, enquanto os aços estruturais, usados na construção civil apresentam um teor de 0,18% a 0,25%.

Como já foi mencionado, o concreto apresenta baixa resistência à tração enquanto o aço apresenta uma boa resistência nesse quesito, isso faz com que o uso em conjunto desses materiais, que nada mais é que o concreto armado, seja uma alternativa para sanar a deficiência do concreto. Além de sua já conhecida e comprovada resistência à tração o uso do aço é conveniente por conta da sua ductilidade e por aumentar a resistência à compressão se for bem dimensionado.

Segunda a NBR 6118:2014, item 8.3.1, “nos projetos de estruturas de concreto armado deve ser utilizado aço classificado pela ABNT NBR 7480:2007 com o valor característico da resistência de escoamento nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60”.

Através de ensaios de tração é possível determinar as principais características mecânicas de um aço, sendo elas o limite elástico, a resistência e o alongamento na ruptura (PINHEIRO, 2007, p. 3.5).

a) Ductilidade, massa específica e coeficiente de dilatação térmica

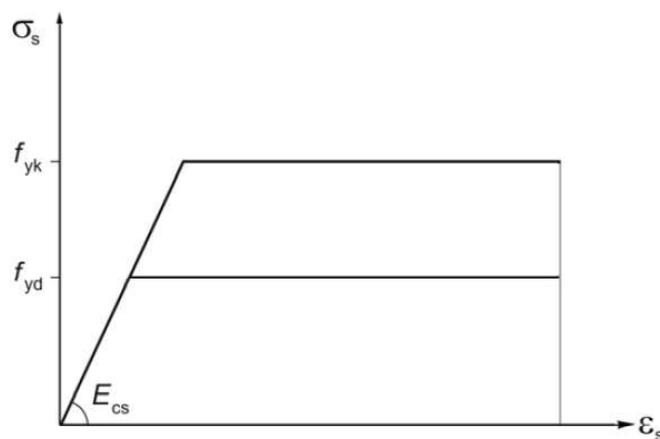
A ductilidade de um material é referente à capacidade do mesmo se deformar plasticamente e não se romper, assim sendo, quanto maior a ductilidade do aço maior será a sua capacidade de se alongar sem se romper. A massa específica do aço de armadura passiva tem um valor de 7850 kg/m^3 e coeficiente de dilatação térmica de $\alpha = 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para o intervalo de temperatura de 20° e 150°C . (PINHEIRO, 2007, p. 3.6).

b) Diagrama tensão deformação

Por meio dos ensaios realizados conforme a ABNT NBR ISO 6892-1:2015 são obtidos o diagrama tensão-deformação do aço, os valores característicos da resistência ao escoamento f_{yk} , da resistência à tração f_{stk} e da deformação na ruptura ε_{uk} . (NBR 6118:2014, item 8.3.6).

Ao ser submetido a tensões, o aço de armadura passiva, apresenta diagrama de tensão-deformação mostrado na figura 2. Esse diagrama é simplificado, sendo válido para intervalos de temperatura de 20°C a 150°C , e pode ser usado no cálculo nos estados-limite de serviço e último, para aços com ou sem patamar de escoamento.

Figura 2- Diagrama tensão-deformação para armadura passiva.



Fonte: NBR 6118 (2014, p. 27).

c) Módulo de elasticidade

Essa característica mecânica tem como finalidade a medição da rigidez de um material sólido, seu valor geralmente é informado pelo fabricante do material ou por meio de ensaio. A NBR 6118:2014, item 8.3.5, explica que se não tiver informação sobre o valor do módulo de elasticidade pode ser admitido igual a 210 GPa.

d) Limite elástico, resistência e alongamento na ruptura

Uma das principais características mecânicas do aço é o limite elástico, que segundo Pinheiro (2007, p. 3.5), é a máxima tensão que o material suporta sem que se produzam deformações plásticas ou remanescentes, além de certos limites. Já em relação à resistência, Almeida (2002, p. 9) comenta que ela diz respeito à máxima força de tração dividida pela área inicial da seção transversal do corpo de prova ensaiado. Por fim, tem-se o alongamento que é referente ao aumento do comprimento do corpo de prova na ruptura, devido à tensão que está sendo aplicada.

2.4 – ELEMENTOS ESTRUTURAIS E SISTEMAS ESTRUTURAIS

Uma estrutura é a associação de vários elementos que são responsáveis por suportar e transmitir os esforços que estão atuando sobre ela até o seu destino final. Uma estrutura é formada por diversos componentes, os quais são chamados de elementos estruturais.

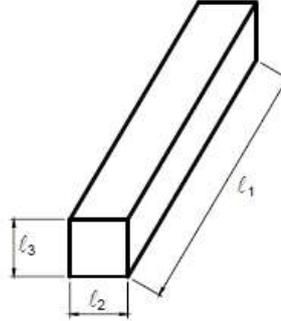
Segundo Bastos (2006b, p. 7) esses elementos estruturais podem ser classificados de diferentes maneiras, sendo uma delas a classificação segundo a sua geometria. Essa classificação faz um comparativo entre as três dimensões do elemento, sendo elas o comprimento, altura e espessura. A partir desse comparativo os elementos podem ser nomeados como elementos lineares, bidimensionais e tridimensionais.

a) Elementos Lineares

Esse tipo de elemento é referente às peças em que o comprimento longitudinal é maior em pelo menos três vezes à maior dimensão da seção transversal (figura 3), também sendo nomeadas de barras (NBR 6118:2014, item

14.4.1). Conforme Bastos (2006b, p. 7), os exemplos mais comuns de elementos lineares são as vigas e os pilares.

Figura 3- Geometria de elementos lineares.



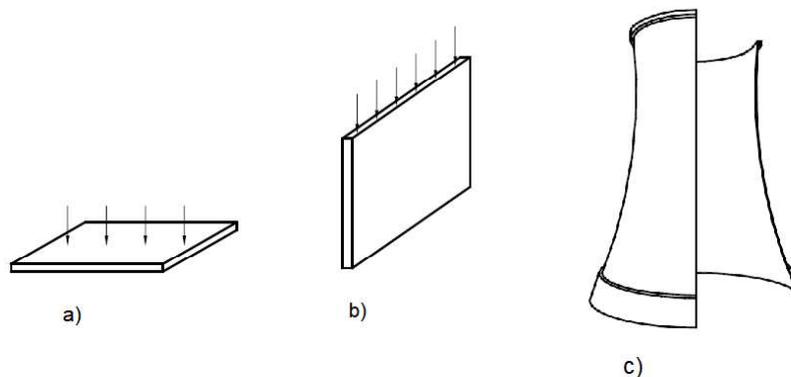
Fonte: Bastos (2006b, p. 8).

b) Elementos Bidimensionais

Conhecidos também como superficiais, se referem aos elementos em que uma das dimensões é bem menor que as demais, essa dimensão é relativa à espessura. Os elementos bidimensionais são subdivididos em placas, chapas e cascas (FONTES, 2005, p. 8).

Bastos (2006b, p. 8) define as placas como elementos que recebem carregamento perpendicular ao seu plano (figura 4-a), enquanto as chapas têm carregamento contido nesse plano (figura 4-b). Já as cascas são classificadas dessa forma quando sua superfície é curva (figura 4-c).

Figura 4- Geometria de elementos bidimensionais ou superficiais.

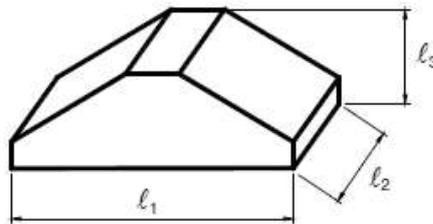


Fonte: Adaptado de Bastos (2006b, p. 9).

c) Elementos Tridimensionais

Ainda de acordo com Bastos (2006b, p. 8), são aqueles em que as três dimensões têm a mesma ordem de grandeza, chamados também de elementos de volumes, tendo como exemplo blocos e sapatas de fundação, consolos, entre outros. Esse tipo de elemento é exemplificado na figura 5.

Figura 5 - Geometria de elementos bidimensionais ou superficiais.



Fonte: Bastos (2006b, p. 8).

2.4.1 – Lajes

As lajes são elementos estruturais que se enquadram na definição de elementos bidimensionais, isso ocorre devido à duas das suas dimensões, comprimento e largura, serem da mesma ordem de grandeza e serem maiores que a terceira dimensão, que é referente à espessura. Esse tipo de elemento estrutural é comumente utilizado em pisos e coberturas de edificações.

As lajes têm como função receber a maior parte das ações aplicadas em uma construção, as cargas impostas a elas dependem da finalidade para a qual a laje foi projetada, podendo ser pessoas, paredes, equipamentos, entre outros. De modo geral, as ações aplicadas à laje são perpendiculares ao seu plano, podendo ser do tipo distribuída na área, linearmente ou forças concentradas, em casos particulares, pode ocorrer ações de momento fletor que são geralmente aplicados nas bordas da laje. (BASTOS, 2015b, p. 1)

Habitualmente, as cargas aplicadas nas lajes são transmitidas às vigas, contudo isso pode mudar dependendo do tipo de laje utilizada. Existem variados tipos de lajes, como lisas, cogumelos, nervuradas, maciça, entre outras.

a) Lajes lisas

A NBR 6118:2014, item 14.7.8, define as lajes lisas como sendo aquelas que se apoiam diretamente nos pilares, sem o auxílio de capiteis. Na qual a análise estrutural deve ser realizada com o uso de procedimentos numéricos adequados como diferenças finitas, elementos finitos ou elementos de contorno.

A figura 6 mostra um exemplo desse tipo de laje, que segundo Bastos (2006b, p. 11), a principal vantagem desse tipo de estrutura, em relação às lajes maciças, consiste na eliminação da maioria das vigas, apesar de apresentarem maior espessura. Outras vantagens estão relacionadas a custos menores e maior rapidez de construção, entretanto apresentam maiores deformações.

Figura 6- Lajes lisas.

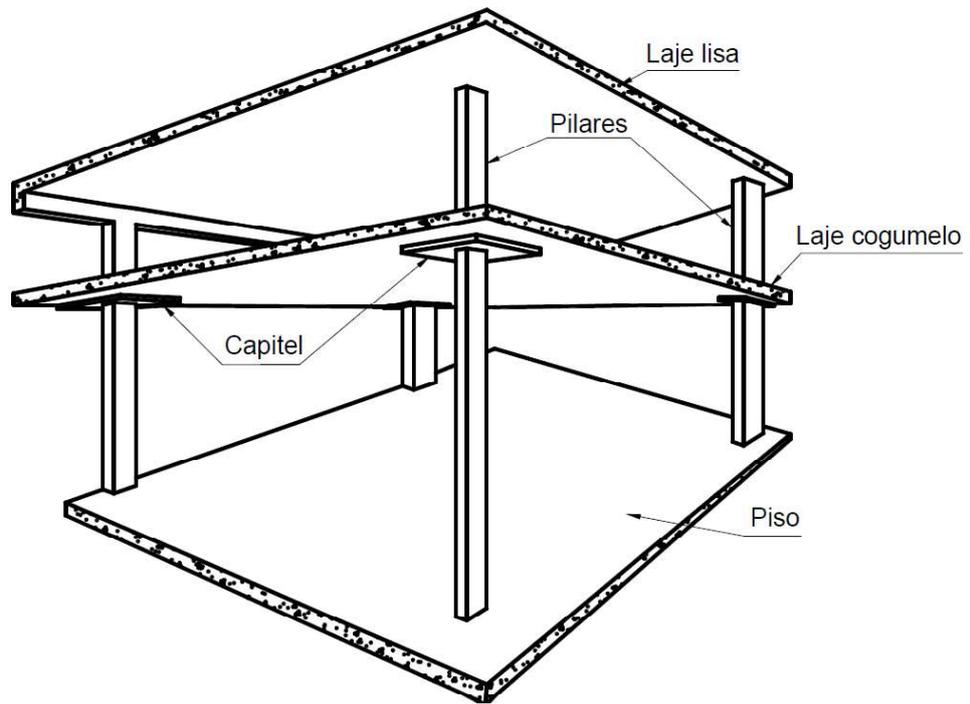


Fonte: Civilização Engenharia (2016).

b) Lajes cogumelos

As lajes cogumelos são semelhantes às lajes lisas (figura 7), pois elas se apoiam diretamente sobre os pilares, a diferença ocorre devido ao uso de capitéis (figura 8). Pela definição de Bastos (2006b, p. 12) capitel “é a região nas adjacências dos pilares onde a espessura é aumentada com o objetivo de aumentar a sua capacidade resistente nessa região de alta concentração de esforços cortante e de flexão”.

Figura 7 - Exemplo de laje lisa e cogumelo.



Fonte: Bastos (2006b, p. 12).

Figura 8 - Laje cogumelo.



Fonte: Matisse (2012).

c) Lajes nervuradas

As lajes nervuradas são definidas como lajes que são moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas. Nas nervuras pode ser colocado material inerte e sua localização é na zona de tração para momentos positivos (NBR 6118:2014, item 14.7.7).

Conforme Silva (2005, p. 16), as lajes nervuradas podem ser constituídas por uma ou duas mesas de concreto e as nervuras são concentradas nas armaduras de tração nas quais normalmente são posicionadas em uma ou duas direções. Os espaços entre as nervuras podem permanecer vazios ou serem preenchidos por materiais que sejam leves, inertes, ou sem função estrutural. Esse tipo de laje pode ser visualizada na figura 9.

Figura 9 - Laje nervurada.



Fonte: Atex (2018).

d) Lajes maciças

As lajes maciças são elementos totalmente preenchidos por concreto, que possuem armaduras longitudinais de flexão e armaduras transversais, nas quais as bordas são apoiadas em vigas ou paredes. As lajes maciças podem ser tanto em concreto armado como em concreto protendido, tendo diversas utilidades como

edifícios de múltiplos pavimentos, reservatório, construção de grande porte, entre outras (BASTOS, 2015b, p. 1).

As lajes maciças podem ser classificadas em relação à sua armadura principal, quando a relação entre o vão maior e o vão menor da laje é maior do que dois, a laje é armada em uma direção, enquanto se essa relação for menor ou igual a dois, é armada em duas direções (PINHEIRO, 2007; CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2016).

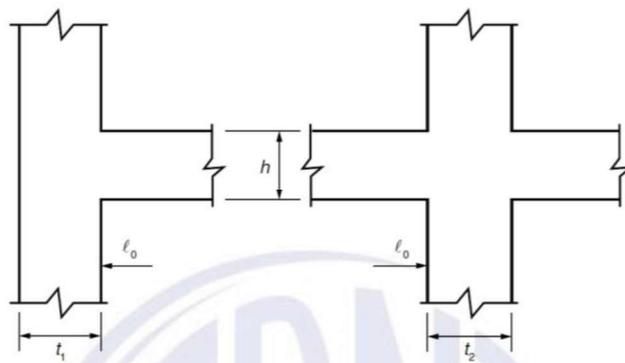
Ainda conforme Pinheiro (2007, p. 11.3), as armaduras das lajes armadas em duas direções são calculadas para resistir os momentos fletores nessas direções. No que diz respeito às lajes armadas em uma direção, a armadura principal é calculada para a direção de menor vão, desconsiderando a outra direção, no qual esse elemento é calculado como se fosse um conjunto de vigas-faixa na direção de menor vão.

Para determinar o vão efetivo da laje maciça é usada a equação 2.7.

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (2.7)$$

Sendo, a_1 o menor valor entre $(t_1/2$ e $0,3h)$ e a_2 o menor valor entre $(t_2/2$ e $0,3h)$, a figura 10 apresenta quais são as dimensões de t_1 , t_2 , h e l_0 .

Figura 10 - Vão efetivo.



Fonte: NBR 6118 (2014, p. 90).

Conforme Campos Filho (2014a, p.2), as bordas das lajes podem apresentar três tipos de vinculação (quadro 2), sendo elas:

- **Apoiada:** são bordas que são apoiadas em uma viga ou alvenaria, e ocorrem devido à inexistência de continuidade da laje.
- **Livre:** quando ocorre a ausência de apoio, isto é, no qual não ocorre nenhuma vinculação ao longo daquele lado.
- **Engastada:** ocorre quando há continuidade da laje, e o engaste acontece pela laje adjacente.

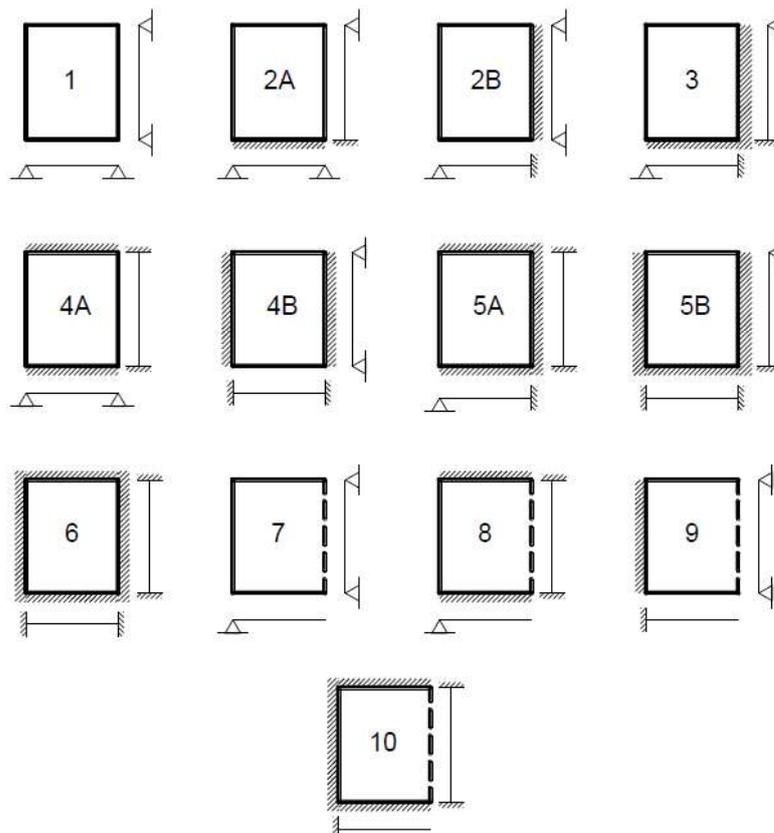
Quadro 2 – Representação dos tipos de apoio.

Borda livre	Borda simplesmente apoiada	Borda engastada
- - - - -	—————	// // // // //

Fonte: Pinheiro (2007, p. 11.3).

A figura 11 apresenta diversas combinações de vínculos nas bordas das lajes retangulares. Cada combinação recebe um número para diferenciar os vínculos que cada uma apresenta.

Figura 11 - Tipos de lajes em função dos vínculos nas bordas



Fonte: Bastos (2015b, p. 6).

Em relação à espessura das lajes a NBR 6118:2014, item 13.2.4.1, define os valores mínimos para espessura de acordo com o tipo e utilização desse elemento.

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 15 cm para lajes com protensão apoiada em vigas, com o mínimo de $l/42$ para lajes de piso biapoiadas e $l/50$ para lajes de piso contínuas;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes cogumelo fora do capitel.

2.4.2 – Vigas

Como supracitadas as vigas são elementos unidirecionais, pois seu comprimento é pelo menos três vezes maior que as dimensões transversais do elemento. Carvalho (2012, p. 79) e Pinheiro (2007, p. 15.1) explicam que os esforços predominantes nas vigas são momento fletor e força cortante e, geralmente, servem de apoio para lajes e paredes, transmitindo aos pilares suas cargas.

De modo geral é dada preferência para que as vigas fiquem embutidas nas paredes de vedação, para que elas não sejam visivelmente perceptíveis. Devido a isso a largura das vigas segue a espessura final da parede, dependendo assim das dimensões da alvenaria e levando em consideração a posição em que a unidade será assentada (BASTOS, 2015a).

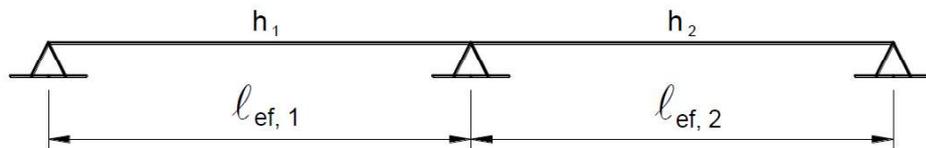
Em relação a seção transversal mínima, a NBR 6118:2014, item 13.2.2, menciona que as vigas não podem apresentar largura menor que 12 cm, enquanto as vigas-parede, menor que 15 cm. A norma menciona ainda que em casos excepcionais pode usar um valor mínimo absoluto de 10 cm, desde que respeite os espaçamentos das armaduras, o cobrimento e que o lançamento e a vibração do concreto estejam de acordo com a NBR 14931:2003.

O vão, o carregamento e a resistência do concreto são as características mais importantes para determinar a altura das vigas, das quais devem proporcionar tanto resistência mecânica quanto baixa deformabilidade. A determinação do vão efetivo para o dimensionamento das vigas segue os mesmos procedimentos do calculado para as lajes, utilizando para isso a equação 2.7. Para fazer uma estimativa da altura (figura 12) necessária de uma viga são usadas as equações 2.8 e 2.8 (BASTOS, 2015a, p.7)

$$h_1 = \frac{l_{ef,1}}{12} \quad (2.8)$$

$$h_2 = \frac{l_{ef,2}}{12} \quad (2.9)$$

Figura 12 - Valores práticos para estimativa da altura das vigas.



Fonte: Bastos (2015a, p. 7).

2.4.3 – Pilares

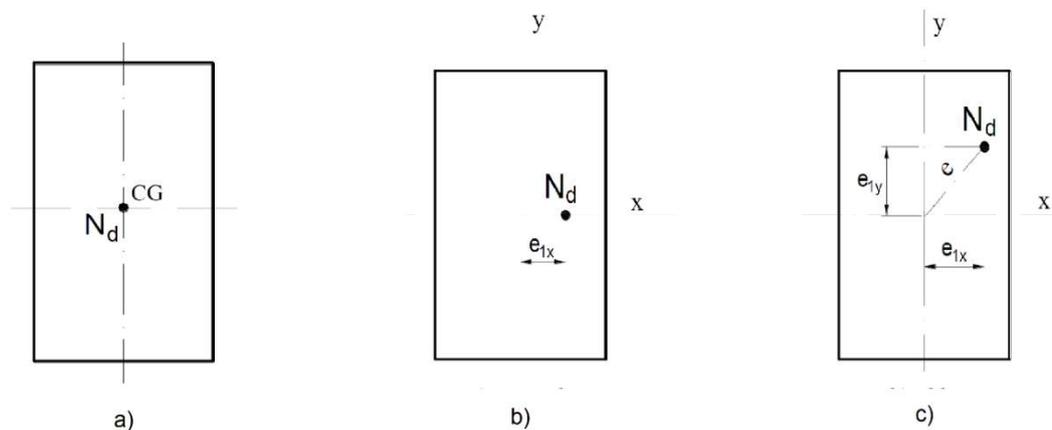
Os pilares são elementos lineares, nos quais normalmente são dispostos na vertical e a principal ação atuando sobre ele é de compressão. O dimensionamento leva em consideração os esforços normais, momentos fletores e esforços cortantes no caso de ação horizontal (BASTOS, 2017, p. 1). Esse elemento estrutural é mais importante na estrutura tanto em relação à capacidade de carga quanto em relação à segurança do edifício, podendo até fazer parte do sistema de contraventamento que é responsável por garantir estabilidade global devido a ações verticais e horizontais (BASTOS, 2006b, p. 13)

Nas estruturas formadas por lajes, vigas e pilares, o caminho das cargas inicia nas lajes, transmitindo para as vigas, que por sua vez transmitem para os pilares, que são responsáveis por transmitir essas cargas para a fundação. Assim sendo, os pilares são responsáveis por receber todas as cargas dos andares

superiores, acumular as reações das vigas em cada andar e conduzir essas ações até a fundação (PINHEIRO, 2007, p. 16.1).

As solicitações nos pilares podem ser compressão simples, no qual a força normal é aplicada no centro geométrico (figura 13a), ou flexão composta que é atuação tanto de força normal quanto de momento fletor sobre o pilar. A flexão composta pode ocorrer de duas formas quando existe a força normal e um momento fletor em uma direção ou quando existe força normal e dois momentos fletores, nas duas direções principais do pilar, chamadas respectivamente de normal (figura 13b) e oblíqua (figura 13c).

Figura 13 - Tipos de solicitações em pilares.



Fonte: Adaptado de Bastos (2017, p. 4).

A NBR 6118:2014, item 13.2.3, determina que a seção transversal mínima dos pilares, independente da sua forma, não deve ter dimensão menor que 19 cm. A norma ainda cita que em casos especiais essa dimensão pode variar entre 19 cm e 14 cm, desde que acrescente na multiplicação dos esforços solicitante um coeficiente adicional γ_n (quadro 3) e independente das dimensões do pilar ele deve apresentar uma área transversal superior a 360 cm².

Quadro 3 - Valores de coeficiente adicional γ_n para pilares.

b (cm)	≥19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2014, p. 73).

O pilar apresenta dois tipos de classificação, a primeira é referente à sua esbeltez e a segunda referente à sua posição.

- **Classificação de acordo com o índice de esbeltez**

O índice de esbeltez é a relação entre o comprimento de flambagem e o raio de giração, assim como mostra a equação 2.10 (NBR 6118:2014, item 15.8.2).

$$\lambda = \frac{l_e}{i} \quad (2.10)$$

Sendo i o raio de giração calculado com auxílio da equação 2.11.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.11)$$

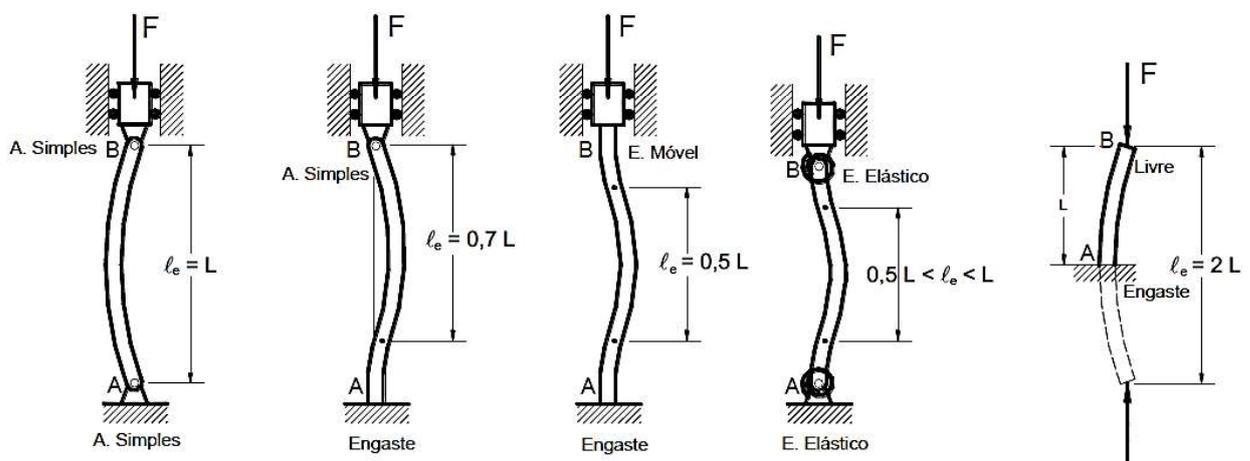
Em que, l_e = comprimento de flambagem;

I = momento de inércia;

A = Área da seção transversal.

O comprimento de flambagem l_e depende do tipo de vinculação tanto na base quanto no topo do pilar, como mostra a figura 14.

Figura 14 - Comprimento de flambagem.



Fonte: Bastos (2017, p. 7)

Bastos (2017, p.15) explica que é possível classificar os pilares de acordo com seu índice de esbeltez, podendo ser curto, médio, medianamente esbelto e esbelto se apresentarem os seguintes valores:

- a) Curto: se $\lambda \leq 35$
- b) Médio: se $35 < \lambda \leq 90$
- c) Medianamente esbelto: se $90 < \lambda \leq 140$
- d) Esbelto: se $140 < \lambda \leq 200$

Segundo o mesmo autor, a maioria dos pilares em uma edificação são pilares curtos e médios, sendo medianamente esbeltos e esbeltos não muitos frequentes.

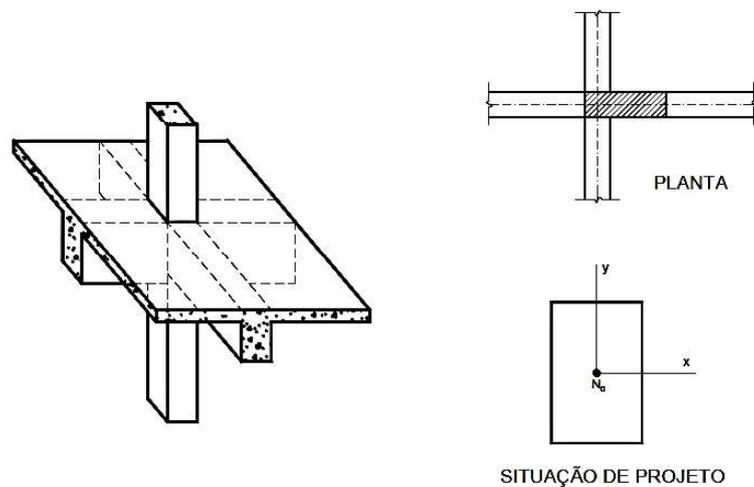
- **Classificação de acordo com a posição do pilar**

Os pilares podem ser classificados como pilares intermediários, pilares de extremidade e pilares de canto.

- a) Pilares intermediários

Nos pilares intermediários (figura 15), as excentricidades iniciais podem ser desprezadas, admitindo somente compressão simples (PINHEIRO, 2007, p. 16.4).

Figura 15 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares intermediários.

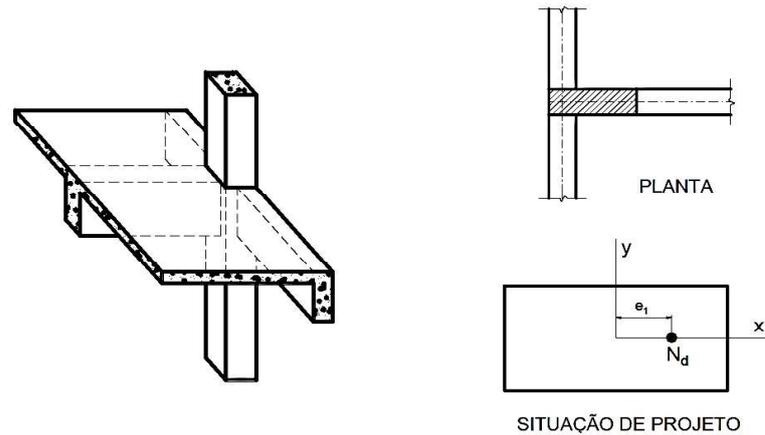


Fonte: Bastos (2017, p. 22)

b) Pilares de extremidade

Esse tipo de pilar normalmente aparece nas bordas da edificação, no qual é extremo para uma viga, assim sendo ela não apresenta continuidade. Por causa dessa descontinuidade o pilar irá apresentar flexão composta normal, como mostra a figura 16.

Figura 16 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de extremidade

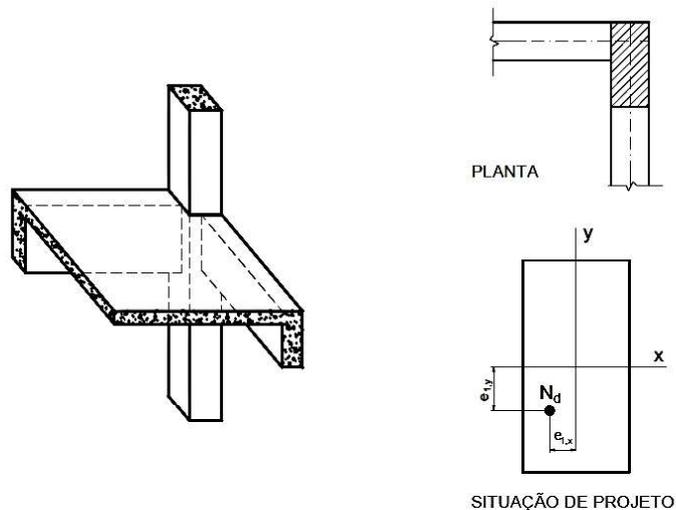


Fonte: Bastos (2017, p. 23).

c) Pilares de canto

Esse tipo de pilar ocorre nos cantos da edificação, no qual é extremidade para duas vigas que não apresentam continuidade. Por isso, surge nesse pilar flexão composta oblíqua como mostrado na figura 17.

Figura 17 - Arranjo estrutural e situação de projeto dos pilares de canto.



Fonte: Bastos (2017, p. 25)

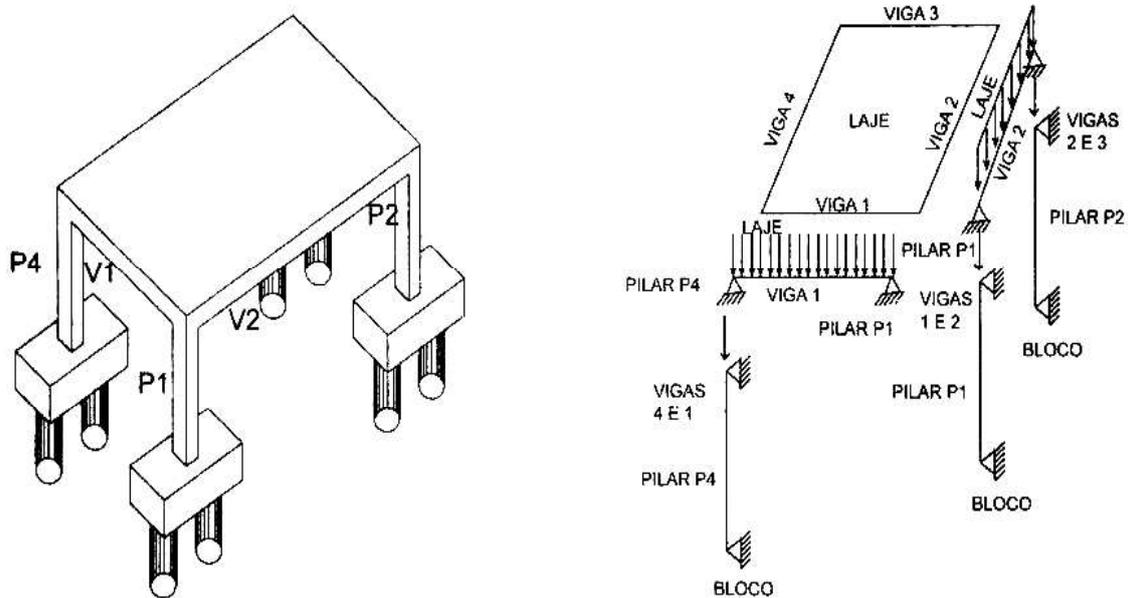
2.4.4 – Sistemas estruturais

Os sistemas estruturais são formados pelo trabalho em conjuntos de elementos estruturais, conduzindo as cargas impostas na edificação para um único destino, que seria o solo.

O sistema estrutural de uma edificação, em particular, é formado por um conjunto estável de elementos estruturais, projetados e construídos para sustentar e transmitir as cargas impostas até o chão de maneira segura, sem exceder os esforços permissíveis de seus elementos. Cada elemento estrutural possui características únicas e se comporta de maneira única sob cargas impostas (CHING, ONOUYE e ZUBERBUHLER, 2010, p. 30).

A resistência e o equilíbrio de uma edificação quando submetida a ações verticais e horizontais, que podem estar atuando simultaneamente ou não, depende do sistema estrutural adotado. A figura 18 mostra um tipo de sistema estrutural formado por lajes, vigas, pilares e fundação.

Figura 18 - Sistema estrutural composto por lajes, vigas e pilares.



Fonte: Carvalho e Figueiredo Filho (2016, p. 26).

Independente do sistema estrutural adotado, é importante entender o funcionamento e o comportamento de cada elemento estrutural que forma esse sistema. Para determinar o esforço que a fundação vai transmitir ao solo, da estrutura da figura 18, por exemplo, deve-se iniciar os cálculos pelas lajes, depois

vigas, seguindo para os pilares e por fim, as fundações; esse cálculo é feito de maneira inversa à sequência da construção (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2016)

2.5 – COBRIMENTO

O cobrimento dos elementos estruturais de concreto armado depende da agressividade ambiental que o local em que serão construídos apresenta e o tipo de elemento estrutural. A NBR 6118:2014, item 6.4.1, cita que a agressividade do meio ambiente está relacionada tanto às ações físicas quanto químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. O quadro 4 apresenta a classe de agressividade ambiental em relação ao ambiente e o risco de deterioração da estrutura.

Quadro 4 - Classes de agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinha e áreas de serviços de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2014, p. 17)

A durabilidade das peças de concreto armado está intimamente ligada ao cobrimento, uma vez que o mesmo é responsável por proteger a armadura das ações que possam deteriorar o aço. A NBR 6118:2014, item 7.4.1, cita que “...A durabilidade da estrutura é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do cobrimento da armadura.”

Os valores de cobertura mínimo são exibidos no quadro 5, os quais relacionam a classe de agressividade ambiental ao tipo de elemento estrutural, podendo ser laje, viga e pilar.

Quadro 5 - Cobrimento de acordo com a agressividade ambiental.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Quadro 4)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. Cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para o concreto armado.

b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevados desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências deste quadro podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 da NBR 6118:2014, respeitando um cobrimento nominal $\geq 15\text{mm}$.

c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes químicos e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal $\geq 45\text{mm}$.

Fonte: NBR 6118 (2014, p. 17)

2.6 – ESTADOS LIMITES

A segurança da estrutura é garantida quando uma série de estados limites forem respeitados. Os estados limites podem ser classificados como estados limites últimos (ELU), relacionados à máxima capacidade de carga, e estados limites de serviço (ELS), que são relacionados à durabilidade, aparência, conforto e boa utilização funcional (CAMPOS FILHO, 2014b, p. 7).

Depreende-se naturalmente dos requisitos esperados para uma edificação, que a mesma deva reunir condições adequadas de segurança, funcionalidade e durabilidade, de modo a atender todas as necessidades para as quais foi projetada, ao longo da sua vida e

que as exigências relativas à capacidade resistente e ao desempenho em serviço deixam de ser satisfeitas, quando são ultrapassados os respectivos estados limites (CAMACHO, 2009, p.8)

De acordo com Bastos (2006a, p. 50), o dimensionamento dos elementos estruturais é feito no estado limite último (ruína), nesse estado os elementos estão teoricamente prestes a romper, para evitar isso são usadas margens de segurança. Essas margens são referentes a coeficientes de segurança que têm como finalidade majorar ações e minorar as resistências do concreto e do aço.

Ainda segundo o mesmo autor, deve-se analisar também os estados limites de serviços, pois estes estão ligados às deformações, à fissuração e ao conforto do usuário na sua utilização. A estrutura não pode apresentar deformações excessivas (principalmente flechas) para não prejudicar a estética e a utilização, e as fissuras devem ser limitadas, para garantir a sua durabilidade.

2.6.1 – Estado-limite último (ELU)

A NBR 6118:2014 menciona no item 3.2.1 que este estado está relacionado ao colapso ou qualquer forma de ruína estrutural, a qual impede o uso da estrutura. Para garantir a segurança da estrutura de concreto, segundo a mesma norma no item 10.3, devem ser verificados os seguintes estados-limites últimos:

- a) estado limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais;
- c) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado limite último de colapso progressivo;
- f) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a NBR 15200:2012;

g) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a NBR 15421:2006;

h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

A NBR 8681:2004, item 4.1.1, usualmente os estados-limites últimos são caracterizados como:

- Perda de equilíbrio, global ou parcial, admitida a estrutura como um corpo rígido;
- Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais;
- Transformação da estrutura, no todo ou em parte, em um sistema hipostático;
- Instabilidade por deformação;
- Instabilidade dinâmica.

A norma ainda salienta no item 16.2.3 que os estados-limites últimos além de garantir a segurança adequada, com baixa probabilidade de ruína, é preciso que se tenha uma boa ductilidade, para caso ocorra uma ruína seja eventualmente avisada.

2.6.2 – Estado-limite de Serviço (ELS)

Os estados limites de serviço estão relacionados a aparência da estrutura, o conforto do usuário, a boa utilização funcional tanto em relação aos usuários como às máquinas ou equipamentos utilizados e a sua durabilidade (NBR 6118:2014, item 10.4). Segundo a NBR 8681:2004, item 4.1.2.1, no período da vida da estrutura o ELS pode ser caracterizado por:

- Danos ligeiros ou localizados, que podem comprometer a estética ou a durabilidade da estrutura;
- Deformações excessivas que afetam a utilização ou a estética;
- Vibração excessiva ou desconfortável.

A NBR 6118:2014, item 10.4, menciona que alguns estados-limites de serviço devem ser verificados, com intuito de garantir a segurança da estrutura de concreto, sendo eles:

- a) Estado-limite de formação de fissuras (ELS-F): início da formação de fissuras.
- b) Estado-limite de abertura das fissuras (ELS-W): estado em que as fissuras apresentam aberturas iguais aos valores máximos especificados na norma no item 13.4.2.
- c) Estado-limite de deformações excessivas (ELS-DEF): nesse estado as deformações atingem os valores limites estabelecidos para a utilização normal citado na norma no item 13.3.
- d) Estado-limite de descompressão parcial (ELS-DP): estado no qual é garantido a compressão na seção transversal, na região onde existem armaduras ativas.
- e) Estado-limite de compressão excessiva (ELS-CE): estado em que as tensões de compressão atingem o limite convencional estabelecido.
- d) Estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE): este estado é alcançado quando as vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção.

2.6.3 – Deslocamentos-Limites

Os estados-limites de deformações excessivas da estrutura em serviço são verificados através dos deslocamentos-limites, esses valores são mostrados no quadro 6, os quais têm a finalidade de proporcionar um adequado comportamento da estrutura em serviço (NBR 6118:2014, item 13.3).

A norma ainda classifica os efeitos em aceitabilidade sensorial (limite de vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável), efeitos específicos (deslocamentos que podem impedir a utilização adequada), efeitos em elementos não estruturais (o deslocamento estrutural pode ocasionar mau funcionamento dos elementos que não fazem parte da estrutura) e efeitos em elementos estruturais (os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural).

Quadro 6 - Limites para deslocamentos.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	1/250
	Outro	Virações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	1/350
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	1/250 ^a
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	1/350+ contraflecha ^b
			Ocorrido após a construção do piso	1/600
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendações do fabricante do equipamento	
Efeitos em elementos estruturais	Afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas	Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.		
<p>a As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.</p> <p>b Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contra flechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que 1/350</p>				

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2014, p.77-78).

2.7 – AÇÕES

Todos os agentes que causem esforços ou deformações nas estruturas são consideradas ações. Essas ações podem ser tanto diretas quanto indiretas (PINHEIRO, 2007). A NBR 8681:2004 no item 4.2.1 classifica as ações em permanentes, variáveis e excepcionais.

2.7.1 – Ações Permanentes

As ações permanentes são caracterizadas pela ocorrência praticamente constante, tendo somente pequenas oscilações, ao longo da vida útil da edificação.

Camacho (2009, p. 12) e Bastos (2006a, p. 53) explicam que as ações permanentes são divididas em ações diretas e indiretas.

- Ações permanentes diretas: são referentes ao peso próprio da estrutura, elementos construtivos permanentes, como o piso, paredes, revestimento, ou equipamentos fixos, entre outros (PINHEIRO, 2007, p. 6.2).
- Ações permanentes indiretas: o mesmo autor exemplifica essas ações como sendo causadas por retração, recalque de apoio e proteção.

2.7.2 – Ações Variáveis

As ações variáveis são aquelas que as intensidades variam, como o próprio nome já diz, ao longo da vida útil da estrutura. A NBR 8681:2004 considera como ações variáveis as cargas acidentais da construção (forças de frenação, de impacto e centrífugas), efeitos do vento, das variações de temperatura, do atrito nos aparelhos de apoio e as pressões hidrostática e hidrodinâmica.

A NBR 8681:2004 classifica essas ações de acordo com a sua probabilidade de ocorrência em normais e especiais.

- Ações variáveis normais: São as ações que tem uma probabilidade substancial de ocorrência, fazendo com que essas ações devam ser obrigatoriamente consideradas no projeto. Esses tipos de ações têm como exemplo a ação do vento e da chuva, impacto lateral, entre outras (CAMACHO, 2009, p.12).
- Ações variáveis especiais: Ainda segundo Camacho (2009, p. 13), são ações ou cargas acidentais de natureza ou intensidade especiais, como ação sísmica, variações da temperatura, entre outros.

2.7.3 – Ações Excepcionais

A NBR 8681:2004 no item 3.7 define as ações excepcionais como "... as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas".

As causas de ações excepcionais são as explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sísmicos excepcionais. A norma considera ainda que incêndios ao invés de serem tratados como ações excepcionais podem ser levados em consideração por meio da redução das resistências dos materiais.

2.8 – PROJETO ESTRUTURAL

O projeto estrutural pode ser de madeira, aço, concreto armado, concreto protendido ou misto, e todos eles têm o mesmo objetivo de dimensionar precisamente os elementos que serão construídos, levando em consideração os sistemas estruturais utilizados, as ações atuantes na estrutura, os estados limites, o cobrimento mínimo (se for estrutura de concreto) e as resistências dos materiais utilizados. O projeto estrutural comumente é de concreto, devido à propriedade de se moldar a diversas formas e a facilidade de execução.

Martha (2010, p. 1) salienta que o projeto deve atender todas as necessidades para as quais ela será construída, atendendo assim requisitos de segurança, de utilização, econômica, estéticas, ambientais, construtivas e legais. O projeto estrutural tem como resultado final a especificação de toda a estrutura, como a sua locação e todas as características necessárias para a sua construção.

De modo geral, um projeto estrutural é constituído pelas etapas de concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento, detalhamento e desenho.

- **Concepção estrutural**

O projeto irá partir de uma concepção estrutural que visa a determinação do sistema estrutural que será adotado para a edificação, ela está atrelada a inúmeras características como aspectos arquitetônicos, disposição dos elementos estruturais, economia, entre outros.

A concepção da estrutura é anterior ao seu dimensionamento, ou seja, à sua quantificação. É uma atitude ao mesmo tempo metódica e intuitiva. Conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade da sua existência; é perceber a sua relação com o espaço gerado; é perceber o sistema ou sistemas capazes de transmitir as cargas ao solo, da forma mais natural; é identificar os materiais que, de maneira mais adequada, se adaptam a esses sistemas (REBELLO, 2001, p. 26).

A concepção deve ter como base o projeto arquitetônico, pois o posicionamento dos elementos estruturais usados deve respeitar as características de cada ambiente nos diversos pavimentos. É importante que além de ser compatível com o projeto arquitetônico esteja também em harmonia com projetos elétricos, hidráulico, telefonia, segurança, entre outros, para garantir a qualidade de todos os sistemas (PINHEIRO, 2007, p. 4.1).

A compatibilização dos projetos é de suma importância, dado que diminui a ocorrência de interferência futuras entre eles, como por exemplo, uma tubulação passando por um elemento estrutural, que não previu essa interferência. Atualmente existem softwares que realizam esse processo de compatibilização, como por exemplo, o BIM (Building Information Modeling).

As questões econômicas de um projeto estrutural estão ligadas à concepção do projeto, visto que é nela que será definida a solução estrutural mais adequada, como não existe um só tipo de solução fica a critério do projetista a melhor escolha, isso irá influenciar diretamente no custo da edificação.

- **Análise estrutural**

A análise estrutural consiste na avaliação do comportamento do sistema estrutural escolhido na concepção estrutural, avaliando os caminhos das ações que estão atuando sobre a estrutura até o seu destino final, assim como os esforços internos.

Normalmente a estrutura de edifícios é formada por pórticos espaciais formados por elementos lineares e bidimensionais, entretanto, essa análise tridimensional manual é bastante complexa, sendo usados softwares para fazer esse estudo (ARAÚJO, 2014, p. 19). Para realizar essa análise é possível fazer simplificações das quais resultam as estruturas que foram estudadas em teoria das estruturas e a partir disso determinar os esforços internos máximos de cada seção (CARVALHO e FIGUEIREDO FILHO, 2016, p. 26).

- **Dimensionamento e detalhamento**

Após definir as ações e esforços internos na análise estrutural, começa o dimensionamento, que tem como objetivo o cálculo das dimensões e armaduras das

peças. O dimensionamento é feito com base nos requisitos apresentados na NBR 6118:2014, como por exemplo ações, estados limites, cobrimento, entre outros aspectos.

Esse dimensionamento pode ser feito de forma manual levando em consideração as simplificações ou por meio de softwares, como o TQS, CYPECAD e Eberick, o qual fazem um estudo global da estrutura.

O detalhamento está ligado ao posicionamento das armaduras, esse passo leva em consideração todas as hipóteses usadas no dimensionamento, como o cobrimento, a quantidade de aço necessária, os espaçamentos entre as barras, entre outros.

- **Desenho**

O mesmo é referente às plantas que são geradas com base no projeto, o qual apresenta todo o detalhamento de posicionamento dos elementos estruturais, o detalhamento da armadura para cada peça, as plantas das formas, assim como informações de especificidades do projeto.

2.9 – SOFTWARES PARA DIMENSIONAMENTO

O cálculo manual além de fazer simplificações para poder dimensionar uma estrutura, ele também demanda muito tempo do projetista, portanto, ferramentas que venham minimizar esse tempo é de suma importância para o engenheiro. Os softwares para dimensionamento estrutural são uma opção vantajosa tanto em relação ao tempo quanto à possibilidade de fazer inúmeros arranjos estruturais para escolher o que melhor se enquadra aos requisitos de ser tecnicamente viável, ter segurança, durabilidade e ser econômico (PINI WEB, 2003). No Brasil, os mais usados são o TQS, CYPECAD e Eberick.

2.9.1 – TQS

É um software gráfico que é usado na elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural. O seu dimensionamento leva em consideração todos os passos do projeto estrutural, a concepção estrutural,

análise dos esforços e flechas, dimensionamento e detalhamento de armaduras, assim como as plantas (TQS, 2018).

O TQS é baseado na NBR:6118:2014 assim como na metodologia usual e representação de projetos estruturais usadas pelas empresas brasileiras. A análise estrutural tem como base modelo integrado (grelhas + pórticos espaciais) que considera as ligações flexibilizadas entre as vigas e pilares, não-linearidade física (fissuração do concreto) e geométrica, processo construtivo, offsets-rígidos automáticos, modelos espaciais de transição, plastificação automáticas nos apoios, entre outras.

2.9.2 – CYPECAD

O CYPECAD é um programa para dimensionamento estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido, misto de concreto e aço. Esse software realiza as etapas de lançamento do projeto, análise e cálculo estrutural, dimensionamento e detalhamento dos elementos, que seguem os requisitos da NBR 6118:2014 (MULTIPLUS CYPECAD, 2018b).

Na análise estrutural o software faz o dimensionamento considerando a estrutura como um todo integrado, os pilares, vigas e lajes formam um pórtico espacial com elementos finitos, os pilares-paredes, reservatórios e muros armado por elementos finitos, os radiers e vigas sobre apoio elástico, análise estática linear e efeito P-delta e coeficiente Gama-z e análise dinâmica (modos e frequências naturais e análise espectral e análise sísmica), (MULTIPLUS CYPECAD, 2018a).

2.9.3 – Eberick

O Eberick é um software desenvolvido pela AltoQi para a elaboração de projetos em concreto armado moldado in-loco, pré-moldado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, possuindo também recursos para agilizar etapas de modelagem. No dimensionamento usando o programa ele realiza a análise da estrutura, o dimensionamento das peças estruturais, a compatibilização com as demais disciplinas de projeto e a pranchas tanto do detalhamento das armaduras quanto das formas (ALTOQI EBERICK, 2018).

O software possui um ambiente de CAD próprio do qual é possível fazer um modelo tridimensional da estrutura, com recursos específicos para modelagem de pilares, vigas, lajes, escadas, fundações, reservatórios, muros e elementos de estruturas mistas. Esse modelo que é visualizado no p \acute{o} rtico 3D (figura 19), facilita o entendimento da estrutura como um todo (ALTOQI EBERICK, 2018).

Figura 19 - Modelo tridimensional de uma estrutura.



Fonte: Adaptado de Sketchfab (2017).

O dimensionamento tem como base a NBR6118:2014, o sistema verifica os elementos para o Estado limite \acute{u} ltimo e de servi \c o (ELU e ELS). Os resultados s \tilde{a} o apresentados para cada elemento estrutural, do qual mostram os esfor \c os e as armaduras (ALTOQI EBERICK, 2018).

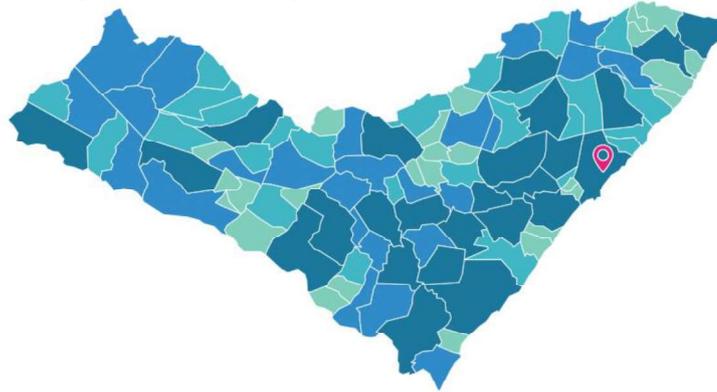
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nessa seção são explicados os procedimentos metodológicos utilizados para obter as informações necessárias para o desenvolvimento do estudo. Apresentando assim, a descrição da área de estudo, os dados utilizados, os procedimentos e a análise dos dados obtidos.

3.1 – ÁREA DE ESTUDO

O objeto de estudo desse trabalho é uma casa multifamiliar localizada na capital alagoana, Maceió. A figura 20 mostra a localização dessa cidade no estado de Alagoas.

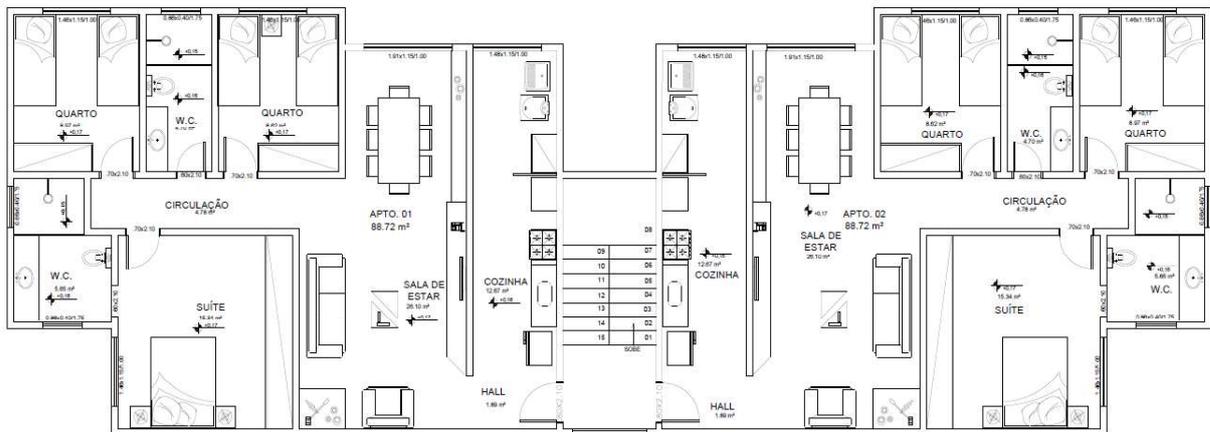
Figura 20 - Localização da cidade de Maceió.



Fonte: IBGE (2018).

O edifício é constituído por 4 pavimentos tipo mais térreo, cada pavimento possui 2 apartamentos, cada um contendo suíte, 2 quartos, banheiro social, cozinha e sala de estar/jantar, como é mostrado na planta baixa da figura 21. Cada apartamento possui uma área de 88,72 m² e o edifício tem uma área total de construção de 1049,5 m².

Figura 21 - Planta baixa.



Fonte: A Autora (2018).

3.2 – COLETA DE DADOS

O desenvolvimento do projeto estrutural utilizado na pesquisa, que tem como base a planta arquitetônica apresentada na figura 21, parte da concepção estrutural, na qual tem como objetivo a determinação dos elementos estruturais que serão utilizados e seus posicionamentos. Na concepção estrutural define-se também as dimensões iniciais dos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), isso é referente ao pré-dimensionamento estrutural, as quais podem ser alteradas caso haja necessidade no momento do dimensionamento.

Para a realização do projeto estrutural do edifício é utilizado o software Eberick V10. O dimensionamento de estruturas de concreto armado nesse software tem como base as prescrições da NBR 6118:2014. Os dados usados no dimensionamento são descritos a seguir.

- Classe de agressividade ambiental II;
- Cobrimento de 2,5 cm para as lajes e 3 cm para as vigas e os pilares;
- Pé direito do edifício de 3,0 m.
- A alvenaria tem 14 cm de espessura e densidade aparente de 13 kN/m³;
- Peso específico do concreto armado de 25 kN/m³;

- Revestimento do contrapiso nas lajes de $0,63 \text{ kN/m}^2$ (argamassa de cimento e areia com 21 KN/m^3 e 3 cm de peso específico e espessura, respectivamente);
- Revestimento de piso cerâmico de $0,15 \text{ kN/m}^2$;
- Revestimento na face interior da laje de $0,57 \text{ kN/m}^2$ (argamassa de cal, cimento e areia com 19 kN/m^3 e 3 cm de peso específico e espessura, respectivamente);
- Revestimento total: $1,35 \text{ kN/m}^2$;
- Cargas acidentais:
 - $1,5 \text{ kN/m}^2$ para dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro de edifícios residenciais
 - $2,0 \text{ kN/m}^2$ para despensa, área de serviço e lavanderia de edifícios residenciais
 - $2,5 \text{ kN/m}^2$ para escadas sem acesso ao público
 - $0,5 \text{ kN/m}^2$ para cobertura
- Velocidade do vento de 30 m/s, segundo a NBR 6123:1988.

3.3 – PROCEDIMENTOS E ANÁLISE DE DADOS

Com o auxílio do software é possível fazer tanto a análise como o dimensionamento estrutural do edifício. Os itens a seguir descrevem os procedimentos utilizados para a realização do projeto estrutural usando o programa computacional.

3.3.1 – Construção do projeto estrutural

Tendo a disposição o projeto arquitetônico e a concepção estrutural, é feito o lançamento da estrutura no software. A construção do projeto parte da exportação da planta arquitetônica, apesar do prédio possuir 5 pavimentos esse procedimento é

realizado somente uma vez, já que os pavimentos são iguais. Em seguida são feitos os lançamentos dos elementos estruturais que são descritos a seguir.

- **Lançamento dos pilares**

O lançamento da estrutura no software começa com as definições das dimensões e posicionamentos dos pilares, esses seguem o que foi definido previamente na concepção estrutural, sendo as distâncias entre eles na faixa de 2 a 7 metros. O valor inicial definido para a seção inicial dos pilares foi de 20 x 40 cm, e todos passaram nas verificações.

- **Lançamento das vigas**

Com os posicionamentos dos pilares foi possível fazer o lançamento vigas. Inicialmente foi definido as dimensões da seção transversal, tendo o valor de 15 x 45 cm. Ao processar a estrutura houve a necessidade de alteração da seção transversal de algumas vigas para 15 x 50 cm e outras para 15 x 55 cm. Após essas mudanças as vigas passaram nas verificações.

- **Lançamento das lajes**

Com os contornos das lajes definidos (vigas), foi realizado o lançamento das lajes; no projeto foram usadas lajes maciças. A NBR 6118:2014 define os valores mínimos para as lajes, seguindo essa indicação o valor inicial usado no dimensionamento foi de 12 cm, passando em todas as verificações, não necessitando de mudança na espessura.

- **Outros lançamentos**

A partir da superestrutura (pilares, vigas e lajes) definida, foi possível fazer o lançamento das cargas lineares sobre as lajes devido à presença de paredes sobre as mesmas, assim como o lançamento das escadas e da fundação, sendo que a escolhida para o projeto foi do tipo sapata.

- **Finalização do lançamento**

Com a definição dos elementos estruturais de um pavimento foi possível copiar esses elementos para os outros pavimentos. As únicas alterações

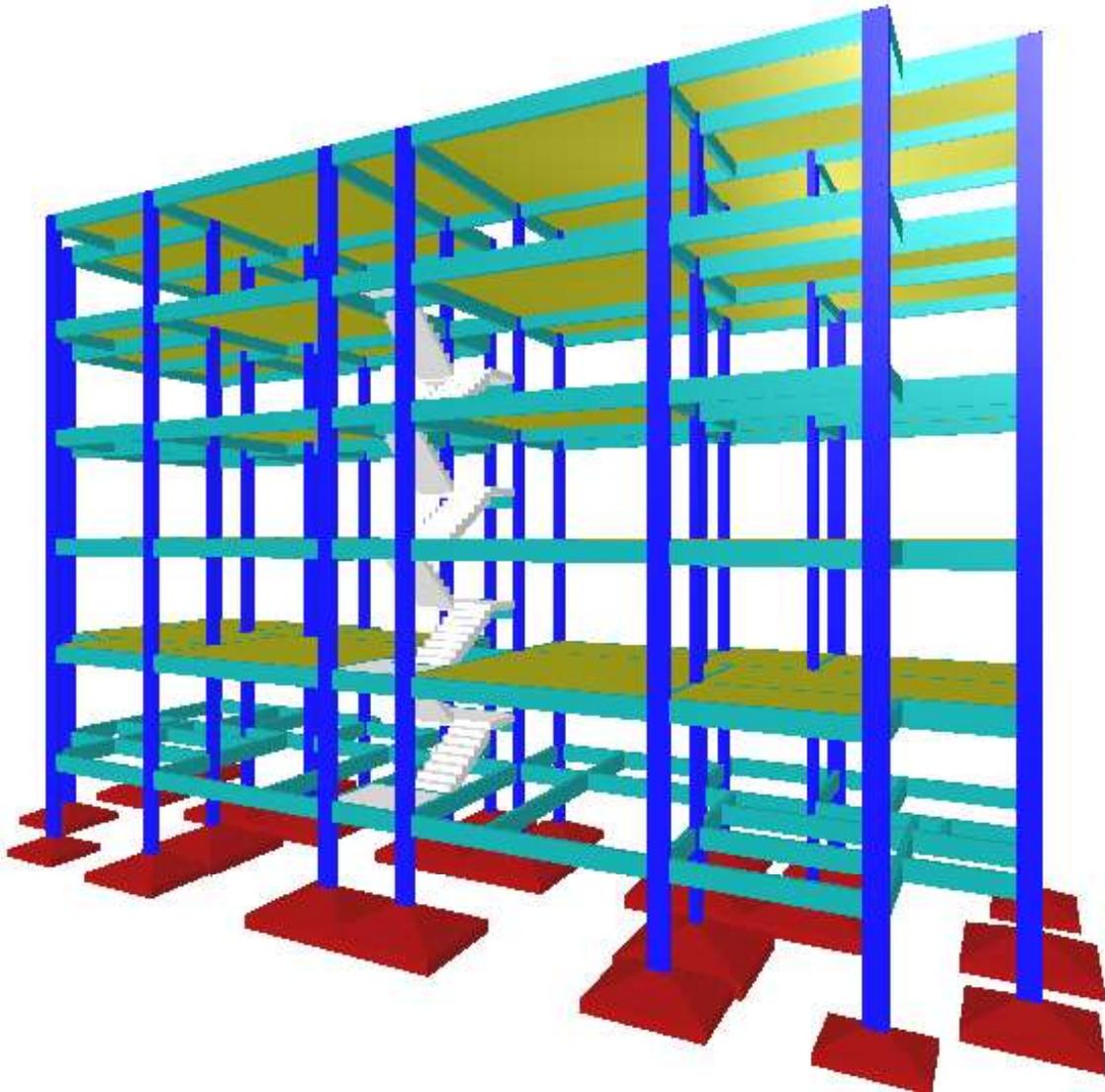
necessárias ao executar essa ação dizem respeito ao pavimento da cobertura, pois esse não possui cargas lineares e teve que ser acrescentada uma laje no lugar do patamar da escada. Além disso, a carga acidental nas lajes da cobertura é menor ($0,5 \text{ KN/m}^2$).

Ao finalizar o lançamento da estrutura, foram feitas as verificações de detectar proximidades, o alinhamento e a verificação da estrutura, a estrutura obteve sucesso em todos esses passos. Os apêndices A e B mostram a forma dos pavimentos Tipo 1 e Cobertura, respectivamente.

3.3.2 – Análise estrutural

A análise estrutural é feita pelo modelo de pórtico espacial. Esse modelo leva em consideração as ações horizontais, as imperfeições globais, o efeito de segunda ordem, assim como as combinações das ações, levando em conta as indicações da NBR 6118:2014. A figura 22 mostra o pórtico 3D da estrutura do estudo em questão.

Figura 22 - Pórtico 3D.



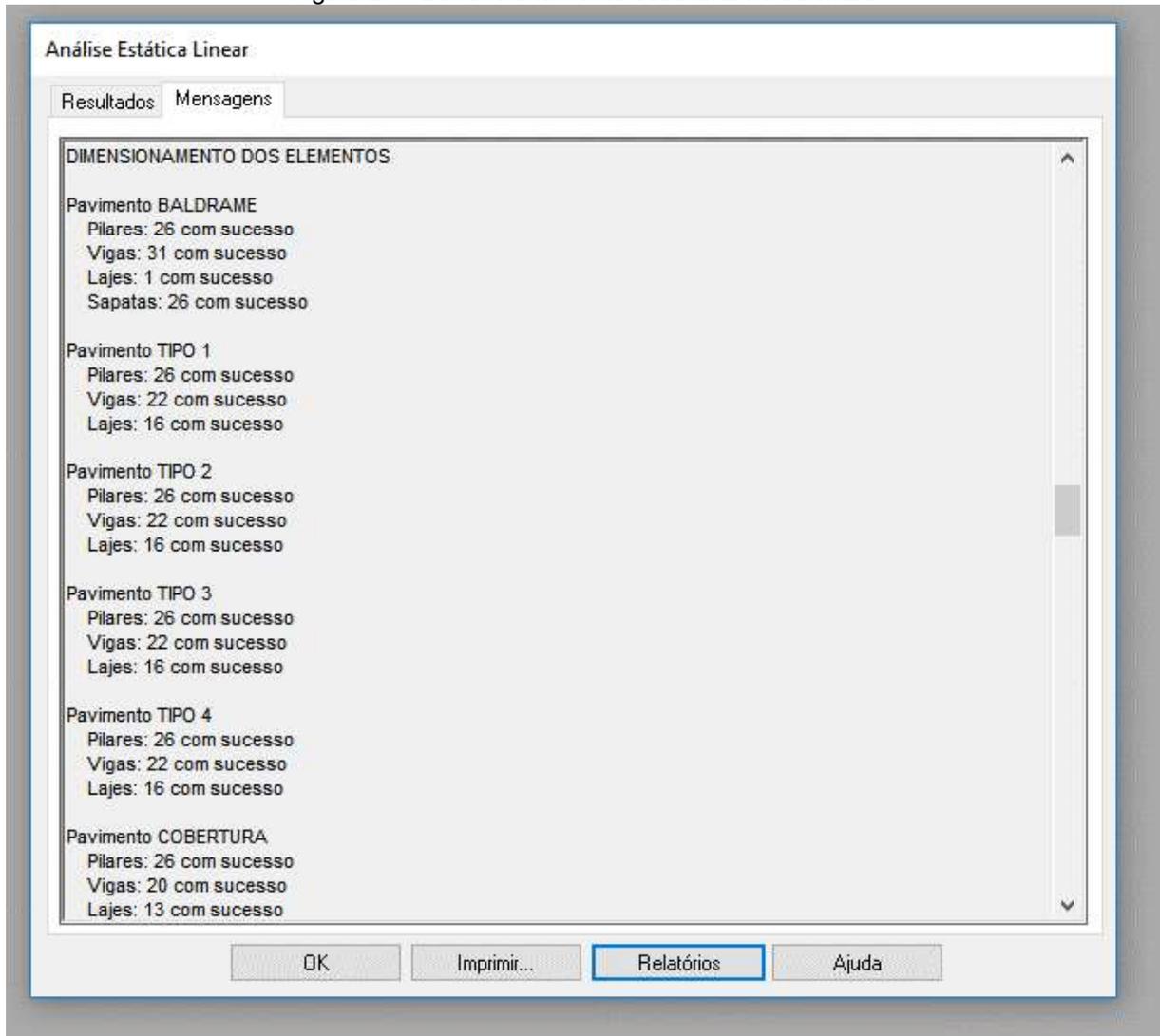
Fonte: A Autora (2018)

3.3.3 – Dimensionamento

Com a análise estrutural finalizada, foi efetuado o dimensionamento de toda a estrutura. O presente trabalho realiza a análise da influência da resistência característica do concreto à compressão no consumo de aço e na variação dos deslocamentos. A primeira análise é realizada nas vigas, pilares e lajes, enquanto a segunda é realizada nas vigas e lajes que são submetidos principalmente à esforços à flexão.

. Sendo assim, o dimensionamento foi realizado com três valores diferentes de f_{ck} para a superestrutura, sendo eles 25, 35 e 45 MPa. A figura 23 mostra a mensagem do resultado do dimensionamento apresentada pelo software.

Figura 23 - Dimensionamento estrutural no software



Fonte: A Autora (2018)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção estão apresentados os resultados da influência do aumento no valor da resistência característica à compressão do concreto no consumo de aço na superestrutura e nas flechas das vigas e das lajes dos pavimentos Tipo 1 e Cobertura.

4.1 – CONSUMO DO AÇO

A análise do consumo do aço ocorreu com a mudança da resistência característica à compressão do concreto para 25, 35 e 45 MPa, mantendo as seções transversais dos pilares e das vigas e a espessura das lajes constantes. O f_{ck} de 25MPa será utilizado como referência no comparativo com os demais. A tabela 1 mostra o consumo de aço de cada elemento estrutural em relação à classe do concreto.

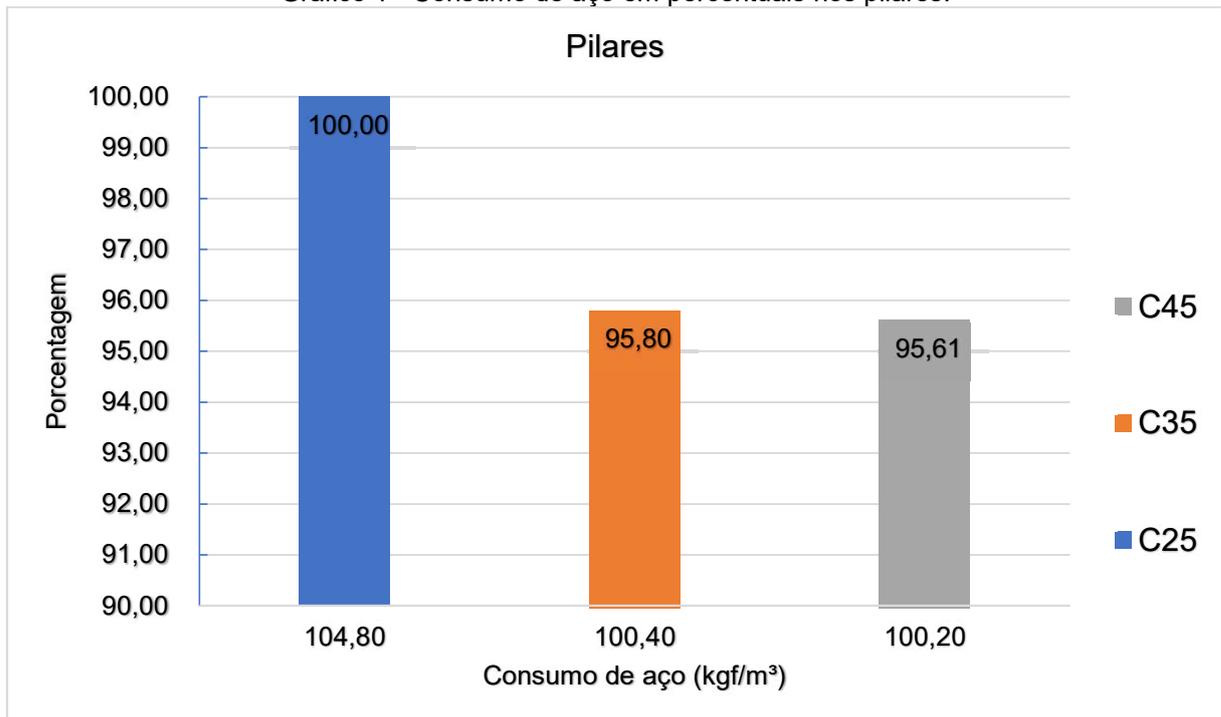
Tabela 1 - Consumo de aço conforme a classe de resistência do concreto estrutural.

Elementos estruturais	Consumo de aço conforme a classe de resistência do concreto estrutural (kgf/m ³)		
	C25	C35	C45
Pilares	104,80	100,40	100,20
Vigas	61,80	59,00	61,10
Lajes	58,20	57,20	61,80
Total	67,50	65,30	68,30

Fonte: A Autora (2018)

Analisando os pilares houve uma redução crescente em relação ao aumento da resistência característica à compressão do concreto. Os valores em porcentagem dessa diminuição foram de 4,20% do pilar com f_{ck} de 35MPa e para o pilar de 45MPa a redução foi de 4,39% quando comparados ao pilar de 25MPa. O gráfico 1 mostra essa redução no consumo do aço nos pilares quando alterada a classe de resistência do concreto estrutural em porcentagem.

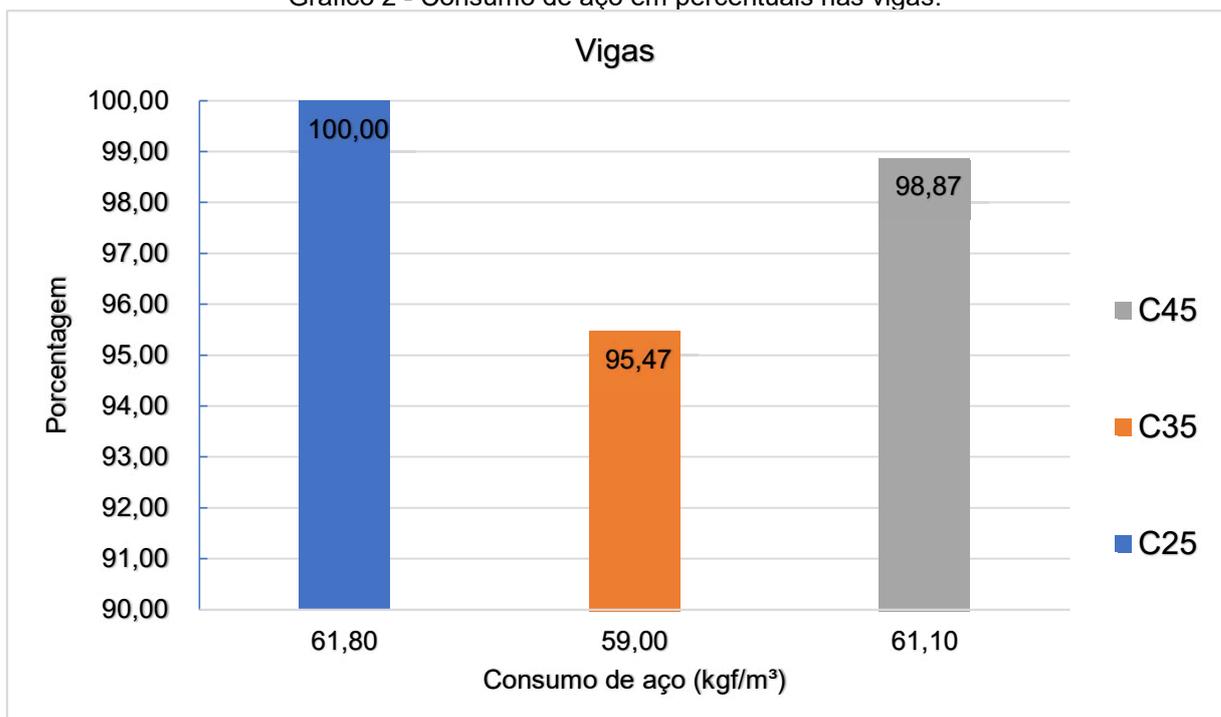
Gráfico 1 - Consumo de aço em percentuais nos pilares.



Fonte: A Autora (2018)

Em relação às vigas não houve uma redução crescente do consumo do aço como ocorreu nos pilares. A classe C35 apresentou uma redução de 4,53% enquanto a C45 foi de 1,13%. Os valores dessas reduções são mostrados no gráfico 2.

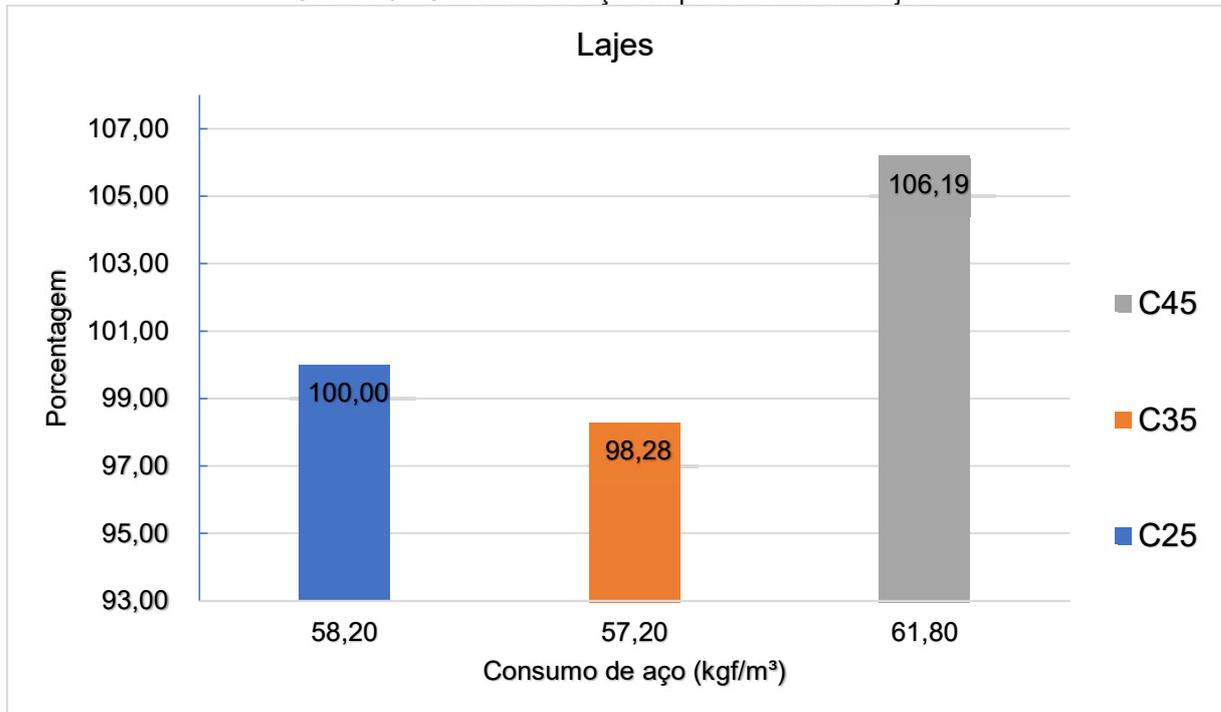
Gráfico 2 - Consumo de aço em percentuais nas vigas.



Fonte: A Autora (2018)

Com a alteração da resistência característica à compressão do concreto nas lajes houve uma redução de 1,72% na classe C35 quando comparado ao C25, já quando essa comparação é feita com o C45 ocorreu um aumento no consumo de aço de 6,19%. O gráfico 3 mostra a variação do consumo do aço nas lajes.

Gráfico 3 - Consumo de aço em percentuais nas lajes.



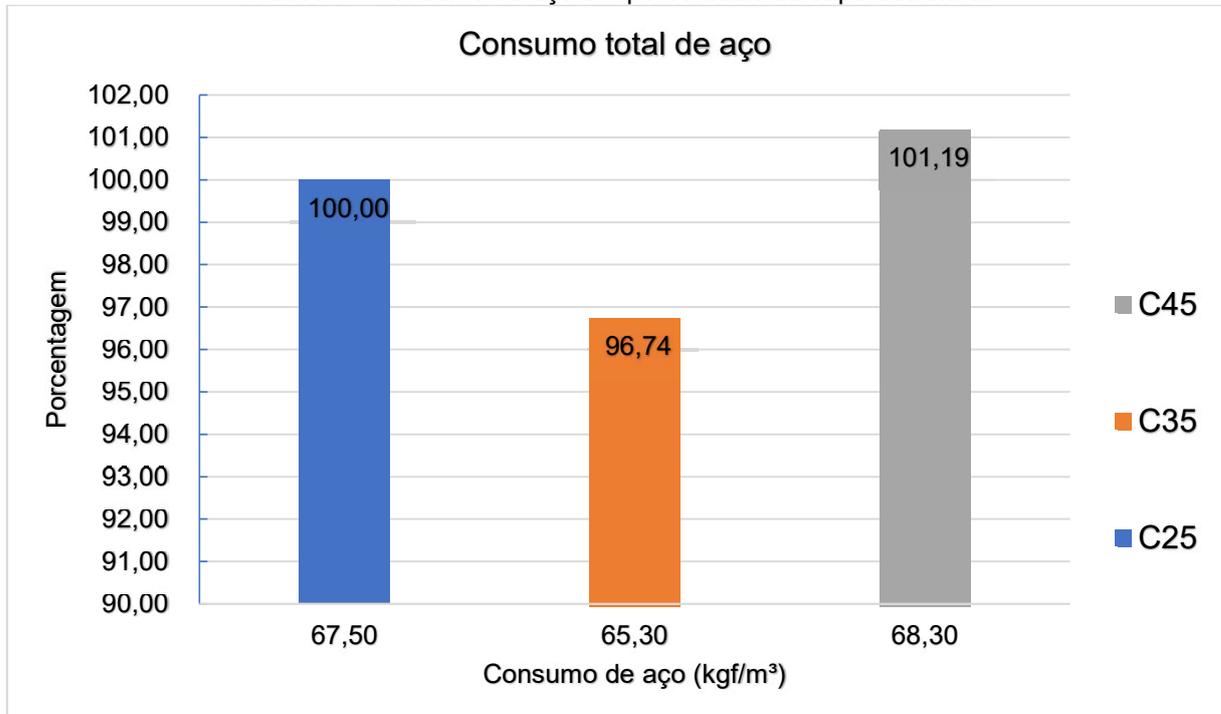
Fonte: A Autora (2018)

Analisando os elementos estruturais separadamente, percebe-se que o aumento da resistência característica à compressão do concreto influenciou na redução crescente do consumo do aço nos pilares, essa redução pode estar relacionada ao fato que esses elementos são submetidos principalmente as forças normais de compressão. Já as vigas e as lajes não apresentaram padrões de redução no consumo de aço, chegando até a aumentar o consumo nas lajes quando dimensionado com C45. O aumento do f_{ck} não teve uma grande influência, pois ao contrário dos pilares, esses dois elementos são submetidos principalmente a esforços de flexão.

A análise do consumo de aço em toda superestrutura mostrou que não há uma variação significativa quando ocorre a mudança no valor de resistência característica a compressão do concreto. Houve uma redução quando dimensionada com 35 MPa de 3,26% e um acréscimo do consumo de 1,19% quando

dimensionada com f_{ck} de 45MPa, tendo sempre como valor referencial a resistência característica à compressão do concreto de 25 MPa. O consumo total de aço na superestrutura em percentagem é mostrado no gráfico 4.

Gráfico 4 - Consumo de aço em percentuais da superestrutura.



Fonte: A Autora (2018)

4.2 – FLECHAS NAS VIGAS E NAS LAJES

A alteração da resistência característica a compressão do concreto altera além do consumo de aço, os deslocamentos (flechas) nas vigas e nas lajes. Diante disso, foi feito a análise dessas flechas nos três valores de f_{ck} , nos quais a estrutura foi dimensionada (25, 35 e 45 MPa). A análise foi realizada nos pavimentos Tipo 1 e Cobertura, visto que o Tipo 1 é igual aos demais pavimentos e a Cobertura foi escolhida pois não apresenta cargas lineares devido as paredes.

Nas vigas do pavimento Tipo 1 os deslocamentos tiveram uma redução crescente com o aumento da resistência característica a compressão do concreto. A variação dos deslocamentos nos vãos das vigas nesse pavimento é mostrada na tabela 2.

Tabela 2 - Flechas nas vigas do pavimento Tipo 1.

Vigas	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
V1	0,21*	0,18*	0,16*
	0,11	0,09	0,08
V2	0,11*	0,09*	0,08*
	0,21	0,18	0,16
V3	0,28	0,24	0,21
V4	0,28	0,24	0,21
V5	0,38	0,32	0,28
	0,15	0,13	0,11
	0,54*	0,45*	0,40*
	0,17	0,14	0,12
	0,54	0,46	0,40
	0,15	0,13	0,11
V6	0,38	0,32	0,28
	0,5	0,42	0,37
V7	0,5	0,42	0,37
V8	0,66	0,56	0,49
V9	0,1	0,09	0,08
	0,46	0,39	0,34
	0,13	0,11	0,10
	0,46	0,39	0,34
	0,1*	0,09*	0,08*
V10	0,13*	0,11*	0,09*
	0,11	0,10	0,08
V11	0,43	0,36	0,32
V12	0,19	0,16	0,14
V13	0,15*	0,12*	0,11*
	0,23	0,19	0,17
V14	0,15*	0,13*	0,11*
	0,11	0,09	0,08
V15	0,64*	0,54*	0,48*
	0,16	0,13	0,12
V16	0,65*	0,55*	0,48*
	0,16	0,13	0,12
V17	0,15*	0,13*	0,11*
	0,11	0,09	0,08
V18	0,15*	0,12*	0,11*
	0,23	0,19	0,17

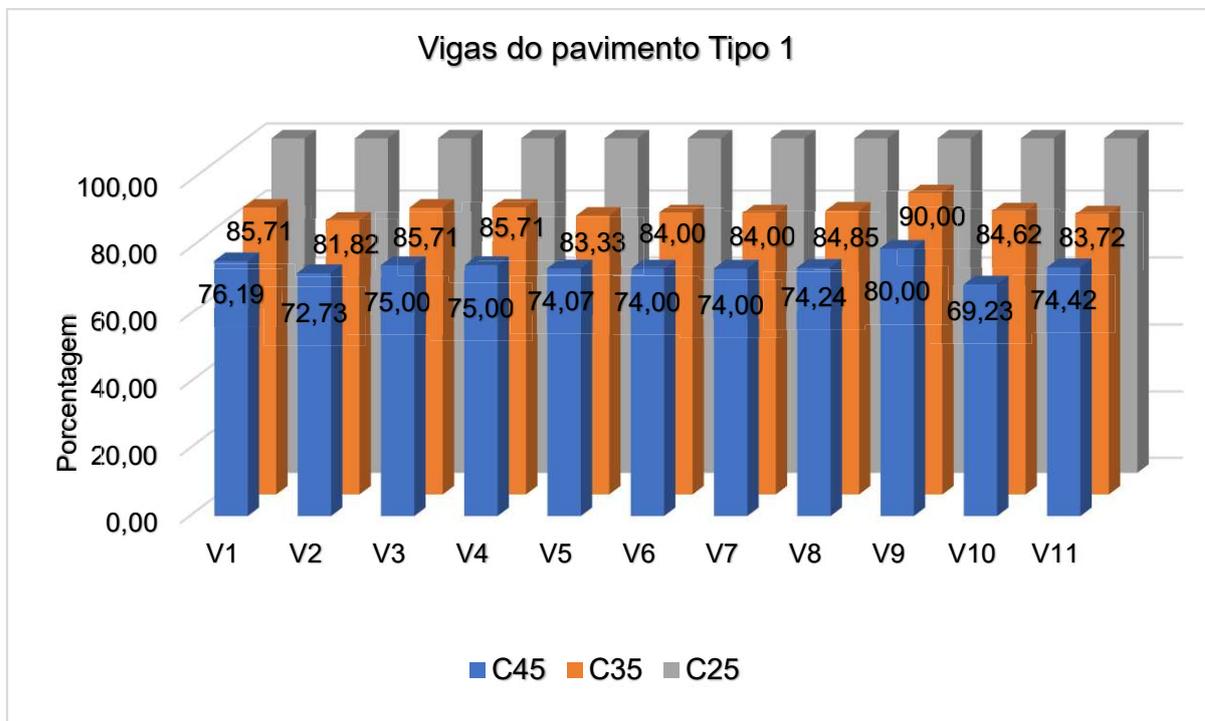
Vigas	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
V19	0,19	0,16	0,14
V20	0,43	0,36	0,32
V21	0,13 0,11*	0,11 0,10*	0,10 0,08*
V22	0,13	0,11	0,10

NOTA: * Vão escolhido para representação gráfica.

Fonte: A Autora (2018)

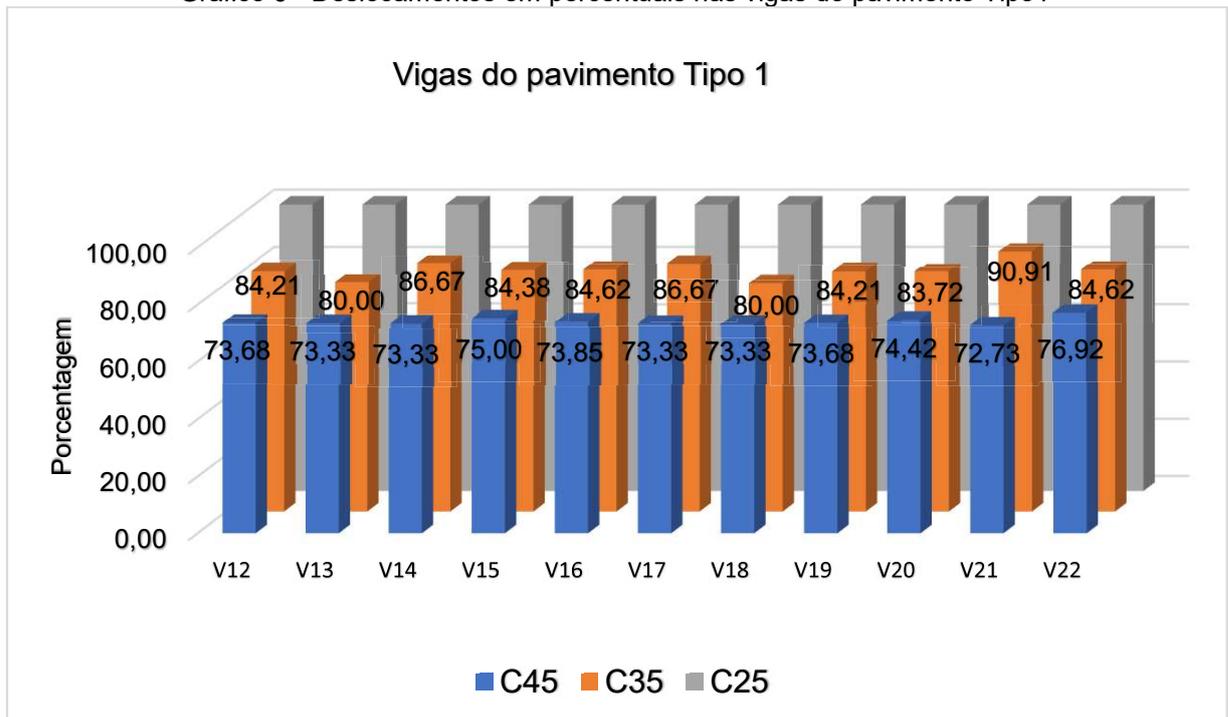
Assim como na análise feita do consumo de aço a análise dos deslocamentos são mostrados em percentuais tendo como referência os valores da classe de resistência do concreto de C25. Para a classe C35 houve uma redução mínima de 9,09% nas vigas V10 e V21 e máxima de 20% nas V13 e V18. Já para a classe C45 as reduções variaram de 20% na viga V9 a 30,77% na V10. Os valores percentuais dos deslocamentos nas vigas são mostrados nos gráficos 5 e 6.

Gráfico 5 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Tipo1.



Fonte: A Autora (2018)

Gráfico 6 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Tipo1



No que tange às vigas do pavimento cobertura, os deslocamentos tiveram reduções crescentes das flechas, assim como no pavimento Tipo 1, devido ao aumento da classe de resistência do concreto. A tabela 3 apresenta os valores dos deslocamentos nas vigas do pavimento cobertura.

Tabela 3 - Deslocamentos nas vigas do pavimento Cobertura.

Vigas	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
V1	0,24*	0,20*	0,18*
	0,19	0,16	0,14
V2	0,19	0,16	0,14
	0,24*	0,20*	0,18*
V3	0,27	0,23	0,20
V4	0,27	0,23	0,20
V5	0,43	0,36	0,32
	0,32	0,27	0,24
	0,56*	0,47*	0,42*
	0,32	0,27	0,24
V6	0,43	0,36	0,32
	0,48	0,40	0,36
	0,48	0,40	0,36

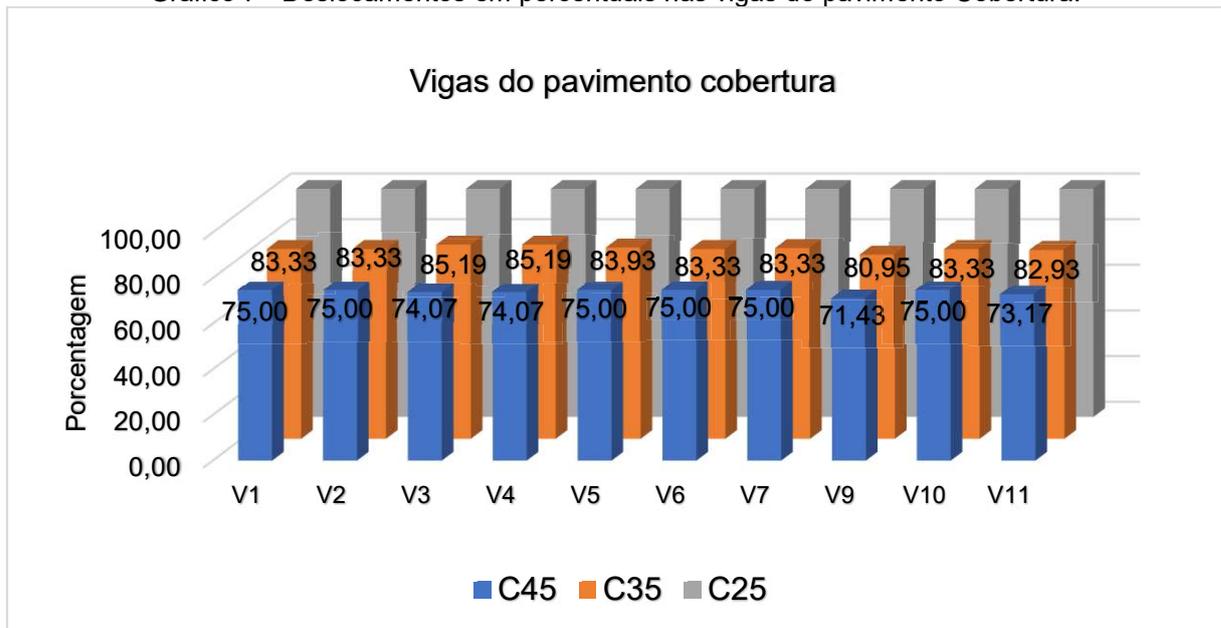
Vigas	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
V9	0,21*	0,17*	0,15*
	0,43	0,36	0,32
	0,28	0,24	0,21
	0,43	0,36	0,32
	0,21	0,17	0,15
V10	0,24*	0,20*	0,18*
	0,23	0,20	0,17
V11	0,41	0,34	0,30
V12	0,32	0,27	0,24
V13	0,32	0,27	0,24
	0,37*	0,31*	0,28*
V14	0,32	0,27	0,24
	0,18*	0,16*	0,14*
V15	0,65*	0,55*	0,49*
	0,34	0,29	0,25
V16	0,66*	0,56*	0,49*
	0,34	0,29	0,25
V17	0,32	0,27	0,24
	0,18*	0,16*	0,14*
V18	0,32	0,27	0,24
	0,37*	0,31*	0,28*
V19	0,32	0,27	0,24
V20	0,41	0,34	0,30
V21	0,24*	0,20*	0,18*
	0,23	0,20	0,17

NOTA: * Vão escolhido para representação gráfica.

Fonte: A Autora (2018)

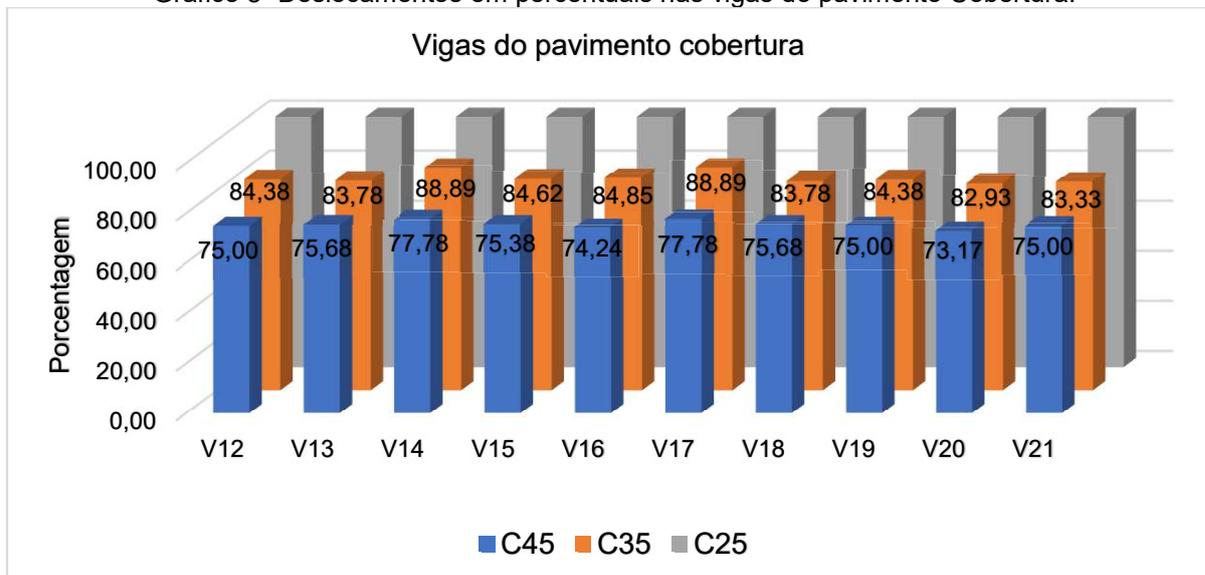
Analisando as vigas da cobertura, a classe C35 apresentou um valor mínimo de redução nas flechas de 11,11% nas vigas V17 e V14 e um valor máximo de 19,05% na V9, quanto o comparativo com a classe C45 as reduções variarão no intervalo de 22,22%, nas vigas V14 e V17, a 28,57% na V9. Os gráficos 7 e 8 apresentam os deslocamentos das vigas em porcentagem, sendo o C25 como valor referência.

Gráfico 7 - Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Cobertura.



Fonte: A Autora (2018)

Gráfico 8 -Deslocamentos em percentuais nas vigas do pavimento Cobertura.



Fonte: A Autora (2018)

Em suma, todas as vigas, tanto do pavimento Tipo 1 quanto da cobertura, apresentaram reduções nos deslocamentos (flechas) quando se aumentou a resistência característica à compressão do concreto, podendo assim inferir que quanto maior o valor do f_{ck} menores são as flechas desses elementos estruturais.

Os deslocamentos nas lajes do pavimento Tipo 1 seguiram a mesma tendência de redução das flechas, assim como ocorreu nas vigas, tendo como

motivo da redução o aumento na classe de resistência do concreto estrutural. A tabela 4 apresenta os valores dos deslocamentos nas lajes do pavimento Tipo 1.

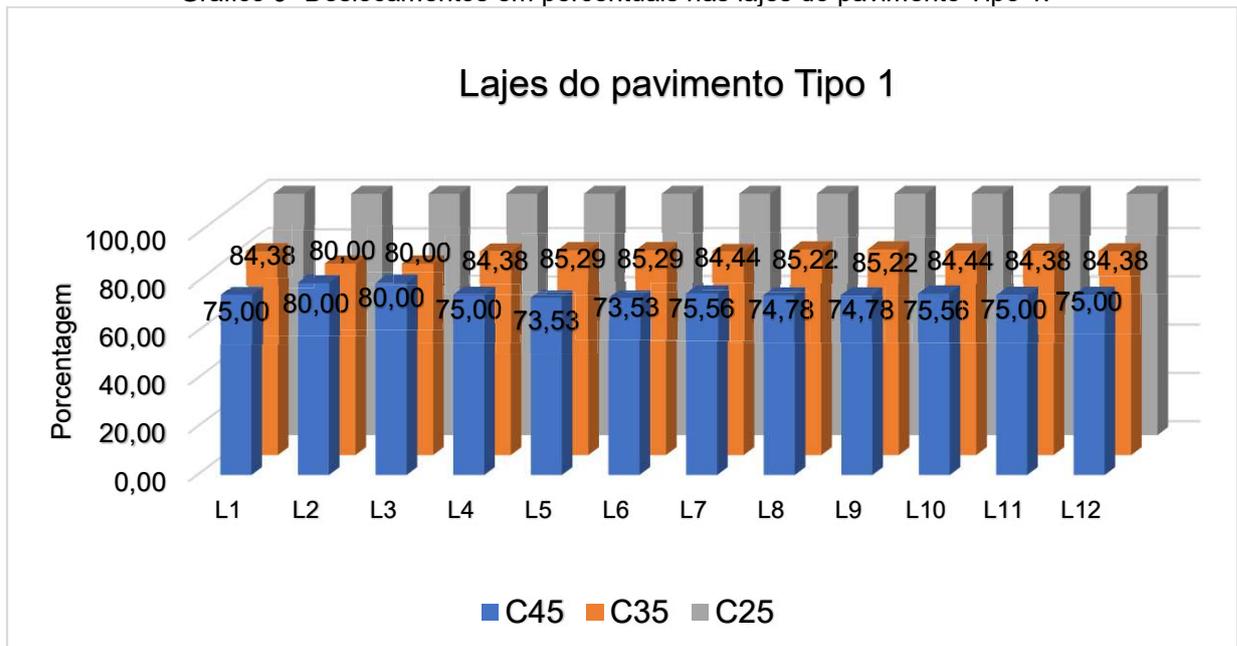
Tabela 4 - Flechas nas lajes do pavimento Tipo 1.

Lajes	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
L1	0,32	0,27	0,24
L2	0,05	0,04	0,04
L3	0,05	0,04	0,04
L4	0,32	0,27	0,24
L5	0,34	0,29	0,25
L6	0,34	0,29	0,25
L7	0,45	0,38	0,34
L8	1,15	0,98	0,86
L9	1,15	0,98	0,86
L10	0,45	0,38	0,34
L11	0,32	0,27	0,24
L12	0,32	0,27	0,24

Fonte: A Autora (2018)

Nas lajes do pavimento Tipo 1 houve reduções das flechas, quando dimensionado com C35 variaram de 14,71% nas lajes L5 e L6 a 20% nas lajes L2 e L3. Já em relação à classe C45 as reduções ficaram no intervalo de 20% nas lajes L2 e L3 a 26,47% nas lajes L5 e L6. O gráfico 9 mostra os valores em porcentagem dos deslocamentos nas lajes, de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural.

Gráfico 9- Deslocamentos em percentuais nas lajes do pavimento Tipo 1.



Na tabela a seguir são mostrados os valores dos deslocamentos nas lajes do pavimento Cobertura de acordo com a classe de resistência que esse elemento foi dimensionado.

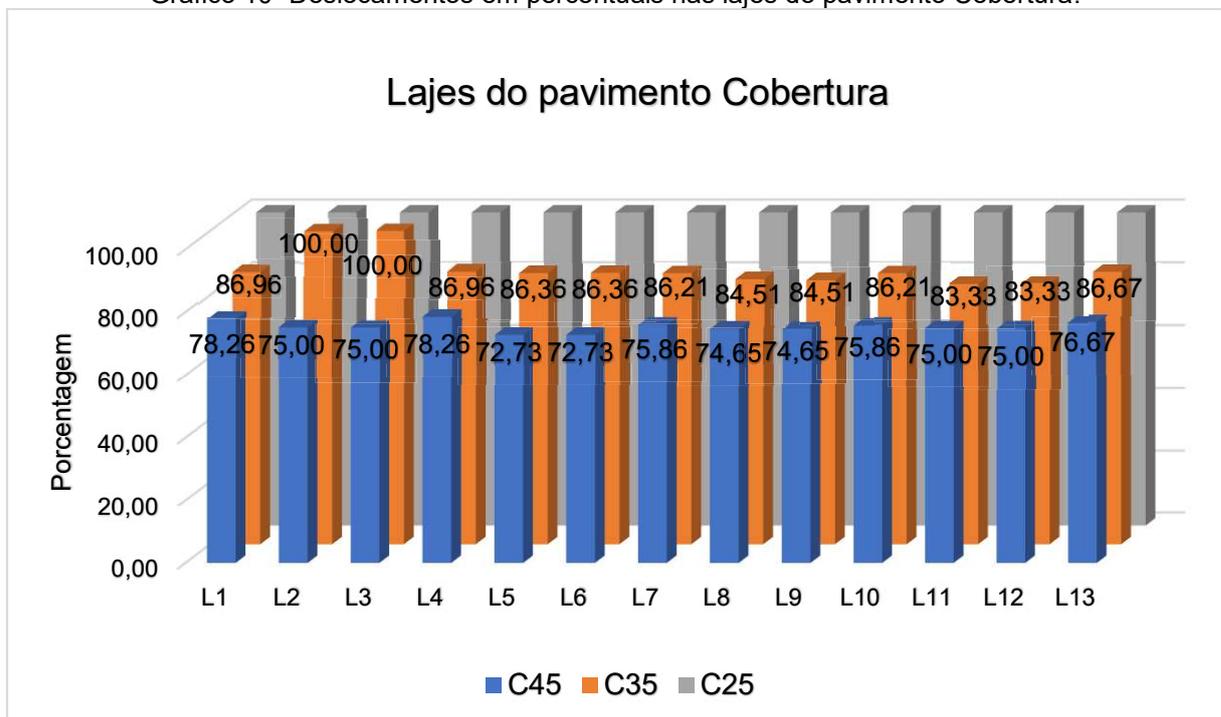
Tabela 5- Flechas nas lajes do pavimento Cobertura.

Lajes	Deslocamentos (flechas) de acordo com a classe de resistência do concreto estrutural (cm)		
	C25	C35	C45
L1	0,23	0,20	0,18
L2	0,04	0,04	0,03
L3	0,04	0,04	0,03
L4	0,23	0,20	0,18
L5	0,22	0,19	0,16
L6	0,22	0,19	0,16
L7	0,29	0,25	0,22
L8	0,71	0,60	0,53
L9	0,71	0,60	0,53
L10	0,29	0,25	0,22
L11	0,24	0,20	0,18
L12	0,24	0,20	0,18
L13	0,30	0,26	0,23

Fonte: A Autora (2018)

As lajes desse pavimento não possuem cargas lineares devido à ausência de paredes. Quando dimensionadas com C35 ocorreram reduções em quase todas as flechas das lajes; as lajes L2 e L3 não apresentaram alterações nos valores nos deslocamentos enquanto as lajes L11 e L12 tiveram reduções de 16,67%. Dessa forma, para a classe C35 as variações ficaram em um intervalo de 0 a 16,67%, enquanto na classe C45 as variações ficaram na faixa de 21,74% nas lajes L1 e L4 a 27,27% nas lajes L5 e L6, esses valores são mostrados no gráfico 10.

Gráfico 10- Deslocamentos em percentuais nas lajes do pavimento Cobertura.



Fonte: A Autora (2018)

A análise da influência da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento estrutural mostrou que o aumento desse valor traz reduções ou aumento no consumo de aço nos elementos estruturais da superestrutura dependendo do f_{ck} utilizado. Assim como, reduções nos deslocamentos das vigas e lajes.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi possível analisar a influência do aumento da resistência característica à compressão do concreto no dimensionamento estrutural do prédio em concreto armado. A partir do dimensionamento foram obtidas informações sobre a influência do f_{ck} no consumo de aço na superestrutura e nos deslocamentos (flechas) nas vigas e lajes.

Diante dos resultados, pode-se verificar que o aumento do f_{ck} na superestrutura induziu às reduções crescentes no consumo de aço nos pilares, já que as ações predominantes nesses elementos estruturais são de compressão. O menor consumo de aço dos pilares foi na classe C45 que equivale uma redução de 4,39%. Já as vigas apresentaram uma redução máxima de 4,53% na classe de resistência do concreto C35. Por fim, têm-se as lajes, que apresentaram tanto redução quanto aumento no consumo do aço; na classe C35 houve redução de 1,81% enquanto na classe C45 houve um aumento de 6,19%.

Quando analisado o consumo de aço total dessa estrutura, a classe C35 apresentou uma redução de 3,26%, enquanto para a classe C45 houve um aumento de 1,19%. O aumento do f_{ck} na superestrutura apresentou alterações significante somente nos pilares já que seguiram uma tendência de redução, já nas vigas e nas lajes não houve essa tendência. Entretanto, a mudança nos valores da resistência característica à compressão do concreto trouxe benefícios à estrutura em relação aos deslocamentos.

As flechas das vigas e das lajes nos pavimentos Tipo 1 e Cobertura apresentaram reduções crescentes com o aumento do f_{ck} . No Tipo 1 as flechas das vigas apresentaram uma redução máxima de 30,77% na viga V10, enquanto nas lajes desse pavimento a redução chegou a um valor de 26,47% nas lajes L8 e L9, quando dimensionados com um concreto de f_{ck} igual a 45MPa. Já para o pavimento Cobertura, que apresenta o diferencial de não possuir cargas lineares sobre os seus elementos estruturais, as vigas apresentaram uma redução máxima de 28,57% na V9 enquanto nas lajes esse valor foi de 27,27% nas lajes L5 e L6, quando dimensionado com a classe C45.

Dessa forma, o aumento da resistência característica à compressão do concreto mostrou que não teve influência significativa no consumo de aço na superestrutura, contudo esse aumento revelou uma redução significativa das flechas das vigas e lajes. Com isso, é interessante esse estudo das ações provocadas na estrutura quando há alterações no f_{ck} no dimensionamento estrutural, pois essa mudança pode ocasionar impactos tanto em questões econômicas como estruturais.

Portanto, conclui-se que o estudo desenvolvido nesse trabalho atingiu os objetivos pretendidos, no qual foi analisar como os elementos estruturais são influenciados no quesito consumo de aço e deslocamentos com a mudança da resistência característica à compressão do concreto.

Como sugestões para trabalhos futuros, tem-se a análise dos impactos econômicos ocasionados pela mudança da resistência característica à compressão do concreto, assim como uma análise comparativa usando outros softwares computacionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: 2015**: Emenda 1: 2008. Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. São Paulo, 2008. 7p.

_____. **NBR 5739: 2007**. Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

_____. **NBR 6118: 2014**: Versão corrigida: 2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: 2014. 238 p.

_____. **NBR 6123: 1988**: Versão corrigida: 1988. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: 1988. 66p.

_____. **NBR 8681: 2004**: Versão corrigida: 2004: Ações e seguranças nas estruturas - Procedimentos. Rio de Janeiro: 2004. 15 p.

_____. **NBR 8953: 2015**. Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: 2015. 3 p.

ALMEIDA, Luiz Carlos de Almeida. **Aço para concreto armado**. Notas de aula. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia. Campinas, 2002.

ALTOQI EBERICK. **Sobre o AltoQi Eberick**. 2018. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/eberick/>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

AMARAL, José Carlos do. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. 2011. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica – Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

ARAÚJO, José Milton de. **Fundamentos modelos de previsão da fluência e da retração do concreto**. Número 4. Rio Grande: Dunas, 2002.

ARAÚJO, José Milton de. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado**. 3 ed. Rio Grande: Dunas, 2014.

ATEX. **Formas para laje nervurada**. 2018. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/pt/formas/laje-nervurada/>>. Acesso em: 27 abr. de 2018.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia, Campus de Bauru. São Paulo, 2006a.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia, Campus de Bauru. São Paulo, 2006b.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Flexão normal simples - vigas**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia, Campus de Bauru. São Paulo, 2015a.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Lajes de concreto**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia, Campus de Bauru. São Paulo, 2015b.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Pilares de concreto armado**. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia, Campus de Bauru. São Paulo, 2017.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **Estados limites de serviço: Fissuração - Deformação**. Apostila. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de engenharia de Ilha Solteira. São Paulo, 2009.

CARVALHO, Clauderson Basileu. **Concreto Armado**. Apostila. Faculdade Pitágoras, Belo Horizonte, 2012.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2014. 4 ed. São Carlos: EdUFSCar, 2016.

CHING, Francis D.K.; ONOUYE, Barry S.; ZUBERBUHLER, Douglas. **Sistemas estruturais ilustrados, padrões, sistemas e projeto**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CAMPOS FILHO, Américo. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Apostila. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Rio Grande do Sul, 2014a.

CAMPOS FILHO, Américo. **Estados limites de serviço em estruturas de concreto armado**. Apostila. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Rio Grande do Sul, 2014b.

CIVILIZAÇÃO ENGENHARIA. **Conheça os tipos de lajes**. 2016. Disponível em: <<https://civilizacaoengenharia.wordpress.com/2016/12/27/conheca-quais-sao-os-tipos-de-laje-e-talvez-ate-mesmo-o-que-seja-laje/>>. Acesso em: 27 abr. 2018.

FONTES, Fernando Fernandes. **Análise estrutural de elementos lineares segundo a NBR 6118:2003**. 2005. 119 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado**: Introdução e propriedades dos materiais. Notas de aula. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama de Maceió**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/maceio/panorama>>. Acesso em: 6 de junho de 2018.

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

MATISSE. **Reforços em lajes e capiteis devido à baixa resistência do concreto**. 2012. Disponível em: <<http://reforcodeestruturas.com.br/fibradecarbono/reforcosem-lajes-e-capiteis-devido-a-baixa-resistencia-do-concreto/>>. Acesso em: 27 abr. de 2018.

MOREIRA, Amacin Rodrigues. **Tecnologia do concreto**. Apostila. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, 2004.

MULTIPLUS CYPECAD. **Discretização do modelo 3D**. 2018a. Disponível em: <http://www.multiplus.com/CYPECAD/Passo_a_passo/60_Discretizacao_do_Modelo_3D.htm>. Acesso em: 30 abr. de 2018.

MULTIPLUS CYPECAD. **Software para cálculo estrutural e projeto estrutural**. 2018b. Disponível em: <<http://www.multiplus.com/software/cypecad/>>. Acesso em: 30 abr. de 2018.

PEDROSO, Fábio Luís. Concreto: Material construtivo mais consumido no mundo. **Concreto e construções**. São Paulo, n. 53, 2009. ISSN 1809-7197.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2007.

PINI WEB. **Softwares auxiliam o cálculo estrutural**. Pini, 21 maio 2003. Texto Original de Nádia Fischer. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/softwares-auxiliam-o-calculo-estrutural-80278-1.aspx>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

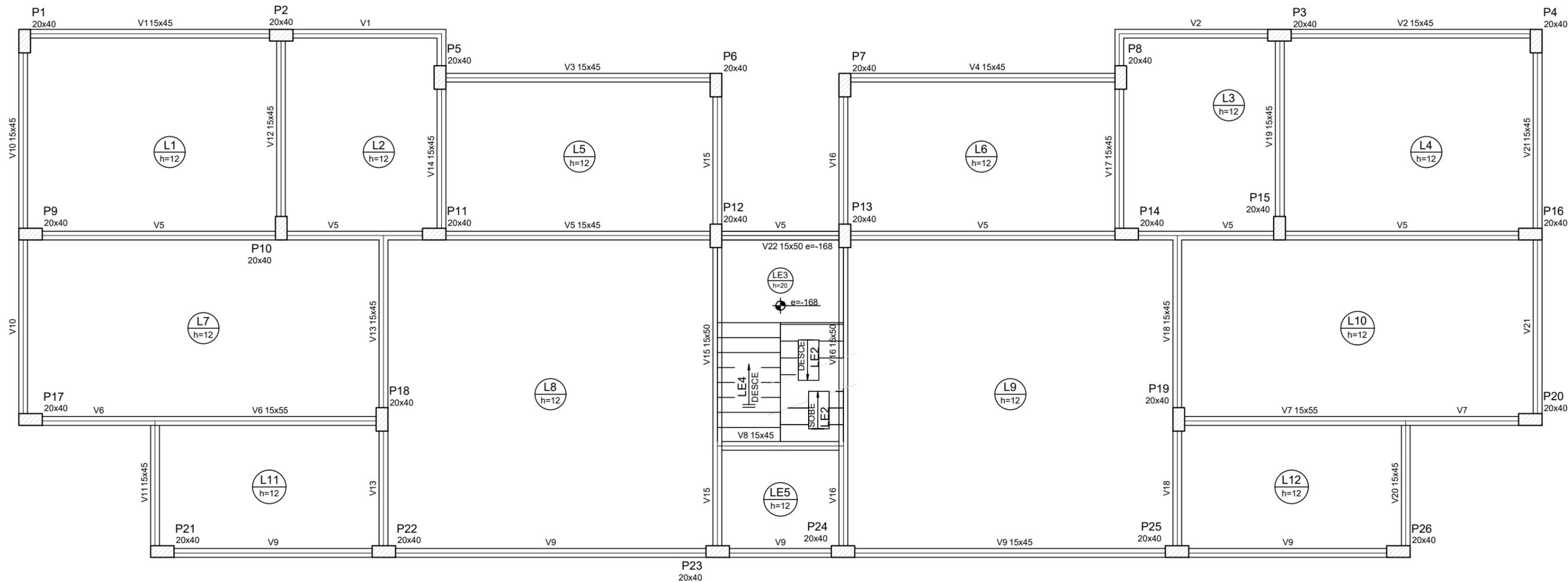
REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo: Ziguarte, 2000.

SILVA, Marcos Alberto Ferreira da. **Projete e construção de lajes nervuradas de concreto armado**. 2005. 239 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de ciências exatas e de tecnologia, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2005.

SKETCHFAB. **Citta 3D V6**. 2017. Disponível em:
<<https://sketchfab.com/models/4431561f70014f94bb23516f315221db>>. Acesso em:
30 abr. de 2018.

TQS. **Sobre o sistema CAD/TQS**. 2018. Disponível em:
<<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/visao-geral/sobre-o-sistema-cadtqs>>. Acesso em: 30 abr. de 2018.

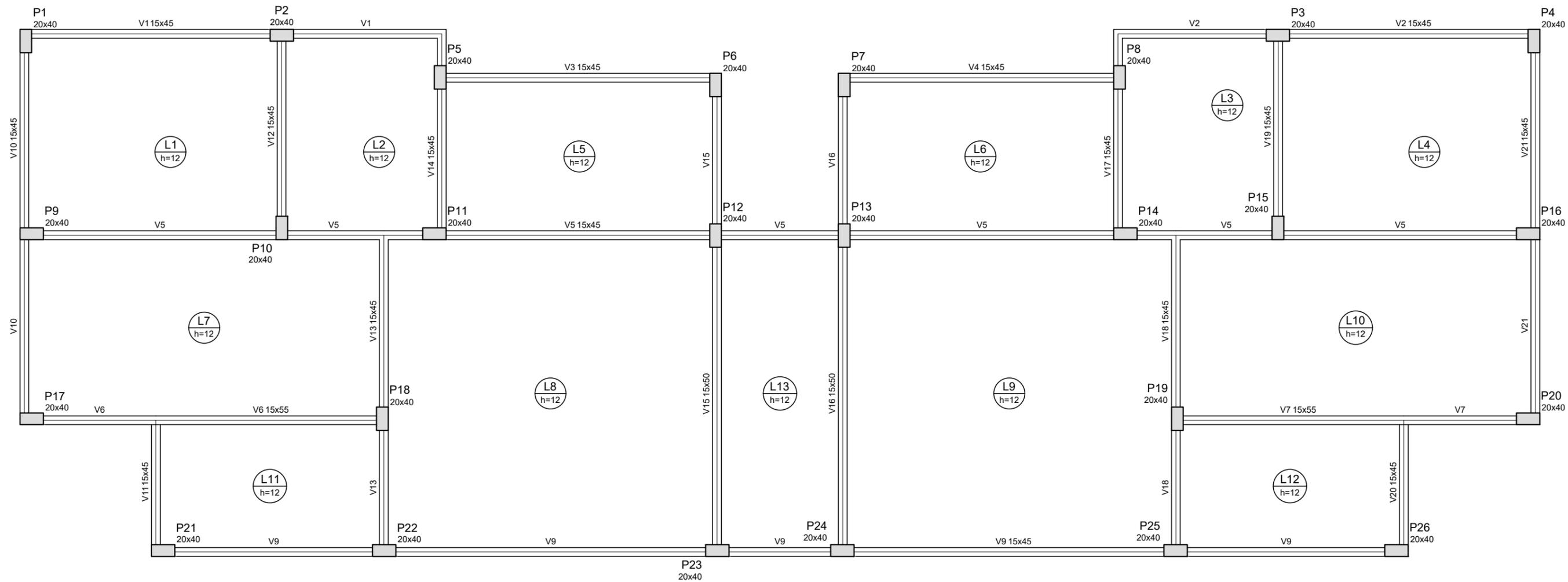
Apêndice A - Planta da forma do pavimento Tipo 1



Forma do pavimento TIPO 1

Escala 1:70

Apêndice B - Planta da forma do pavimento Cobertura



Forma do pavimento COBERTURA

Escala 1:70