

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

MATHEUS MENIN BARFKNECHT

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CUSTO DE UMA
EDIFICAÇÃO**

**CAXIAS DO SUL
2020**

MATHEUS MENIN BARFKNECHT

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CUSTO DE UMA
EDIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva.

CAXIAS DO SUL

2020

MATHEUS MENIN BARFKNECHT

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CONCEPÇÃO ESTRUTURAL NO CUSTO DE UMA
EDIFICAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Luciano Zatti
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Esp. Sergio Paulo da Silva Pacheco
Universidade de Caxias do Sul

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pela vida, saúde e família.

Agradeço em especial aos meus pais, Margarete Menin Barfknecht e Vanderlei Jorge Barfknecht, que nunca pouparam esforços nem recursos em meu ensino, proporcionando-me sempre as melhores condições de ambiente e pressão para que eu desenvolvesse meu aprendizado e caráter, observando que há um mundo ao meu redor disponível para que eu possa alcançar todos os meus objetivos e sonhos. Minha mãe, como professora, acompanhou sempre minha carreira escolar e universitária, doando-se incansavelmente para que meu desenvolvimento cognitivo fosse aprimorado constantemente. Meu pai, como eletricitista e encanador, guiou-me para o caminho onde, hoje, concluo formação. À minha irmã, Debora Menin Barfknecht, sou agradecido pelo zelo que teve como primogênita e pelos conselhos que me deu para eu ser o segundo engenheiro da família. Sem vocês nada disso seria possível.

Agradeço a minha namorada, Angelica Rech da Rosa, pela paciência, compreensão e apoio durante diversos momentos de minha vida acadêmica.

Agradeço aos professores da instituição pelo conhecimento mediado em aula, em especial ao meu orientador, Gustavo Ribeiro da Silva, pela maneira como conduziu atenciosamente e pacientemente a supervisão do desenvolvimento deste trabalho. Obrigado pela amizade e por ter acreditado em meu potencial como aluno, a conclusão deste trabalho também é mérito seu.

Por último, mas não menos importante, agradeço a todos os amigos de infância e a todos que tive oportunidade de conhecer e criar uma relação durante minha vida acadêmica.

“Quando Deus quer, não tem quem não queira”
Ayrton Senna

RESUMO

Edifícios em concreto armado vem ocupando cada vez mais os planos verticais das cidades. Com o recesso da economia do país, foi necessário que o mercado se reinventasse para manter os empreendimentos rentáveis responsáveis por grande parte do orçamento. A superestrutura das edificações devem possuir elementos dimensionados com o máximo de eficiência. Com o auxílio de um *software* de cálculo estrutural este trabalho buscou analisar a influência da concepção estrutural no custo de uma edificação, comparando dois modelos estruturais para uma mesma edificação, mostrando a variação do custo de cada uma. Com base em um projeto arquitetônico, foram lançados os elementos estruturais, variando o vão livre e o uso de vigas de transição. Analisados os modelos estruturais, observou-se uma baixa diferença de custo entre os casos em virtude de ambos se tratarem de uma mesma edificação construída a partir do mesmo sistema construtivo de concreto armado.

Palavras-Chave: Concepção estrutural. Concreto Armado. Custo.

ABSTRACT

Reinforced concrete buildings are increasingly occupying the vertical planes of cities, with the recession of the Brazil's economy the market had to reinvent itself to maintain profitable enterprises, responsible for a large part of the budget, the superstructure of buildings must have elements dimensioned with maximum efficiency. With the help of structural calculation software this work seeks to analyze the influence of structural design on the cost of a building by comparing two structural models for the same building showing the variation in the cost of each one. Based on an architectural project, structural elements will be launched according to the parameters of the bibliographies followed in this work, varying the free span and the influence of the use of transition beams. All safety factors were respected in accordance with Brazilian technical standards. Analyzing the structural models, a low cost variation was observed between the cases, because both cases are the same area built on the same reinforced concrete construction system.

Keywords: Structural Conception, Reinforced Concrete, Budget.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Peso Específico dos materiais	19
Quadro 2 - Valores Característicos nominais das cargas variáveis	20
Quadro 3 - Coeficientes de ponderação do ELU.....	22
Quadro 4 - Limites para deslocamentos.....	24
Quadro 5 - Classes de agressividade ambiental.....	26
Quadro 6 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	26
Quadro 7 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal.....	27
Quadro 8 - Parâmetros da edificação.....	35
Quadro 9 - Materiais utilizados.....	37
Quadro 10 - Cargas do projeto.....	38
Quadro 11 - Referencial de orçamento	59
Quadro 12 - Comparativo de custo de insumos	59
Quadro 13 - Comparativo de custo por material.....	60
Quadro 14 - Valores SINAPI - RS	62
Quadro 15 - Valores dos casos.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema construtivo convencional em C.A.	16
Figura 2 - Vergalhões comerciais.....	17
Figura 3 - Concreto armado	18
Figura 4 - Esforços de um elemento em CA	18
Figura 5 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).....	Erro! Indicador não definido.
Figura 6 - Elementos estruturais	21
Figura 8 - Requisitos de Estrutura.....	28
Figura 9 - Edificação de estudo.....	36
Figura 10 - Bloco de Alvenaria	37
Figura 11 - Modelos estruturais caso 1 e caso 2.....	39
Figura 12 - Planta baixa pavimento tipo - caso 1	40
Figura 13 - Planta baixa pavimento tipo - caso 2	42
Figura 14 - Planta baixa primeiro pavimento - caso 2	43
Figura 15 - Modelagem do pavimento térreo	54
Figura 16 - Planta baixa pavimento térreo caso 1 vs caso 2.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Casos de estudo	38
Tabela 2 - Quantitativo de aço - caso 1.....	44
Tabela 3 - Quantitativo de aço - caso 2.....	47
Tabela 4 - Quantitativo de concreto - caso 1.....	49
Tabela 5 - Quantitativo de concreto - caso 2.....	52
Tabela 6 - Comparativo de peso de aço caso 1 vs caso 2.....	55
Tabela 7 - Comparativo de volume de concreto caso 1 vs caso 2	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantitativo de aço - caso 1	45
Gráfico 2 - Percentual de peso de aço por pavimento - caso 1.....	45
Gráfico 3 - Percentual de peso de aço por elemento estrutural - caso 1.....	46
Gráfico 4 - Quantitativo de aço - caso 2	47
Gráfico 5 - Percentual de peso de aço por pavimento - caso 2.....	48
Gráfico 6 - Percentual de peso de aço por elemento estrutural - caso 2.....	48
Gráfico 7 - Quantitativo de concreto - caso 1	50
Gráfico 8 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 1	50
Gráfico 9 - Percentual de volume de concreto por elemento estrutural – caso 1	51
Gráfico 10 - Quantitativo de concreto - caso 2	52
Gráfico 11 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 2	53
Gráfico 12 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 2	53
Gráfico 13 - Comparativo de peso de aço por pavimento caso 1 vs caso 2.....	56
Gráfico 14 - Comparativo de peso de aço por elemento estrutural caso 1 vs caso 2	56
Gráfico 15 - Comparativo de volume de concreto por pavimento caso 1 vs caso 2..	58
Gráfico 16 - Comparativo de volume de concreto por elemento estrutural caso 1 vs caso 2.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
1.2	OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICO	15
1.2.1	OBJETIVO PRINCIPAL	15
1.2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
1.3	HIPÓTESE	15
1.4	PREMISSAS / DELIMITAÇÕES.....	15
1.5	LIMITAÇÕES.....	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO	16
2.2	PROPRIEDADES DOS MATERIAS DO SISTEMA ESTRUTURAL	17
2.2.1	Concreto.....	17
2.2.2	Aço.....	17
2.2.3	Concreto Armado	18
2.3	CARGAS ATUANTES	19
2.3.1	Cargas Permanentes.....	19
2.3.2	Cargas acidentais.....	19
2.3.2.1	Cargas proveniente do vento em edificações.....	20
2.3.3	Análise das solicitações em elementos estruturais de concreto armado	21
2.3.4	Estados limites	21
2.3.4.1	Estado de limite ultimo (ELU)	22
2.3.4.2	Estado de limite de serviço (ELS).....	23
2.3.5	Durabilidade da estrutura	25
2.3.5.1	Agressividade do ambiente	25
2.3.5.2	Qualidade do concreto de cobrimento.....	26
2.4	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	27

2.4.1	Parâmetros de ocupação de pavimentos em uma estrutura em concreto armado	28
2.4.2	Principais métodos de locação de elementos estruturais em uma estrutura de concreto armado	29
2.4.2.1	Lançamento dos pilares	30
2.4.2.2	Lançamento das vigas e lajes	31
2.4.3	Interação Software – Engenheiro	31
2.4.4	Principais trabalhos sobre concepção estrutural em edificações de concreto armado no Brasil	32
2.4.4.1	Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado – Jose Milton Araújo– 2009	32
2.4.4.2	Estruturas de Concreto Armado – João Carlos Teatini de Souza Clímaco – 2ªed, 2008.....	32
2.4.4.3	A Concepção Estrutura e a Arquitetura – Yopanan Conrado Pereira Rebello – 2000	33
2.4.4.4	Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado – Libânio Miranda Pinheiro e Roberto Chust pp- 2013.....	34
3	MÉTODO DE PESQUISA	35
3.1	PROJETO ARQUITETÔNICO.....	35
3.2	CONCEPÇÃO DOS MODELOS ESTRUTURAIS.....	36
3.2.1	 Materiais	37
3.2.2	 Cargas	37
3.2.3	 Modelos de Estudo	38
4	RESULTADOS	39
4.1	MODELOS ESTRUTUTURAIIS CASO 1 E CASO 2.....	39
4.1.1	 Caso 1	40
4.1.2	 Caso 2	41
4.2	QUANTIDADE DE AÇO	44
4.2.1	 Quantidade de aço no Caso 1	44
4.2.2	 Quantidade de aço no Caso 2	46
4.3	VOLUME DE CONCRETO.....	49

4.3.1	Quantidade de concreto no caso 1	49
4.3.2	Quantidade de concreto no caso 2	51
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	54
4.4.1	Comparativo do modelo estrutural	54
4.4.2	Comparativo do peso de aço (kg)	55
4.4.3	Comparativo do volume de concreto (m³).....	57
4.4.4	Comparativo de custos de insumos	59
5	CONCLUSÕES	61
5.1	EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DOS VÃOS LIVRES	61
5.2	EM RELAÇÃO A UTILIZAÇÃO DE VIGAS DE TRANSIÇÃO	61
5.3	EM RELAÇÃO A RELAÇÃO DOS CUSTOS	62
6	REFERÊNCIAS.....	63
7	APÊNDICE A	65
8	APÊNDICE B	67

1 INTRODUÇÃO

Diante dos últimos números revelados pela LCA (2020) Consultoria, com a projeção de encolhimento de até 10% do PIB do setor da construção civil, neste ano, graças ao Covid-19, o mercado imobiliário vem contabilizando uma queda de 30% desde 2014 na atividade. Não existe mágica para transformar crise em crescimento, porém, desta vez, segundo economista Marcelo Mizrahi (2020), as empresas do setor estão bem capitalizadas para enfrentar a crise, nenhum outro cenário demandaria mais eficiência construtiva do que o atual.

Segundo Araújo (2010) para construir são necessários mão de obra, matéria prima e um projeto de edificação, o qual é responsável por uma grande fatia do orçamento de uma edificação e essa deve ter sua estrutura projetada de uma forma que garanta alta eficiência do valor empregado em sua construção. Tudo começa em uma ciência não exata chamada concepção estrutural. Nessa, o engenheiro tem o trabalho de escolher os elementos a serem utilizados e definir suas posições de modo que formem um sistema que deve atender aos requisitos de qualidade, segurança e desempenho das normas técnicas (PINHEIRO, MUZARDO e SANTOS, 2004).

Neste trabalho, foram simulados modelos estruturais dimensionados no *software* AltoQi Eberick para dois casos, com variações de premissas de concepção estrutural de uma edificação de concreto armado com a finalidade de avaliar o impacto de tais escolhas, diante do custo relativo ao consumo de materiais utilizados em cada caso.

1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

Existem variações de custo de insumos em diferentes concepções estruturais de uma mesma edificação?

1.2 OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICO

1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Analisar a diferença de custo diante de diferentes modelos estruturais de uma estrutura em concreto armado.

1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- a) conceber, analisar e dimensionar modelos estruturais em concreto armado com auxílio do *software Eberick* da AltoQi;
- b) analisar o quantitativo de concreto e aço nos elementos de cada modelo;
- c) determinar qual concepção estrutural com menor custo.

1.3 HIPÓTESE

Existem variações de custo de acordo com a concepção estrutural adotada.

1.4 PREMISSAS / DELIMITAÇÕES

Este estudo se baseia apenas na variação de concepção estrutural feita através de uma mesma arquitetura.

Estudo aplicado em um edifício de oito pavimentos localizado na cidade de Caxias do Sul.

1.5 LIMITAÇÕES

Não será considerada a análise dinâmica da estrutura da edificação.

Não serão dimensionados os elementos de fundação da edificação.

Não serão analisados custos em relação à mão de obra.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EDIFÍCIOS EM CONCRETO ARMADO

Desde 1903, quando o primeiro arranha céu *Ingalls Building* foi construído nos Estados Unidos, (KAEFER,1998) no canteiro de obras mais simples, o concreto armado é empregado em edificações para vencer grandes alturas, suportar grandes cargas e alcançar grandes vãos livres, cumprindo de maneira fiel suas solicitações.

As edificações em concreto armado possuem um processo quase que artesanal de produção baseado em processos de mão de obra por matéria-prima (PINTO, 2016). Seus elementos buscam garantir a segurança do empreendimento rendendo o máximo de lucro possível. Graças ao desenvolvimento de técnicas, pode-se acompanhar, no último século, o crescimento das cidades na direção vertical com edifícios que se tornam cada vez mais altos e esbeltos (LARA, 2016).

Edifícios em concreto armado se baseiam em um esqueleto estrutural constituído por vigas e pilares, fechado verticalmente por lajes e horizontalmente por alvenarias de vedação (Araújo, 2009), conforme Figura 1.

Figura 1 - Sistema construtivo convencional em C.A.



Fonte: adaptado de aecweb (2019).

2.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAS DO SISTEMA ESTRUTURAL

2.2.1 Concreto

Oriundo de uma mistura de areia, cimento, água, agregado graúdo (brita ou cascalho) e juntamente com miúdo (areia), obtém-se uma pasta de cor acinzentada chamada concreto. De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2010) o concreto é um material que possui duas fases essenciais para a construção de edifícios: em sua fase fresca possui ótima consistência plástica o tornando moldável em quase qualquer formato geométrico; em sua segunda fase, já endurecida, o concreto atinge elevadas resistências à compressão, transformando-se em uma estrutura monolítica. Porém, isso não se estende às propriedades de resistência, à tração e flexão, que podem torná-lo quebradiço com a menor das deformações.

2.2.2 Aço

Resultado da fusão de uma mistura de minérios de ferro com adição de carbono, tem-se o protagonista das estruturas: o aço. Com propriedades de alta resistência à tração e baixo peso próprio, se comparado ao concreto, o aço é um elemento indispensável nas construções. Porém, esse possui um alto valor econômico agregado, encarecendo drasticamente uma edificação. O aço na construção civil é normatizado pela NBR 7480 (ABNT, 2007) e é comercializado em barras de vergalhões e fios, conforme Figura 2, em três tipos devido as diferentes variedades de escoamento kN/cm^2 , o CA-25, CA-50 e CA-60 (FERRAZ, 2003).

Figura 2 - Vergalhões comerciais



Fonte: Catálogo da Gerdau (2006).

2.2.3 Concreto Armado

Em 1867, um jardineiro francês resolveu casar os dois elementos: concreto e aço. Desde então, utiliza-se essa combinação em uma massiva parcela dos edifícios (CLIMACO, 2008).

As propriedades dos dois materiais se completaram e deram origem ao concreto armado, conforme Figura 3. Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o concreto armado é todo aquele cujo seu comportamento estrutural depende da aderência entre o concreto e armadura.

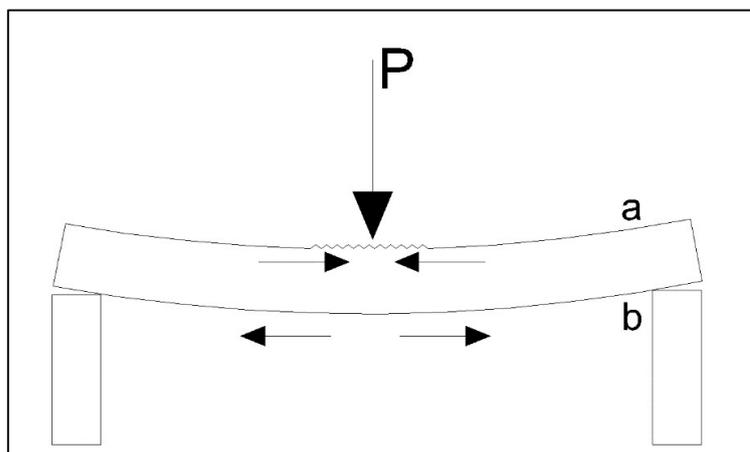
Figura 3 – Concreto armado



Fonte: Adaptado de aecweb (2019).

Segundo Araújo (2009), o aço é incorporado ao concreto antes de seu lançamento em estado fresco no interior da forma, assim quando o concreto passar para o estado endurecido, terá aderência às barras de aço, incorporando as propriedades resistência a tração com as de compressão do concreto, conforme Figura 4, resultando numa peça estrutural robusta de grande vida útil.

Figura 4 - Esforços de um elemento em CA



Fonte: adaptado de Concreto armado eu te amo (Editora Edgar Blucher, 2013, p.10).

2.3 CARGAS ATUANTES

A primeira etapa para o dimensionamento da estrutura de um edifício é estabelecer quais ações os elementos da edificação irão sofrer. Pode-se dividir ações verticais e horizontais.

2.3.1 Cargas Permanentes

As cargas permanentes são todas aquelas cargas provenientes dos materiais empregados na construção do edifício, são cargas constantes ou de pequena variabilidade. Durante a vida útil da edificação, as cargas permanentes são oriundas do peso próprio dos elementos da estrutura, e as cargas fixas, como revestimentos alvenarias e enchimentos (ARAÚJO, 2010).

Segundo Rebello (2000) para determiná-las com grande precisão, basta o conhecimento das dimensões dos elementos e dos valores de peso específico das composições dos materiais de acordo com a NBR 6120 (ANBT, 2019). Conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Peso Específico dos materiais

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
Blocos artificiais e pisos	Blocos de concreto vazado	14
	Bloco ceramico estrutural vazado	12
	Bloco ceramico maciço	18
	Porcelanato	23
	Lajota ceramica	18
Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23
	Argamassa de gesso	12 a 18
	Concreto simples	24
	Concreto Armado	25

Fonte: adaptado NBR 6120 (ANBT,2019, p.9).

2.3.2 Cargas acidentais

Segundo Araújo (2010), são cargas oriundas da utilização da edificação provenientes de sua ocupação que atuam sobre pisos, pilares, coberturas, barreiras, guarda corpos, parapeitos, divisórias, moveis, pressões hidrostáticas, hidrodinâmicas e da força do vento. Seus valores são estabelecidos por consenso previsto pela NBR

6120 (ABNT, 2019) e apresentam variações significativas em torno de sua média durante a vida da edificação. Quando aos valores, esses possuem de 25 a 35% de chance de serem ultrapassados no sentido desfavorável em um período de 50 anos. Essas cargas são previstas por norma conforme Quadro 2.

Quadro 2 - Valores Característicos nominais das cargas variáveis

	Local	Carga uniformemente distribuída kN/m ²
Residenciais	Dormitórios	1,5
	Sala, copa, cozinha	1,5
	Sanitários	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
	Áreas de uso comum	3
	Corredores de unidade autônoma	1,5
	Corredores de uso comum	3
	Escadas de emergência	1
	Gargagem (para veículo cat I)	3
	Cobertura	2

Fonte: adaptado NBR 6120 (ABNT, 2019, p.17).

2.3.2.1 Cargas proveniente do vento em edificações

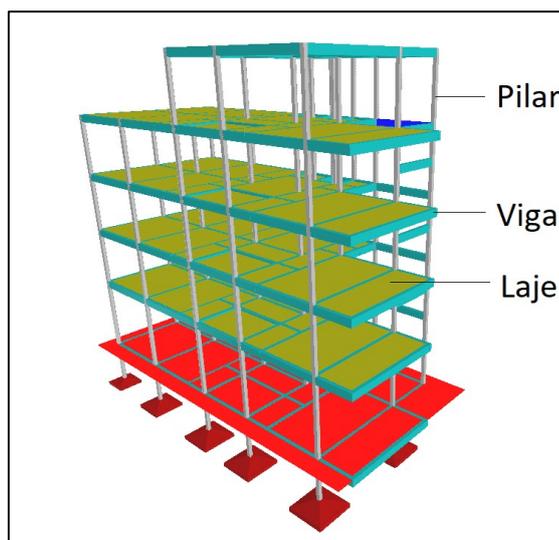
De acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1988), as cargas referentes ao vento em edificações são determinadas a partir da velocidade característica do vento obtida através da velocidade básica desse fator topográfico, rugosidade do terreno e fator estatístico. A velocidade básica do vento é retirada através da localização da edificação; o fator topográfico através do relevo do terreno; a rugosidade e dimensões da edificação através da vizinhança do terreno; estatístico através do uso da edificação.

Estabelecida a velocidade característica da edificação, a NBR 6123 (ABNT, 1988) possibilita estabelecer o cálculo da pressão dinâmica na edificação e, com base na área de influência da fachada do edifício, obter as forças horizontais.

2.3.3 Análise das solicitações em elementos estruturais de concreto armado

Edificações em concreto armado devem possuir elementos estruturais, conforme Figura 5, com a finalidade de suportar de forma inquestionável as ações solicitadas verticalmente e horizontalmente (PORTO E FERNANDES, 2015).

Figura 5 - Elementos estruturais



Fonte: o Autor (2020).

Essas ações geram esforços que são transmitidos aos elementos de diferentes formas:

- a) em vigas, os esforços atuantes são essencialmente de flexão, momento fletor e força cortante provenientes de reações de apoio de lajes, carregamentos de paredes, apoios de outras vigas, os quais absorvem as ações e as transmitem para pilares (FIORIN, 1998);
- b) em pilares, os esforços atuantes são de compressão e momento fletor, originados por cargas verticais como peso próprio e apoios de vigas e horizontais pela ação do vento (FIORIN, 1998);
- c) em lajes, os esforços atuantes são de momento fletor e força cortante oriundos dos carregamentos de cargas acidentais e permanentes (FIORIN, 1998).

2.3.4 Estados limites

Para Araújo (2010), uma estrutura de concreto armado deve ser projetada não somente para atender aspectos econômicos, arquitetônicos, mas também para

segurança, durabilidade e desempenho. Os parâmetros de segurança a serem atendidos deverão resguardar a edificação contra rupturas, colapso e perda de equilíbrio devido a ações que serão impostas durante sua vida útil e fase construtiva. Já no quesito de desempenho, essa deve ser capaz de resistir a deformações de modo que não provoque patologias em elementos não estruturais, não afetando sua aparência, não causando mal-estar aos usuários nem mesmo prejudicando a proteção de armadura. Sua durabilidade deve dispensar reparos de grande custo ao longo de sua vida útil, resistindo as intemperes previstas no projeto.

2.3.4.1 Estado de Limite Último (ELU)

Como menciona a NBR 6118 (ABNT, 2014), o estado limite último é aquele em que a estrutura não atende mais a parâmetros de segurança devido a ocorrência do esgotamento de sua capacidade de resistência de suas solicitações, levando à ruptura parcial ou colapso.

A ABNT, NBR 6118:2004, p. 54 destaca que:

Deverá se verificar a segurança do ELU quanto:
Ruptura ou deformação plástica excessiva dos materiais; Instabilidade do equilíbrio, considerando os efeitos de segunda ordem; Perda de equilíbrio da estrutura, admitida como um corpo rígido; Estado limite ultimo provocado por solicitações dinâmicas; Transformação da estrutura, no todo ou em parte, em um sistema hipostático.

Exemplificando com o Quadro 3, pode-se mencionar os coeficientes de ponderação γ_g , γ_f , γ_q , γ_c e γ_s , previstos por pela NBR 6118 (ABNT, 2014) presentes nos cálculos de dimensionamentos e análise de elementos estruturais.

Quadro 3 - Coeficientes de ponderação do ELU

Combinações de ações	Ações				Combinações	
	Permanentes (γ_g)		Variáveis (γ_q)		Concreto (γ_c)	Aço (γ_s)
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura		
Normais	1,4	1	1,4	0,9	1,4	1,15
Especiais	1,3	1	1,2	0,9	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1	0	0,9	1,2	1

Fonte: adaptada NBR 6118 (ABNT 2014, p. 65).

2.3.4.2 Estado de Limite de Serviço (ELS)

É o estado de serviço que está mais ligado a parte de análise perceptiva e sensorial da edificação. De acordo com Araújo (2010), os elementos da edificação podem estar dentro dos parâmetros de Estado Limite Último (ELU) e nunca ir ao colapso ou ruptura, porém podem estar em desacordo com parâmetros de Estado Limite de Serviço (ELS). O ELS representa aquele mal-estar proporcionado ao morador ao se deparar com uma viga fletida excessivamente, com uma porta que emperra a todo momento, com fissuras que podem danificar a armadura dos elementos e até com balanços impertinentes. Podendo ser:

- a) estado limite de serviço quanto a formação de fissuras, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) podem ser classificadas em:
 - quase permanentes, atuando em grande parte da vida da estrutura e necessitando uma verificação quando seu estado limite de deformação excessiva;
 - frequentes, repetindo-se muito durante o período de vida da estrutura sendo necessária uma verificação quanto sua abertura, vibrações excessivas ou deformações oriundas de temperaturas ou vento;
 - raras, aparecendo raramente durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode se limitar apenas a análise de sua formação.
- b) estado limite de serviço quanto a abertura das fissuras, como previsto pela NBR 6118 (ABNT, 2014), tem-se uma tolerância de abertura de máxima para concreto 0,3mm em concreto armado e 0,2mm em concreto com armaduras ativas;
- c) estado limite de serviço quanto à deformações excessivas, os deslocamentos-limites são quantificados em valores de base para verificações de deformações excessivas, para a NBR 6118 (ABNT, 2014), dividem-se essas deformações em quatro grupos:
 - aceitabilidade sensorial: é o limite caracterizado pela análise visual, caracterizada por vibrações e aparência desagradável. Pode ser prevenida através da limitação de sua flecha e analisada, de acordo com o Quadro 4.
 - efeitos específicos: quando os deslocamentos impedem a utilização adequada da edificação;

— efeitos em elementos não estruturais: quando o deslocamento afeta o elemento estrutural prejudicam o funcionamento de elementos não estruturais;

— efeitos em elementos estruturais: quando os deslocamentos afetam o comportamento de um elemento estrutural comprometendo sua morfologia e finalidade.

Quadro 4 - Limites para deslocamentos

(continua)

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade Sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250$ a
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$l/500$ e 10mm e $\theta = 0,0017 \text{ rad d}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$l/250$ c e 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação frequente ($\psi_1 = 0,30$)	$H/1700$ e $H_i/850$ e entre pavimentos
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$l/400$ g e 15 mm
Efeitos em elementos não estruturais	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H_i/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após a construção do forro	$l/350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após a construção do forro	$l/175$

(conclusão)

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
<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 contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.</p> <p>c - O vão l deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.</p> <p>d - Rotação nos elementos que suportam paredes.</p> <p>e - H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.</p> <p>f - Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos, devido à atuação de ações horizontais. Não podem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica ao deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.</p> <p>g - O valor l refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.</p>		

Fonte: adaptada NBR 6118 (ABNT 2014, p.77).

2.3.5 Durabilidade da estrutura

De acordo com o item 6 da NBR 6118 (ANBT, 2014), esse exige que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas em projeto, devam conservar sua segurança com a finalidade de preservar sua vida útil. Exemplos de mecanismos preponderantes de deterioração relativa do concreto são: lixiviação, expansão por sulfato, reação álcali agregado; já os mecanismos de preponderantes de deterioração relativos à armadura são: despassivação por carbonatação, despassivação por ação de cloreto e deterioração da estrutura.

2.3.5.1 Agressividade do ambiente

A agressividade do meio ambiente está relacionada com reações físicas e químicas atuantes sobre as estruturas do concreto, independentemente, das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. A agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o Quadro 5, segundo as condições de exposição da estrutura ou suas partes (ANBT, 2014).

Quadro 5 - 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, b}	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

a. Pode-se admitir um microclima com uma classe mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais 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 chuva 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 NBR 6118 (ABNT, 2014, p.17).

2.3.5.2 Qualidade do concreto de cobrimento

A norma NBR 6118 (ANBT, 2014) estabelece parâmetros mínimos de cobrimento de armadura e de relação água/cimento do concreto devido à durabilidade. A relação água/cimento está ligada diretamente a um maior controle de porosidade do concreto resultando em uma barreira física resistente ao meio. Os parâmetros de relação água/cimento e cobrimento estão representados no Quadro 6 e Quadro 7 sendo respeitados de acordo com o meio estabelecido na Quadro 5.

Quadro 6 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto	Classe de agressividade			
	I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe de concreto (ANBT NBR 8953)	≥ C20	≥ C325	≥ C30	≥ C40

Fonte: adaptado NBR 6118 (ABNT, 2014, p.17).

Quadro 7 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal

Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50
Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: adaptado NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 20)

2.4 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Conhecida também como estruturação, segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), a concepção estrutural é uma das etapas mais importantes da construção de um edifício, é nela em que são ditados os parâmetros a serem seguidos com relação ao lançamento de sua estrutura.

É nessa etapa que os elementos da estrutura são escolhidos, assim como suas posições de uma forma a compor um sistema estrutural eficiente capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes e transmiti-los ao solo de fundação, que devem respeitar os requisitos estabelecidos pelas normas técnicas de desempenho tanto de durabilidade quanto de serviço (REBELLO, 2000).

Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), o sistema estrutural deve ser projetado para resistir as ações verticais como as horizontais. As cargas verticais são resultados do peso próprio dos materiais utilizados nos elementos estruturais e não estruturais (ações permanentes) e ações variáveis oriundas da utilização do edifício. As ações horizontais, no Brasil, são resultantes do vento tendo em vista a inexistência de abalos sísmicos. Diante de inúmeras combinações de materiais, os edifícios podem ser construídos com elementos moldados no local, pré-fabricados ou misto, em casos específicos de grandes vãos livres, a utilização de elementos protendidos que proporcionem melhor resistência, menor deformação e fissuração.

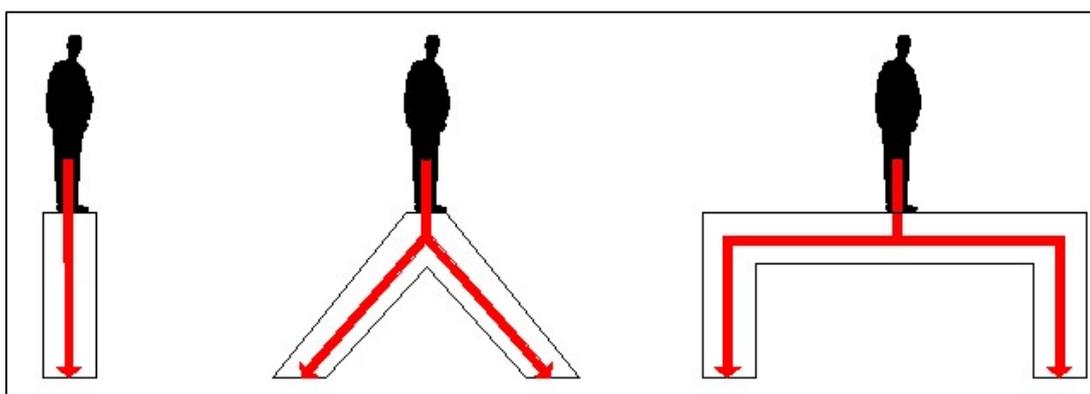
Quanto às lajes, elas podem ser maciças ou nervuras, pré-fabricas ou moldadas no local, apoiadas em lajes ou não, no caso, são lajes que podem ser apoiadas diretamente nos pilares com ou sem capiteis. A escolha pode depender de fatores técnicos como a dependência do meio técnico para desenvolver, a execução da obra, a disponibilidade de matérias, mão de obras e equipamentos necessários,

quanto a fatores econômicos como no caso dos edifícios residências e comerciais, tendo em vista o produto final da edificação, o lucro (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2004).

Para orientar a escolha é necessário estabelecer uma hierarquia de quesitos aos quais a solução deverá atender, de maneira que se estabeleçam categorias de importância, de forma que a solução encontrada atenda muito bem os mais importantes e bem os menos importantes (REBELLO 2000, p.26)

Pode se exigir um solução estrutural que seja em primeiro lugar econômica, em segundo bonita e em terceiro fácil de construir, a função de quem concebe é fazer com que o projeto atenda da forma mais eficiente possível os requisitos hierarquizados, uma estrutura pode ser muito econômica, bonita e fácil de executar mas também pode ser muito bonita, fácil de executar e econômica, não se pode afirmar qual a melhor solução, mas pode se afirmar que a pior é aquela onde existe o maior desencontro dos objetivos do projeto de arquitetura e projeto de estrutura (REBELLO, 2000).

Figura 6 - Requisitos de Estrutura



Fonte: adaptada **A Concepção Estrutural e a Arquitetura** (REBELLO 2000, p.24).

2.4.1 Parâmetros de ocupação de pavimentos em uma estrutura em concreto armado

Segundo Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), o dimensionamento da estrutura deve levar em conta a finalidade da edificação com base nas condições impostas pela arquitetura, nesse ponto, pode-se afirmar que o projeto arquitetônico representa a base para a elaboração do projeto estrutural. O projeto arquitetônico deve prever o

posicionamento dos elementos respeitando a divisão dos ambientes em todos pavimentos da edificação, de forma que seja possível compatibilizar a estrutura com o solo em que ela se apoia. Todos os projetos (instalações elétricas, hidráulicas, telefonia, segurança, prevenção contra incêndio, televisão, ar condicionado entre outros) devem permitir a coexistência com qualidade de todos os sistemas.

Usualmente, os edifícios são formados por pavimentos na ordem, subsolo, térreo, tipo, cobertura e casa de máquinas. Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), dependendo das propriedades do solo e não somente dele, pode-se ter ou não o subsolo como a base da edificação, como se pode ter mais de um também, tendo em vista seu uso destinado a garagem e reservatório inferior, o que varia com a demanda de vagas diretamente ligada ao número de unidades da edificação. Os pavimento-tipo são aqueles em que a arquitetura se repete muito comum em todos edifícios, mas também não obrigatório. Pode-se ter nos últimos pavimentos, aqueles que são de um valor imobiliário maior, a ocorrência de *layout* diferente e unido à cobertura pertencendo à uma única unidade, podendo os tornar em coberturas, duplex ou triplex. Logo acima, tem-se também a cobertura, local destinado a unidade de maior valor da edificação ou simplesmente onde se situa o telhado ou terraço técnico da edificação. Por último, tem-se a casa de máquinas, onde é feita a locação de equipamentos como pressurizadores, motores de elevador, antenas, reservatório superior (REBELLO, 2000).

2.4.2 Principais métodos de locação de elementos estruturais em uma estrutura de concreto armado

Após da definição do projeto arquitetônico, pode-se começar o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, a definição do caminho que as ações verticais irão percorrer na estrutura. De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), tudo começa nas lajes, que suportam, além de seu peso próprio, ações permanentes, variáveis, paredes e esquadrias. As lajes por sua vez transmitem essas ações para as vigas através das reações de apoio. As vigas, que também suportam seu peso próprio, recebem as reações das lajes, paredes e outros elementos estruturais, como exemplo, a reação de apoio de uma viga secundária ou terciária. Resistindo a esforços de flexão e cisalhamento, as vigas transmitem esses esforços para os pilares. Os pilares recebem os esforços dos elementos que nele se sustentam,

passando esses esforços e seu peso próprio para os pilares dos andares inferiores, até as fundações que transferem esses esforços para o solo.

Assim como os esforços verticais, os horizontais também são transmitidos ao solo, esses esforços oriundos do vento têm origem nas paredes externas, essas ações são transmitidas para elementos verticais de grande rigidez, como pórticos formados por vigas e pilares, lajes, paredes estruturais e núcleos que formam a estrutura de contraventamento. As lajes exercem uma espécie de travamento do conjunto estrutural devido a sua rigidez praticamente infinita ao longo de seu plano (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2004).

2.4.2.1 Lançamento dos pilares

Qualquer edifício se manteria em pé com apenas um pilar afirma Rebello (2000), não é difícil de se afirmar que seria a opção mais cara e complexa existente. O número de pilares deve ser distribuído de forma que seja economicamente viável e sua execução seja fácil. Seu excesso elevava o custo por questões de materiais e sua falta também. Recomenda-se iniciar a localização dos pilares pelos cantos e, a partir disso pelas áreas que geralmente são comuns a todos os pavimentos e onde se localizam, na cobertura, a casa de máquinas e reservatório superior.

Os pilares devem partir de dimensões mínimas de seção como 14 centímetros e lançados em linha sempre que possível com a finalidade de formar pórticos com as vigas que os unem para formarem estruturas que contribuam para a estabilidade global da edificação com distâncias entre quatro a seis metros para seus eixos. Eixos muito distantes acarretaram em vigas com seções de grande dimensão; eixos pouco espaçados acarretaram em problemas para fundação e aumentam drasticamente o quantitativo de materiais. Posicionando os pilares do pavimento tipo deve se verificar a interferência desses em outros pavimentos, de forma que não afetem a circulação de carros da garagem, áreas sociais, sala de estar, salão de festas e etc. Caso não seja possível compatibilizar as prumadas com todos pavimentos, existe a opção do acréscimo de um pavimento de transição para o uso de vigas de transição com a finalidade de alterar a prumada de pilares. Esses elementos devem ser bem dosados, devido a magnitude dos carregamentos aos quais são submetidos (PINHEIRO, MUZARDO E SANTOS, 2004).

2.4.2.2 Lançamento das vigas e lajes

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), a estruturação deve seguir com o posicionamento de vigas nos diversos pavimentos, além de ligar pilar a pilar, formando pórticos, em que se pode necessitar do lançamento de vigas secundárias para suportar cargas distribuídas de paredes. Indica-se que as dimensões sigam os padrões das espessuras das paredes por alturas máximas de 60 centímetros para não encarecer o custo nem interferir na altura do pé direito. As vigas normalmente delimitam os painéis das lajes maciças na ordem de três a cinco metros, costuma-se adotar no máximo três tipos de seção de vigas para não complicar o cimbramento. As lajes por sua vez seguem as delimitações das vigas.

2.4.3 Interação Software – Engenheiro

Kimura (2007) cita que o trabalho em desenvolvimento de uma estrutura em um *software* por ser dividido em quatro partes: concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento e emissão de plantas.

No processo da concepção, cabe ao engenheiro fazer a escolha da estrutura, não existe *software* que faça isso, cabe ele estabelecer as dimensões dos elementos, prevendo o seu comportamento.

Definir dimensões e posições dos elementos não é uma tarefa fácil tampouco automática, exige experiência raciocínio e bom senso, pois, sempre antes de lançar uma concepção, é necessário imaginar como essa irá se comportar. Quanto à etapa da análise estrutural, é onde mais se destacam os benefícios da utilização do *software*, graças a suas simulações gráficas. Assim, tem-se a simulação de como a estrutural escolhida irá se comportar de acordo com ações solicitadas. Quanto ao momento do dimensionamento e detalhamento das estruturas, é nesse momento que o *software* mais se sobressai, realizando todo trabalho braçal de forma supervisionada, já que existem diversas condições em que não podem ser consideradas de forma automática pelo *software*. A emissão das plantas é um processo totalmente automático em que são produzidas nada mais que uma série de desenhos com o objetivo de elucidar quem fará a execução quanto a morfologia e detalhamentos da estrutura (KIMURA, 2007).

Nota-se o benefício do auxílio do software basicamente devido a velocidade dos processos e principalmente quanto a produtividade que abre uma série de análise

das possibilidades da concepção da estrutura, permitindo estudar um caso inúmeras vezes, algo que era praticamente impossível devido aos processos extremamente lentos, que muitas vezes necessitavam simplificações. O segundo maior benefício mencionado é a qualidade e segurança com que a estrutura é dimensionada. Porém, é importante salientar que o *software* é uma ferramenta auxiliar, o qual não substitui e jamais substituirá o papel do engenheiro, sendo que ele apenas usa uma série de formulações adotadas baseadas em um método de análise que devem permitir ao engenheiro concluir a prova real do que está sendo processado. Nunca deixe de fazer as contas de padaria (KIMURA, 2007).

2.4.4 Principais trabalhos sobre concepção estrutural em edificações de concreto armado no Brasil

2.4.4.1 Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado – Jose Milton Araújo– 2009

A obra realizada por Jose Milton de Araújo, que faz parte de uma coleção de quatro volumes, apresenta de maneira didática o desenvolvimento do processo de dimensionamento de estruturas de concreto armado baseado na norma NBR 6118 (ABNT, 2014), através do método de pórticos.

Araújo (2009) utiliza um edifício de modelo base para elucidar a explicação, usando como concepção elementos estruturais com dimensões pré-fixadas, como lajes de 10 centímetros, vigas com seções de 12 e 20 centímetros por 40 a 60 centímetros de altura para atender dimensões de paredes descontando o cobrimento do reboco, com vãos estabelecidos pelos pontos de início e fim das paredes, obedecendo um dimensionamento máximo de quatro a cinco metros de distância para os pilares de 20 centímetros por 50 e 70 centímetros além do uso de paredes estruturais, o pé direito fixado em 2,80 metros com exceção do pavimento da garagem.

2.4.4.2 Estruturas de Concreto Armado – João Carlos Teatini de Souza Clímaco – 2ªed, 2008

Nessa obra o autor trata sobre os conceitos fundamentais do dimensionamento de elementos estruturais fundamento na NBR 6118 (ABNT, 2014) e com a exemplificação em mais de um modelo de edificação salientando as particularidades de cada caso. No capítulo em que o Clímaco (2008) fala sobre a

estruturação, ele salienta a dificuldade de estabelecer regras genéricas para o lançamento dos elementos estruturais e menciona tópicos para servir de guia da tarefa:

Clímaco (2008) sugere que se evite a dependência da estabilidade global da edificação e que se dependa de um número reduzido de peças para que as essas não sejam excessivamente solicitadas e que se busque o menor trajeto possível às cargas exercidas nos pontos de aplicação até os apoios externos, criando praticamente um pilar a cada cruzamento de viga. Evitar peças excessivamente delgadas devido à dificuldade da disposição das armaduras, concretagem e adensamento do concreto, além da ligação dessas com peças espessas, caso em que se busca reduzir zonas de tensões internas elevadas provocadas pelas retração.

É preciso evitar também o uso de peças muito espessas com dimensões maiores que 80 centímetros nas três direções devido a elevada temperatura que atinge durante a hidratação do concretagem, buscando se evitar fissuras dos elementos. É importante elaborar o lançamento da estrutura de uma maneira que esse venha a facilitar sua execução e permitir o acesso para atividades de manutenção e reparo. Estabelecer diretrizes de concepção em que se mencione a relevância que os arranjos de vigas e pilares devem ser feitos, simultaneamente, devido sua interdependência.

Quanto à primeira estruturação, essa deve se iniciar no pavimento tipo, através da análise da situação das paredes e das posições dos pilares em outros pavimentos, analisando a viabilidade do uso de vigas de transição. É notório sinalizar possíveis espaçamentos para os elementos, como o de vãos menores que seis metros com seções de vigas e pilares de no máximo 22 centímetros, salientando o espaçamento máximo de oito metros para os pilares (CLÍMACO, 2008).

2.4.4.3 A Concepção Estrutura e a Arquitetura – Yopanan Conrado Pereira Rebello – 2000

A obra, com objetivo de elucidar conceitos físicos e morfológicos de estruturas, aborda em suas páginas, de forma didática, diferentes métodos de conceber estruturas, sejam elas em concreto armado, madeira ou aço. O livro possui um capítulo dedicado ao lançamento dos elementos estruturarias como vigas e pilares.

Rebello (2000) estabelece uma hierarquia de parâmetros a serem atendidos durante o a estruturação da edificação, salientando alguns tópicos a serem seguidos.

É indicado que o lançamento da estrutura comece pelas vigas dos pavimentos intermediários, de preferência, sobre as alvenarias, de forma que essa fique abaixo da alvenaria do próximo pavimento para evitar a deformação excessiva das lajes evitando trincas indesejáveis.

Rebello (2000) menciona a inversão das vigas como opção para elementos superdimensionadas que causem interferência nos pavimentos inferiores. Para pilares, o autor indica que esses devam ser lançados após as vigas para não dificultar o superdimensionamento da estrutura. Mensura também que os vãos livres devem trabalhados em torno de quatro a seis metros, em locais que possam garantir sua continuidade em outros pavimentos para evitar o uso de vigas de transição que encarecem o custo do edifício. Outro fator é evitar a variedade das dimensões dos elementos tendo no máximo três seções para vigas e pilares.

2.4.4.4 Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado – Libânio Miranda Pinheiro e Roberto Chust pp- 2013

Escrito pelo renomado professor Libânio M. Pinheiro e Roberto C. Carvalho, a obra aborda propriedades dos elementos estruturais e das ações nelas submetidas com base em exemplos específicos para cada situação. Autor de diversos textos acadêmicos, muitos deles utilizados neste trabalho, aborda tópicos a serem seguidos no dimensionamento de elementos.

O Pinheiro e Carvalho (2013) elucidam um caminho das ações que deve ser seguido à estruturação, iniciando-a pelos pavimentos tipos, especificamente os dos cantos, em seguida os dos cantos das paredes e por último os do centro, sem interferência em outros pavimentos, adotando vãos de quatro a seis metros de seções mínimas de 19 por 19 centímetros de forma a garantir a rigidez dos elementos. Após o lançamento das vigas, essas devem formar pórticos com o objetivo de aumentar a rigidez da edificação, salientando que elas não ultrapassem 60 centímetros de altura e que seu posicionamento deve ser seguido pelo lançamento dos pilares.

3 MÉTODO DE PESQUISA

3.1 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico é baseado em um edifício de uso residencial, conforme Figura 7, constituído por subsolo, térreo e cinco pavimentos tipo, além de um terraço técnico de cobertura e reservatório. Possui uma área total construída de 2773 m², 292 m² cada pavimento e localizado no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul. Planta baixa disponível em Apêndice A.

Quadro 8 - Parâmetros da edificação

Parâmetros de cálculo	
Agressividade Ambiental	Moderada (tipo 2)
Risco de deterioração da estrutura	Baixo (Ambiente Urbano)
Relação a/c (argamassa)	0,66
Velocidade do vento	45 m/s
Fator S1	1.0
Fator S2	1.1
Fator S3	1.0
Aço utilizado	CA - 50 e CA - 60
Cobrimento da armadura	25 mm a 30 mm
Dimensão do agregado graúdo	19 mm
Rêsistencia característica à compressão	25 MPa

Fonte: o Autor (2020).

O pavimento do subsolo e térreo são destinados à garagem e ao reservatório inferior, possuindo o pé direito de 3,15 metros. Totalizando 20 unidades com pé direito de 2,80 metros, a planta do pavimento tipo se divide em quatro unidades por pavimento, com piso revestido de porcelanato nas áreas molhadas, fechado por esquadrias de alumínio e portas internas em madeira oca e externas maciças. Seu terraço técnico é constituído por uma cobertura de aluzinco fechada lateralmente por uma platibanda de sobre uma estrutura de madeira que possui uma pequena área destinada para reservatório e pressurizadores de rede. Quanto aos reservatórios, o superior possui capacidade de 2.000 litros e inferior 6.000 litros.

Figura 7 - Edificação de estudo



Fonte: o Autor (2020).

3.2 CONCEPÇÃO DOS MODELOS ESTRUTURAIS

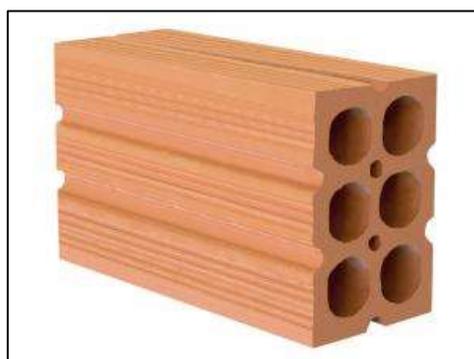
Dois modelos estruturais da mesma edificação foram lançados a partir de duas formas de concepção de estruturas de concreto armado, como apresenta o *layout* do projeto arquitetônico do pavimento tipo. Os elementos estruturais foram projetados com variação dos vãos causados pelo distanciamento dos pilares e a presença das vigas de transição no pavimento tipo do primeiro andar.

Com o auxílio do *software* computacional Eberick V8, da empresa AltoQi, que analisa a estrutura através do método de pórtico espacial com base na NBR 6118 (ABNT, 2014), cada elemento foi dimensionado, obedecendo os parâmetros citados na fundamentação teórica. Após o desenvolvimento dos projetos estruturais de cada modelo de concepção, foi feito um estudo do custo das respectivas superestruturas com base na planilha orçamentaria SINAPI-RS referente ao mês de Junho/2020.

3.2.1 Materiais

Ambos casos utilizaram os mesmos materiais. Foi empregado no contrapiso o uso de brita leve com a finalidade de não carregar a laje excessivamente, para as alvenarias, utilizou-se blocos cerâmicos de vedação fabricados pela Cerâmica Kaspary, além da proximidade da fábrica localizada em Portão – RS, os blocos possuem certificação PSQ da indústria cerâmica e são produzidos para atender a norma de desempenho NBR 15575 (ANBT, 2013). A modulação escolhida foi 9x14x24 centímetros para as paredes simples e duplas, revestidos por argamassa constituída por cimento, cal e areia, em fachadas externas com dois a três centímetros e internamente dois centímetros.

Figura 8 - Bloco de Alvenaria



Fonte: Catálogo Online Cerâmica Kaspary (2020).

3.2.2 Cargas

Para a edificação, além das cargas permanentes provenientes do peso próprio dos materiais citados no item 3.2.1 Materiais, tem-se as cargas provenientes das cargas acidentais, de acordo com o uso das áreas da edificação. Todos esforços horizontais e verticais calculados com parâmetros de base de acordo com a NBR 6120 (ABNT, 2019).

Quadro 9 - Materiais utilizados

Material	Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
Blocos de concreto vazado	14
Porcelanato	23
Argamassa de cal, cimento e areia	19
Concreto simples	24
Concreto Armado	25

Fonte: Adaptado NBR 6120 (ABNT, 2019, p.17).

Quadro 10 - Cargas do projeto

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²
Residenciais	Dormitórios	1,5
	Sala, copa, cozinha	1,5
	Sanitários	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
	Áreas de uso comum	3
	Corredores de unidade autônoma	1,5
	Corredores de uso comum	3
	Escadas de emergência	1
	Garagem (para veículo cat I)	3
	Cobertura	2

Fonte: adaptado NBR 6120 (ABNT, 2019, p.17).

3.2.3 Modelos de Estudo

Para este trabalho, foram realizados dois casos de estudo. Primeiro lançamento com pilares afastados de quatro a oito metros nascendo no subsolo e morrendo na cobertura, vigas formando pórticos tridimensionais e lajes maciças dimensionadas de acordo com suas solicitações. Um segundo de estudo com pilares afastados de três a cinco metros nascendo no subsolo e primeiro andar e morrendo na cobertura, com vigas formando pórticos tridimensionais e vigas de transição com lajes maciças dimensionadas de acordo com suas solicitações.

Tabela 1 - Casos de estudo

Caso	Lançamento de Pilares	Lançamento de Vigas	Tipo de laje
1	Formando vãos livres de 4 a 8 metros	Simplex compondo pórticos	Maciça
2	Formando vãos livres de 3 a 5 metros	Com vigas de transição	Maciça

Fonte: o Autor (2020).

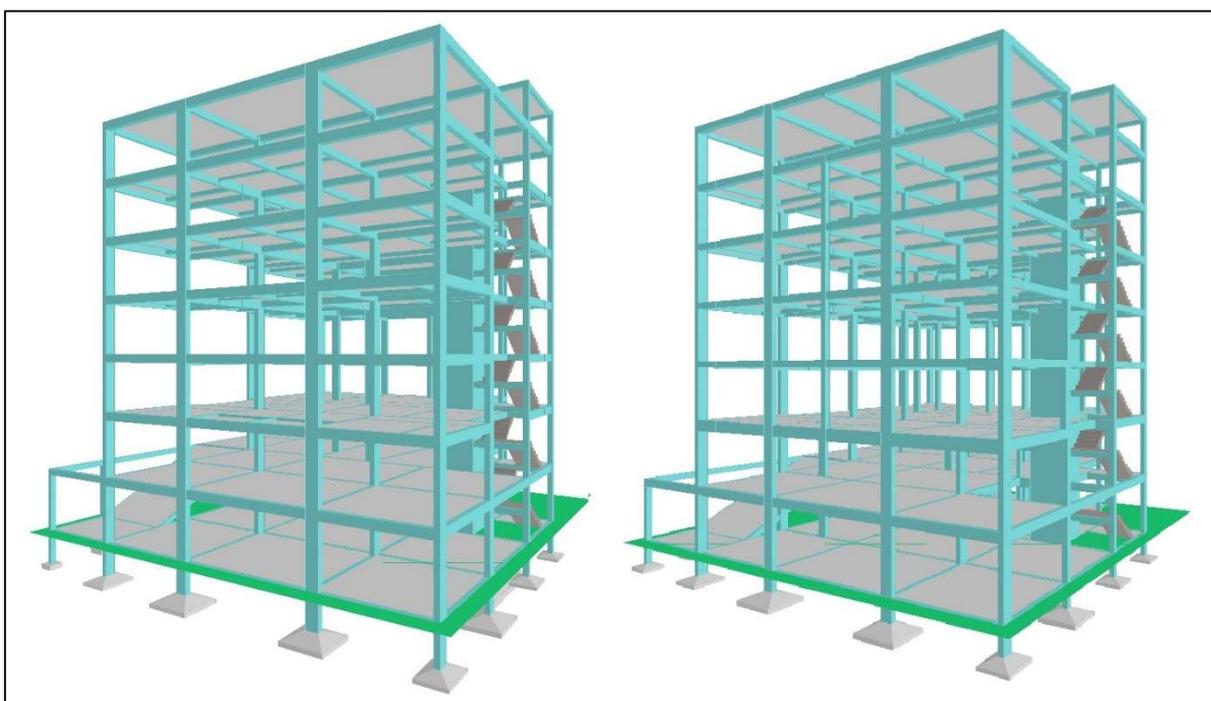
4 RESULTADOS

Este estudo buscou analisar o consumo de materiais diante de seu emprego em cada caso. No caso 1 com um vão livre maior e sem vigas de transição, e no caso 2 vão livre menor e com vigas de transição. Ambos casos com lajes maciças, alvenaria de vedação e mesmo sistema construtivo. Os resultados apresentados aqui foram gerados através do *software* Eberick V8, da empresa AltoQi, que possui funções de gerar relatórios quantitativos dos materiais empregados (presente no Apêndice B) em seus dimensionamentos para efetuar o comparativo.

4.1 MODELOS ESTRUTURAS CASO 1 E CASO 2

Ambos modelos estruturais partiram de um mesmo projeto arquitetônico para o pavimento tipo, possuindo pé direito de 280 centímetros e 315 centímetros para subsolo e garagem, além de pilares de 150 centímetros para fundações. Conforme Figura 9.

Figura 9 - Modelos estruturais caso 1 e caso 2

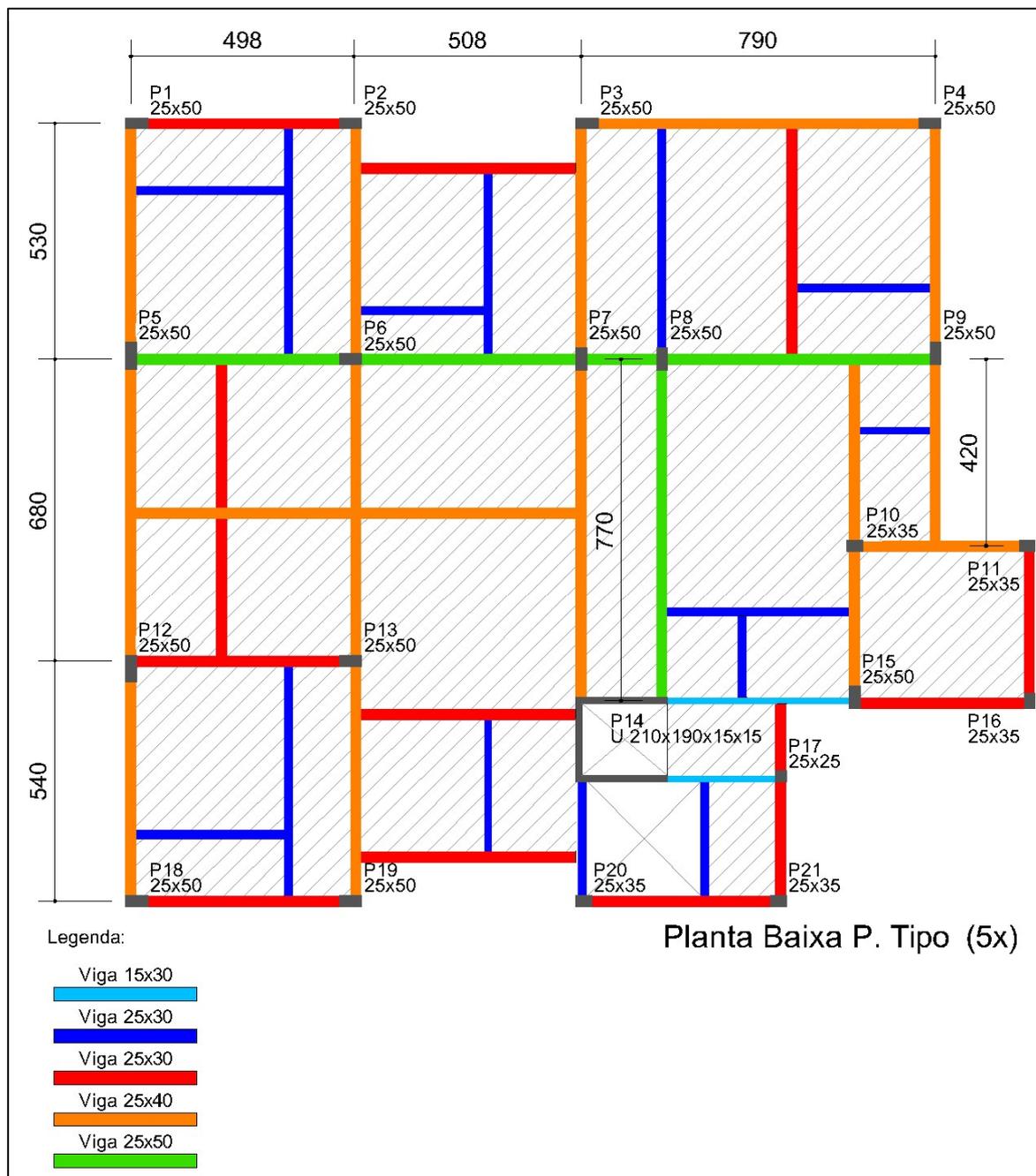


Fonte: o Autor (2020).

4.1.1 Caso 1

Conforme Figura 10, tem-se vãos livres de quatro a oito metros e ausência de vigas de transição entre o pavimento tipo 1 e o pavimento térreo, onde os pilares nascem no subsolo e morrem na cobertura. O maior objetivo do caso foi evitar a interferência causada por pilares nos pavimentos em que se tem a mudança de uso do pavimento, como nos pavimentos destinados para garagem.

Figura 10 - Planta baixa pavimento tipo - caso 1



Fonte: o Autor (2020).

Nesse caso, há como seção máxima duas vigas de 25x50 centímetros e 21 pilares alocados com distâncias que obedecem às premissas do caso, variando suas seções de 25x25 centímetros a 25x50 centímetros. Destaca-se o maior vão de sete metros e setenta centímetros entre os pilares sete (P7) oito (P8) de dimensões 25x50 centímetros e o pilar 14 (P14) que forma um núcleo rígido de 210x190 centímetros.

A necessidade desse vão se originou nos pavimentos térreo e subsolo onde ficam áreas de circulação e vagas de garagem, resultando em 28 vagas e vão mínimo de circulação de 330 centímetros. Todas as lajes dos pavimentos tipo possuem seção de 10 centímetros para atenderem as solicitações de flexão. Já para subsolo e garagem foram necessárias seções de 13 centímetros.

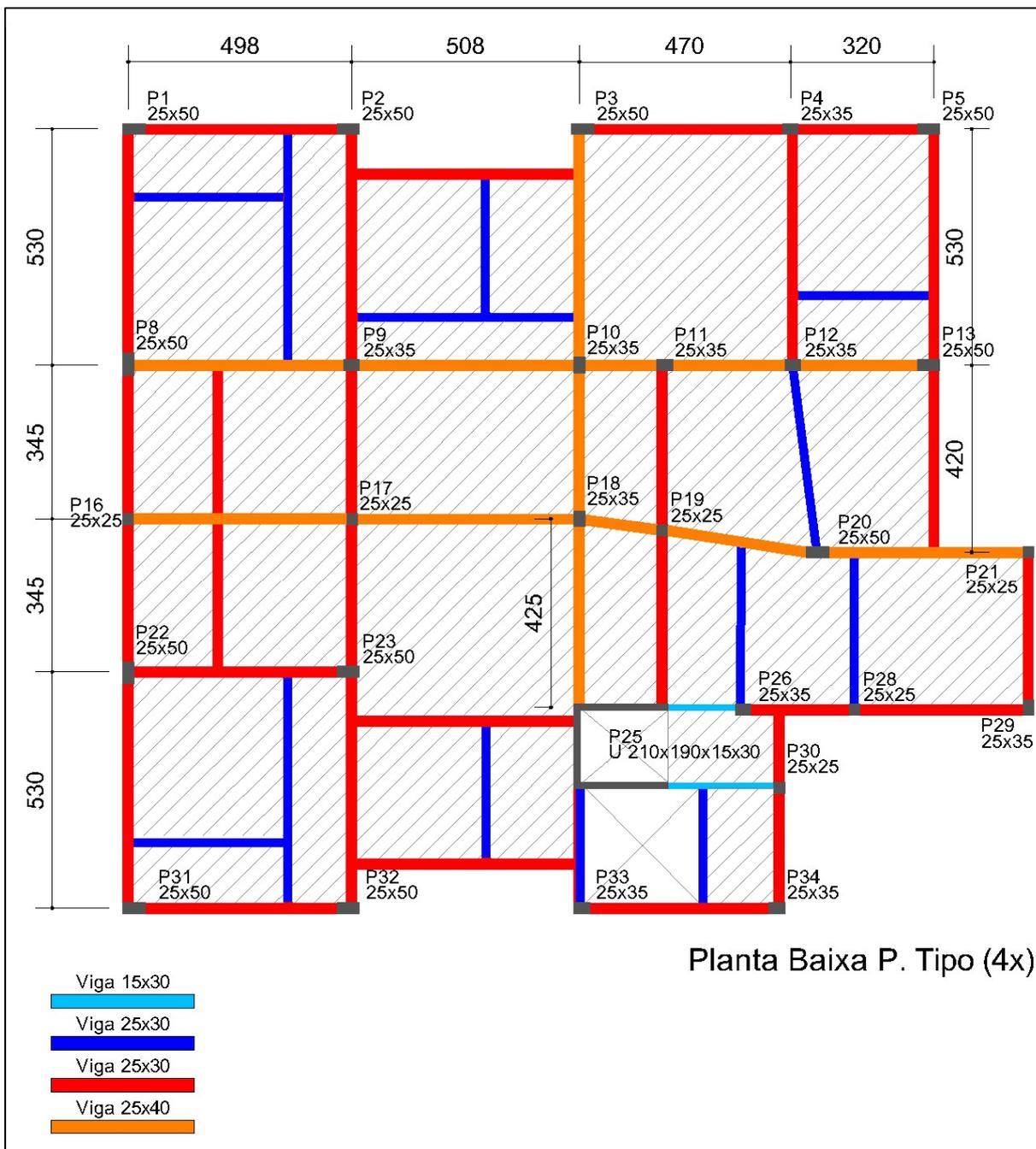
4.1.2 Caso 2

Conforme Figura 11, nesse caso, tem-se vãos livres de três a cinco metros e a presença de vigas de transição entre o pavimento tipo 1 e o térreo, em que algumas prumadas de pilares são interrompidas e outras possuem sua continuidade do subsolo até a cobertura. O objetivo do caso foi evitar grandes seções nas vigas nos pavimentos de mesmo uso, eximindo a análise de interferência das prumadas de pilares devido ao emprego de vigas de transição.

Apresenta-se como seção máxima vigas de 25x40 centímetros e 34 pilares, alocadas com distâncias que obedecem às premissas do caso, variando suas seções de 25x25 centímetros a 25x50 centímetros, destacando o maior vão de 5,3 metros.

Como consequência do vão livre menor, observou-se uma redução em geral nas seções das vigas e um aumento do número de pilares.

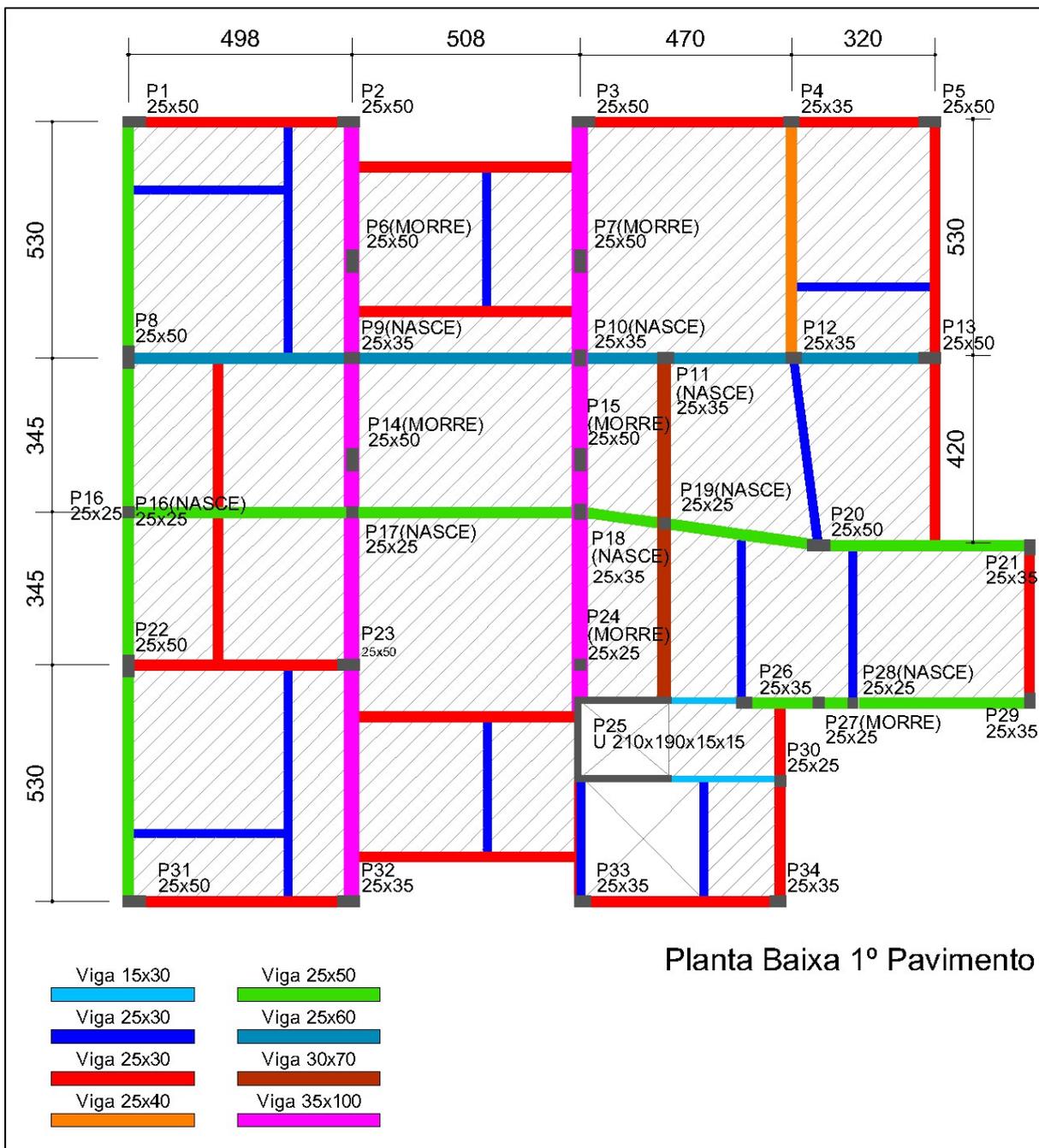
Figura 11 - Planta baixa pavimento tipo - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

A necessidade das vigas de transição se originou nos pavimentos térreo e subsolo, em que se tem a presença de áreas de circulação e vagas de garagem onde o emprego dessas resultou na possibilidade de 32 vagas e vão mínimo de circulação de 460 centímetros.

Figura 12 - Planta baixa primeiro pavimento - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

Em virtude dos grandes esforços gerados pelo nascimento das prumadas dos pilares 09, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 28, demandou-se o uso de grandes seções de 25x50 centímetros até 35x100 centímetros.

4.2 QUANTIDADE DE AÇO

4.2.1 Quantidade de aço no Caso 1

O peso de aço calculado para o Caso 1 (vãos livres de quatro a oito metros sem vigas de transição) é apresentado pela Tabela 2 e representado pelo Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3

Observou-se que os elementos responsáveis pelo maior aço empregado no modelo estrutural foram as lajes, responsáveis pelo uso de 47% do aço total correspondente à 20.132,9 kg, seguidas por vigas com 35% do aço total correspondente a 14.482 kg, pilares com 18% do aço total correspondente 7.8145,9 kg e escadas menos de 0,5% do aço total e 245,4 kg.

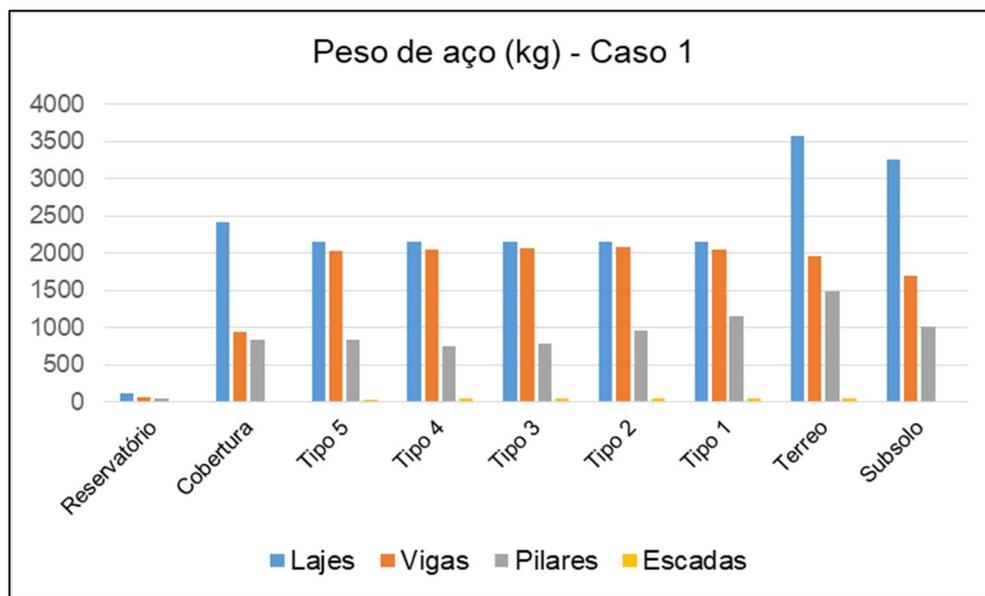
Destaca-se maior quantidade de aço empregada nos pavimentos térreo e subsolo, elementos como lajes, por possuírem maior área e maiores seções, ocasionando maiores esforços por demanda do aumento das cargas acidentais destinadas para garagens; e por pilares, devido ao aumento do pé direito (315 centímetros), o que demandou maior área de aço em comparação aos pavimentos tipo, onde o pé direito é de 280 centímetros. Observa-se uma variação entre elementos do subsolo e térreo gerados devido a rampa da garagem e suas respectivas vigas serem computadas no térreo e diferença de cargas horizontais provenientes do vento.

Tabela 2 - Quantitativo de aço - caso 1

Peso de aço (kg) - Caso 1					
Pavimento	Lajes	Vigas	Pilares	Escadas	Total por Pavimento
Reservatório	114,5	59,3	44,3	0	218,1
Cobertura	2418,8	933,3	830,2	0	4182,3
Tipo 5	2156,8	2021	830,2	29	5037
Tipo 4	2156,8	2037,4	751	42,5	4987,7
Tipo 3	2156,8	2070,2	775,9	42,5	5045,4
Tipo 2	2156,8	2076,7	949,3	42,5	5225,3
Tipo 1	2156,8	2042,8	1145,2	36,7	5381,5
Terreo	3566,1	1949,8	1484,8	52,2	7052,9
Subsolo	3249,5	1691,2	1005	0	5945,7
Total por elemento	20132,9	14882	7815,9	245,4	
Total do caso					43075,9

Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 1 - Quantitativo de aço - caso 1



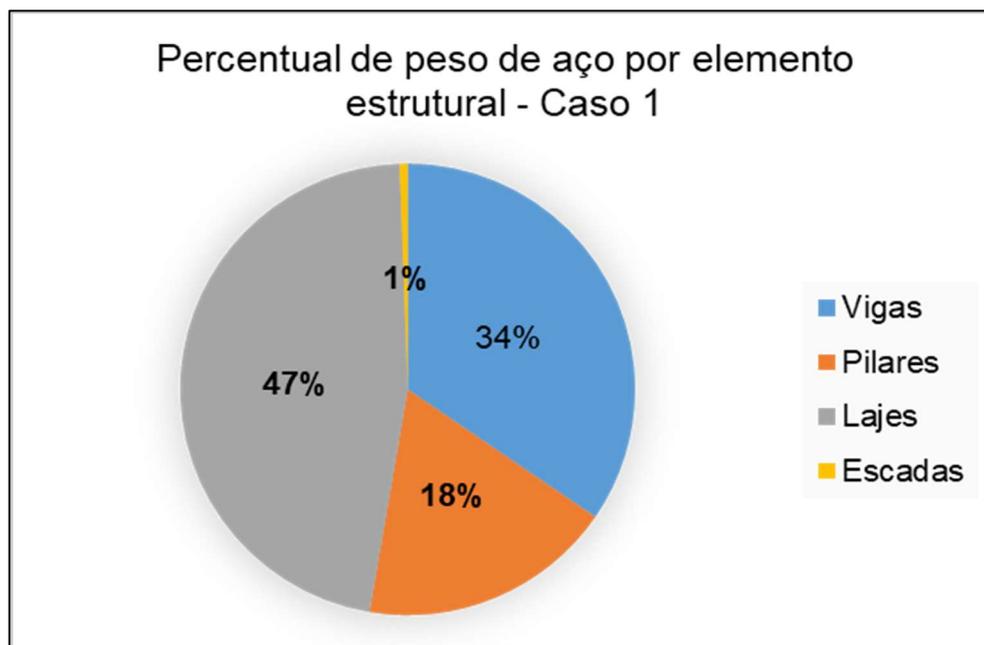
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 2 - Percentual de peso de aço por pavimento - caso 1



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 3 - Percentual de peso de aço por elemento estrutural - caso 1



Fonte: o Autor (2020).

4.2.2 Quantidade de aço no Caso 2

O peso de aço calculado para o Caso 2 (vãos livres de três a cinco metros com vigas de transição) é apresentado pela Tabela 3 e representado pelo Gráfico 4, Gráfico 5 e Gráfico 6.

Observou-se que os elementos responsáveis pelo maior aço empregado no modelo estrutural foram as lajes, responsáveis pelo uso de 44% do aço total correspondente à 18.459 kg, seguidas por vigas com 35% do aço total correspondente a 14.662 kg, pilares com 20% do aço total correspondente 8.210,6 kg e escadas menos de 0,5% do aço total e 245,4 kg.

Destaca-se maior quantidade de aço empregada nos pavimentos tipo 1 e térreo. Nesse caso, no pavimento tipo 1, tem-se vigas de transição responsáveis pelo aumento do consumo de aço do pavimento em aproximadamente 14.000 kg comparado com a média utilizada em outros pavimentos, conseqüentemente seus pilares também tiveram um acréscimo de aproximadamente 2.000 kg de aço.

No pavimento térreo, tem-se o acréscimo devido a elementos como lajes, que possuem maior área e maiores seções ocasionado em maiores esforços demandados pelo aumento das cargas acidentais destinadas para garagens; e por pilares, devido

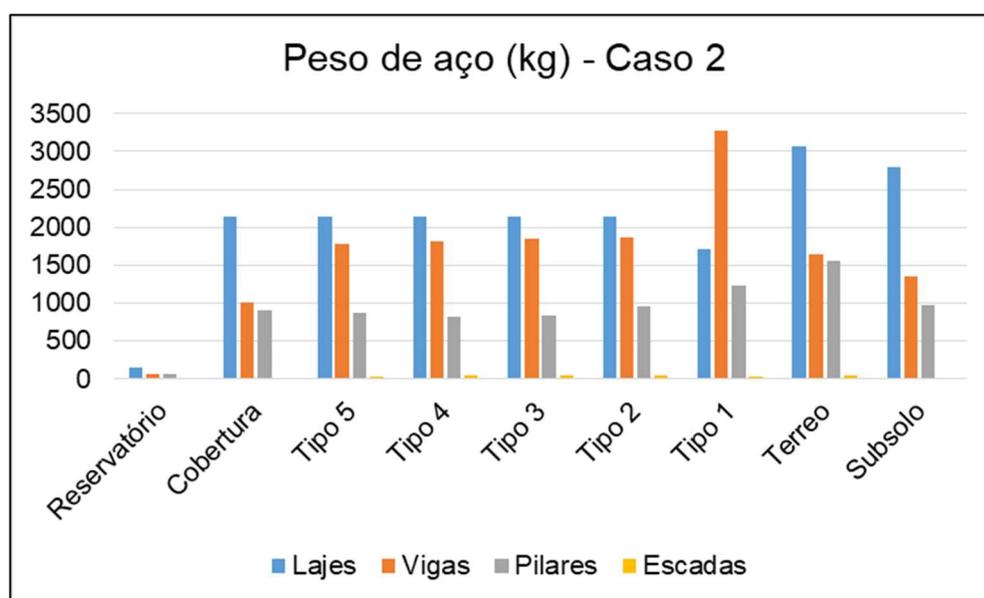
ao aumento do pé direito (315 centímetros), o que demandou maior área de aço em comparação aos pavimentos tipo, onde o pé direito é de 280 centímetros. Observa-se uma variação entre elementos do subsolo e térreo, gerados devido ao acréscimo da rampa da garagem e de suas respectivas vigas, computadas no térreo, e da diferença de cargas horizontais provenientes do vento.

Tabela 3 - Quantitativo de aço - caso 2

Peso de aço (kg) - Caso 2					
Pavimento	Lajes	Vigas	Pilares	Escadas	Total por Pavimento
Reservatório	142,5	61	64,9	0	268,4
Cobertura	2136,2	1013,8	902,7	0	4052,7
Tipo 5	2149,9	1786,4	877	29	4842,3
Tipo 4	2149,9	1818,8	815,1	42,5	4826,3
Tipo 3	2149,9	1848,1	829,5	42,5	4870
Tipo 2	2149,9	1870,8	958,5	42,5	5021,7
Tipo 1	1719,7	3267,2	1233,2	36,7	6256,8
Terreo	3071,7	1652,5	1554,9	52,2	6331,3
Subsolo	2789,1	1343,8	974,8	0	5107,7
Total por elemento	18459	14662	8210,6	245,4	
Total do caso					41577,2

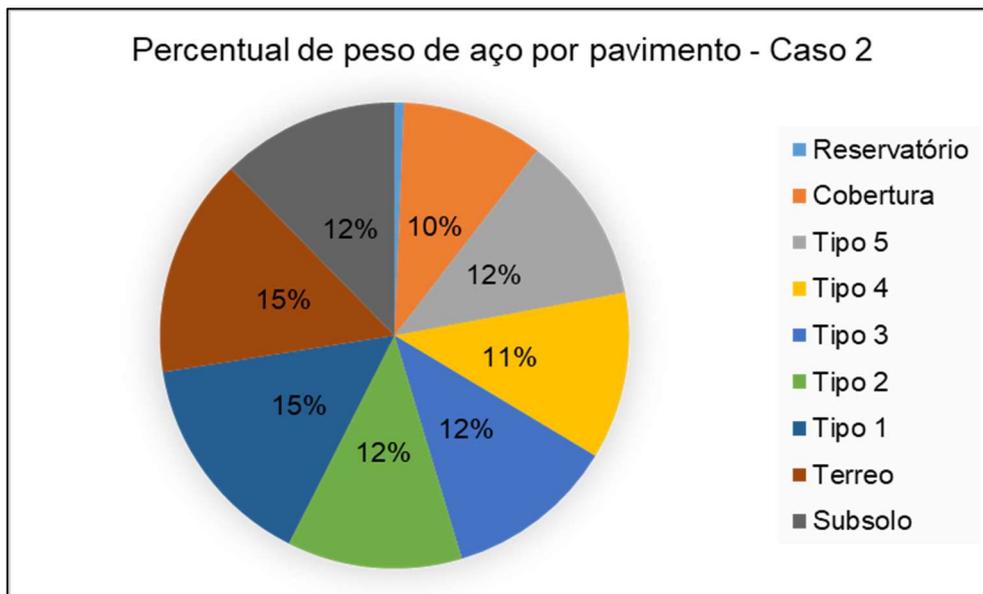
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 4 - Quantitativo de aço - caso 2



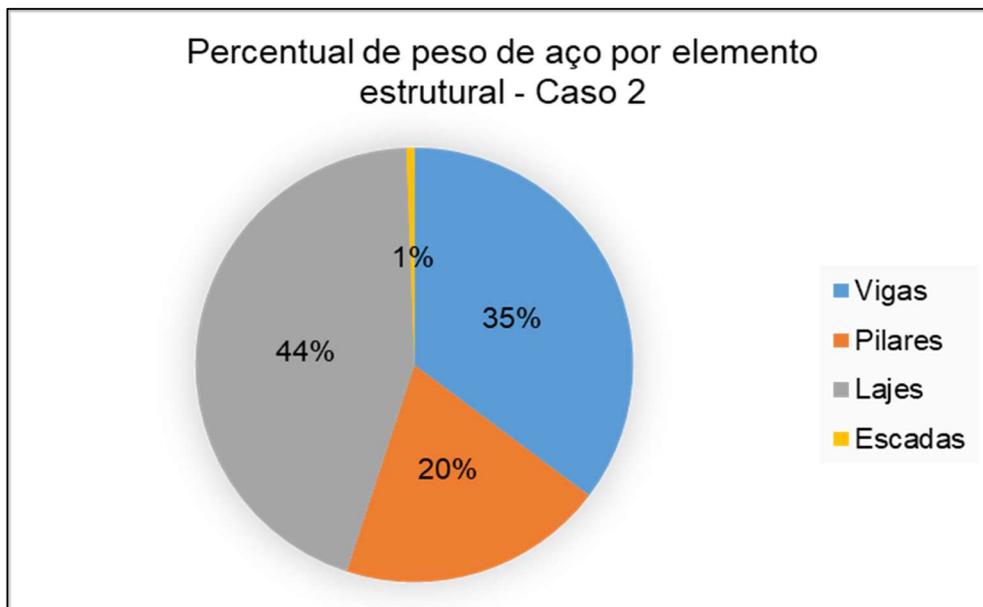
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 5 - Percentual de peso de aço por pavimento - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 6 - Percentual de peso de aço por elemento estrutural - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

4.3 VOLUME DE CONCRETO

4.3.1 Quantidade de concreto no caso 1

O volume de concreto utilizado no Caso 1 (vãos livres de quatro a oito metros sem vigas de transição) é apresentado pela Tabela 4, Gráfico 7, Gráfico 8 e Gráfico 9.

Observou-se que os elementos responsáveis pelo maior volume de concreto consumido no modelo estrutural foram as lajes, responsáveis pelo uso de 49% volume de concreto total correspondente a 236 m³, seguidas por vigas com 34% do volume de concreto total correspondente a 162,4 m³, pilares com 15% do volume de concreto total correspondente 70,4 m³ e escadas com 2% do volume de concreto total com 9,9 m³.

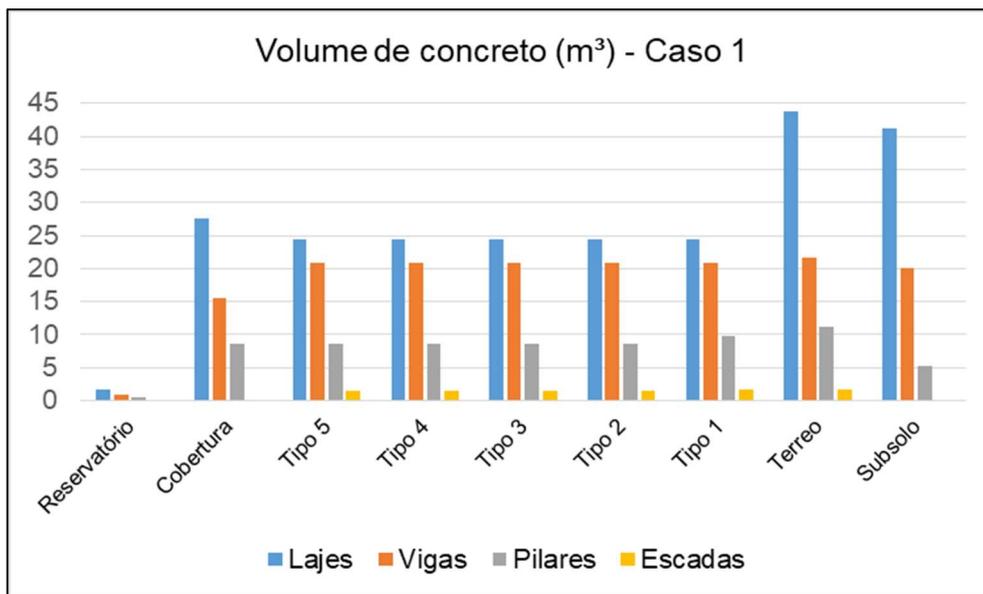
O padrão de consumo de concreto entre os elementos se repetiu entre todos os pavimentos. Destaca-se maior volume de concreto empregado nos pavimentos térreo e subsolo em elementos como lajes, por possuírem maior área e maiores seções, ocasionando maiores esforços demandados pelo aumento das cargas acidentais destinadas para garagens; e por pilares, devido ao aumento do pé direito (315 centímetros), o que demandou maior volume de concreto em comparação aos pavimentos tipo, onde o pé direito é de 280 centímetros. Observa-se uma variação entre elementos do subsolo e térreo gerados devido a rampa da garagem e suas respectivas vigas serem computadas no térreo.

Tabela 4 - Quantitativo de concreto - caso 1

Volume de concreto (m ³) - Caso 1					
Pavimento	Lajes	Vigas	Pilares	Escadas	Total por Pavimento
Reservatório	1,8	0,9	0,6	0	3,3
Cobertura	27,6	15,6	8,7	0	51,9
Tipo 5	24,5	20,8	8,7	1,6	55,6
Tipo 4	24,5	20,9	8,7	1,6	55,7
Tipo 3	24,5	20,8	8,7	1,6	55,6
Tipo 2	24,5	20,8	8,7	1,6	55,6
Tipo 1	24,5	20,8	9,8	1,7	56,8
Terreo	43,8	21,7	11,2	1,8	78,5
Subsolo	41,1	20,1	5,3	0	66,5
Total por elemento	236,8	162,4	70,4	9,9	
Total do caso					479,5

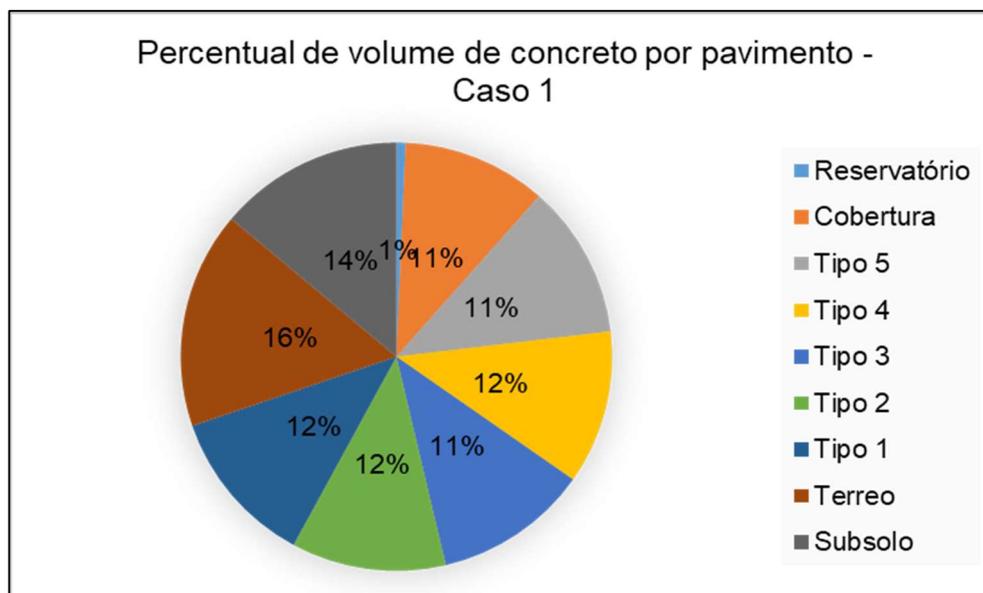
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 7 - Quantitativo de concreto - caso 1



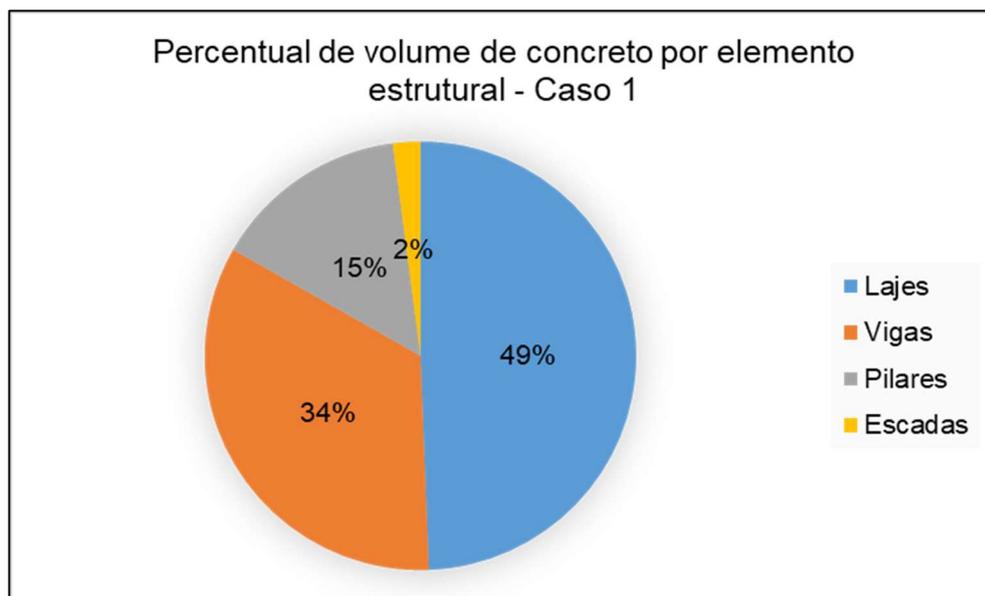
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 8 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 1



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 9 - Percentual de volume de concreto por elemento estrutural – caso 1



Fonte: o Autor (2020).

4.3.2 Quantidade de concreto no caso 2

O volume de concreto utilizado no Caso 2 (vãos livres de três a cinco metros com vigas de transição) é apresentado pela Tabela 5, Gráfico 10, Gráfico 11 e Gráfico 12.

Observou-se que os elementos responsáveis pelo maior volume de concreto consumido no modelo estrutural foram as lajes, responsáveis pelo uso de 48% volume de concreto total correspondente à 234,8 m³, seguidas por vigas com 34% do volume de concreto total correspondente a 167 m³, pilares com 16% do volume de concreto total correspondente 78,9 m³ e escadas com 2% do volume de concreto total com 9,9 m³.

O padrão de consumo de concreto entre os elementos se repetiu entre todos os pavimentos, com exceção do pavimento tipo 1, onde se tem a presença das vigas de transição responsáveis por consumir aproximadamente 10 m³ a mais de concreto do que a média dos outros pavimentos. Destaca-se maior volume de concreto empregado nos pavimentos tipo 1 em decorrência das vigas de transição, térreo e subsolo em elementos como lajes e por possuírem maior área e maiores seções, ocasionado em maiores esforços demandados pelo aumento das cargas acidentais destinadas para garagens; e por pilares, devido ao aumento do pé direto (315

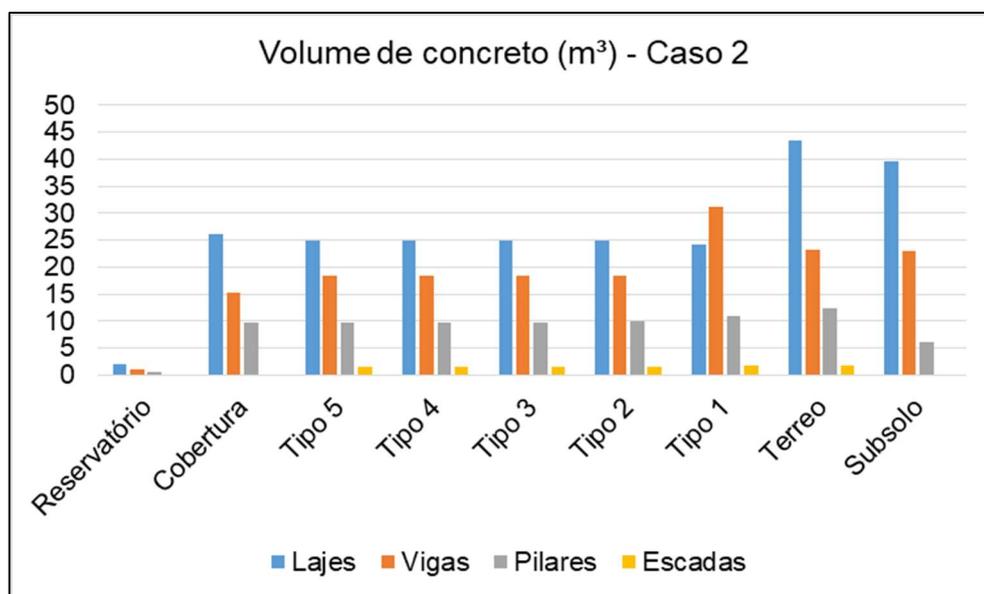
centímetros), o que demandou maior volume de concreto em comparação aos pavimentos tipo, onde o pé direito é de 280 centímetros. Observa-se uma variação entre elementos do subsolo e térreo gerados devido a rampa da garagem e suas respectivas vigas serem computadas no térreo.

Tabela 5 - Quantitativo de concreto - caso 2

Volume de concreto (m ³) - Caso 2					
Pavimento	Lajes	Vigas	Pilares	Escadas	Total por Pavimento
Reservatório	1,9	1,1	0,6	0	3,6
Cobertura	26,1	15,2	9,6	0	50,9
Tipo 5	24,9	18,4	9,8	1,6	54,7
Tipo 4	24,9	18,4	9,8	1,6	54,7
Tipo 3	24,9	18,4	9,8	1,6	54,7
Tipo 2	24,9	18,4	9,9	1,6	54,8
Tipo 1	24,2	31,1	11	1,7	68
Terreo	43,4	23,1	12,4	1,8	80,7
Subsolo	39,6	22,9	6	0	68,5
Total por elemento	234,8	167	78,9	9,9	
Total do caso					490,6

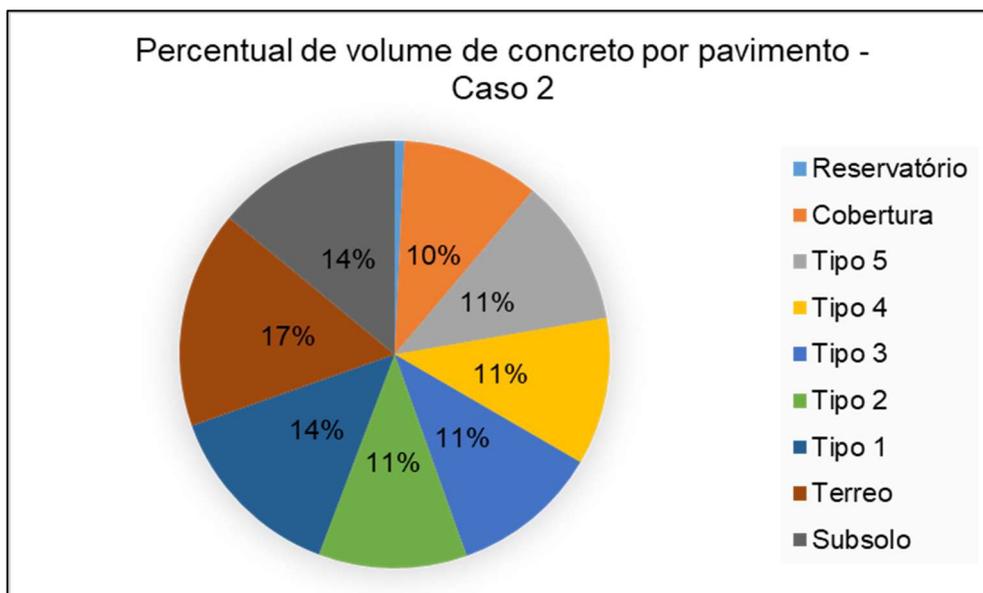
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 10 - Quantitativo de concreto - caso 2



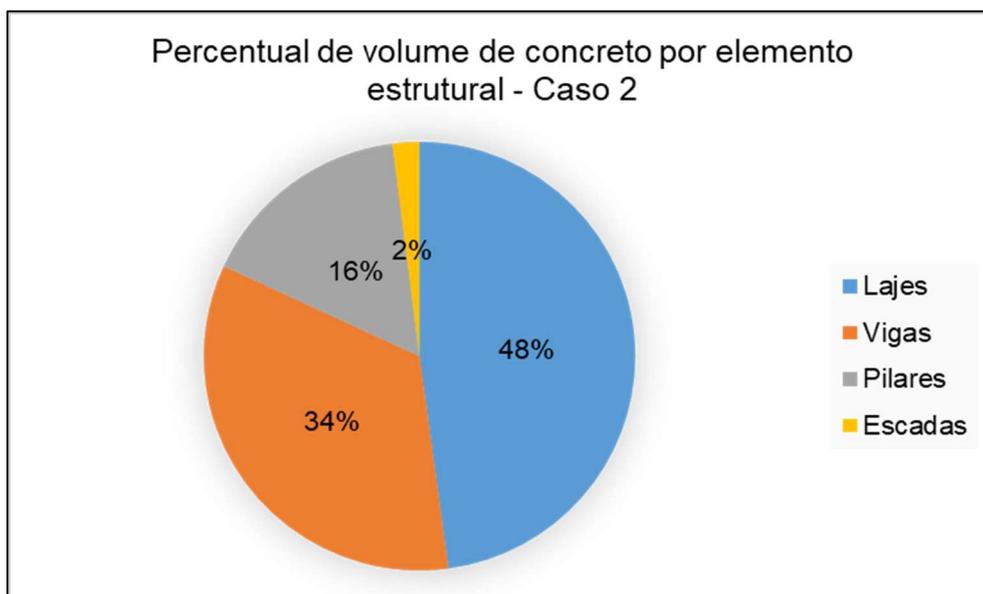
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 11 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 12 - Percentual de volume de concreto por pavimento - caso 2



Fonte: o Autor (2020).

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.4.1 Comparativo do modelo estrutural

Em relação ao pavimento tipo, nota-se um aumento das seções das vigas de acordo com o aumento dos vãos livres, o que gera maiores esforços e, conseqüentemente, maior necessidade de concreto e aço. Também ocorre menor utilização de pilares no caso 1, em relação ao primeiro pavimento, em que se tem vigas de transição. Observa-se na Figura 13 a presença de elementos de grandes proporções com seções de 25x50, 25x60, 30x70, 35x100 centímetros, onde existem prumadas de pilares nascendo.

Quanto ao aproveitamento de espaço construído em áreas dos pavimentos do subsolo e térreo destinados a garagem, observou-se um aproveitamento melhor no caso 2, em que as vigas de transição proporcionaram uma melhor área de circulação. No caso 1, há vão de 320 centímetros, já no caso 2, o mesmo local possui 512 centímetros.

Figura 13 - Modelagem do pavimento térreo



Fonte: o Autor (2020).

Mesmo com as dimensões das vigas compreenderem até 1 metro, o pé direito de 315 centímetros permitiu uma altura livre de 215 centímetros embaixo da viga de maior seção.

4.4.2 Comparativo do peso de aço (kg)

O comparativo referente ao quantitativo de aço utilizado nos modelos estruturais é apresentado pela Tabela 6, Gráfico 13 e Gráfico 14.

Observou-se uma redução de apenas 3% do total de aço empregado, representando 1498,7 kg no caso 2. Isso foi em decorrência da redução dos vãos livres e conseqüentemente da maior quantidade de vigas presentes nos pavimentos, o que baixou a quantidade de aço utilizada nas lajes, que é o elemento responsável por, em média, 45% do aço empregado nos modelos estruturais.

Nos pavimentos tipo ocorreu uma pequena diferença de quantidade de aço, já que o caso 1 utilizou em média 70 kg a mais de aço em vigas devido aos vãos livres empregados no modelo serem maiores, ocasionando também uma redução, em média, de 346 kg de aço em lajes, e um aumento de, aproximadamente, 50 kg em pilares.

O pavimento tipo 1, em que se tem o modelo estrutural, possui vigas de transição, já no caso 2, as mesmas ocasionaram em um aumento de aproximadamente 1224 kg de aço, aproximadamente 88 kg de pilares e 437 kg a menos de aço nas lajes aproximadamente.

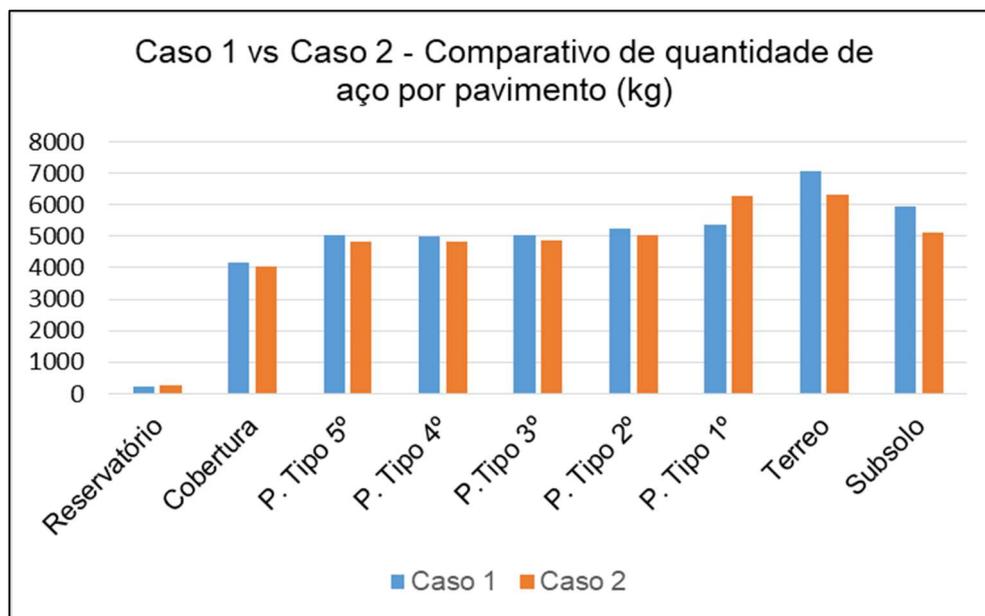
No térreo e subsolo ocorreu um aumento de aproximadamente 322 kg de aço em vigas, aproximadamente 477 kg em lajes e uma redução de 20 kg em pilares aproximadamente.

Tabela 6 - Comparativo de peso de aço caso 1 vs caso 2

		Quantidade de Aço (kg)		
		Caso 1	Caso 2	Varição no quantitativo
Pavimento	Reservatório	218,10	268,40	-50,30
	Cobertura	4182,30	4052,70	129,60
	P. Tipo 5°	5037,00	4842,30	194,70
	P. Tipo 4°	4987,70	4826,30	161,40
	P. Tipo 3°	5045,40	4870,00	175,40
	P. Tipo 2°	5225,30	5021,70	203,60
	P. Tipo 1°	5381,50	6256,80	-875,30
	Terreo	7052,90	6331,30	721,60
	Subsolo	5945,70	5107,70	838,00
Elemento estrutural	Lajes	20132,9	18458,9	1674,00
	Vigas	14881,7	14662,4	219,30
	Pilares	7815,9	8210,6	-394,70
	Escadas	245,4	245,4	0,00
Total		43075,90	41577,20	1498,70
Varição Total				3%

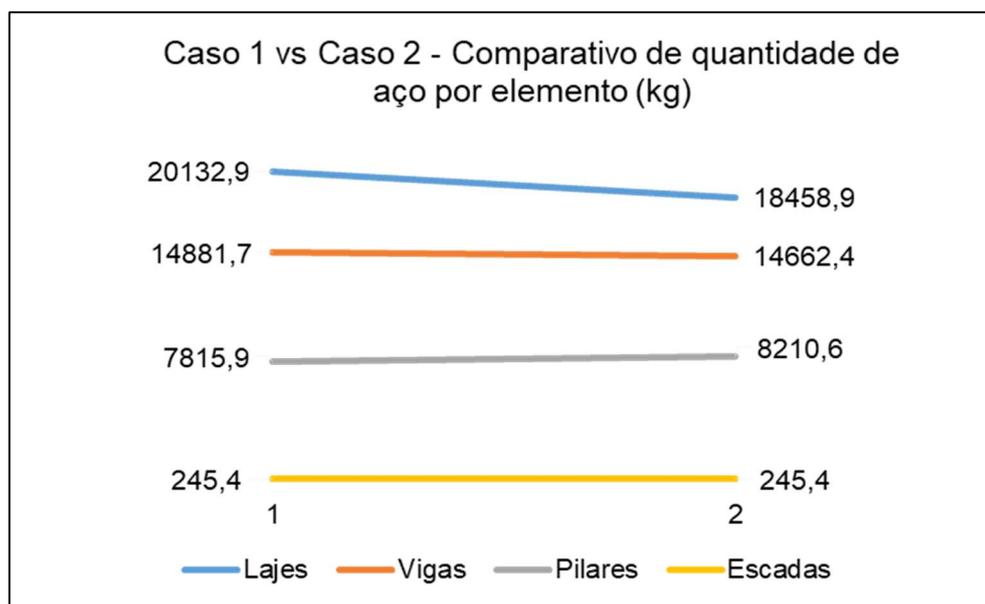
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 13 - Comparativo de peso de aço por pavimento caso 1 vs caso 2



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 14 – Comparativo de peso de aço por elemento estrutural caso 1 vs caso 2



Fonte: o Autor (2020).

4.4.3 Comparativo do volume de concreto (m³)

O comparativo referente ao quantitativo de volume de concreto utilizado nos modelos estruturais é apresentado pela Tabela 7, Gráfico 15 e Gráfico 16.

Observou-se uma redução de apenas 2,3% do total de concreto empregado, representando aproximadamente 11 m³ no caso 1, ocasionada pela ausência de vigas de transição, menor número de pilares causado por maiores vãos livres e prumadas contínuas do subsolo a cobertura. Destaca-se que a diferença não foi superior devido à baixa variação de material empregado nas lajes, que são responsáveis por uma média de 48,5% do concreto total empregado nos modelos estruturais.

Nos pavimentos tipo ocorreu uma pequena diferença de consumo onde o caso 1 consumiu 2,5 m³ a mais em relação ao caso 2 devido as seções empregadas no modelo serem maiores. No entanto, ocorreu uma redução de 1,1 m³ nos pilares, e 0,4 m³ em lajes.

No primeiro andar onde existem vigas de transição, no caso 2 essas ocasionaram em um aumento de 10,2 m³ de concreto, em que os pilares consumiram 2,3 m³ a mais de concreto e as lajes tiveram pouca variação em comparação ao caso 1.

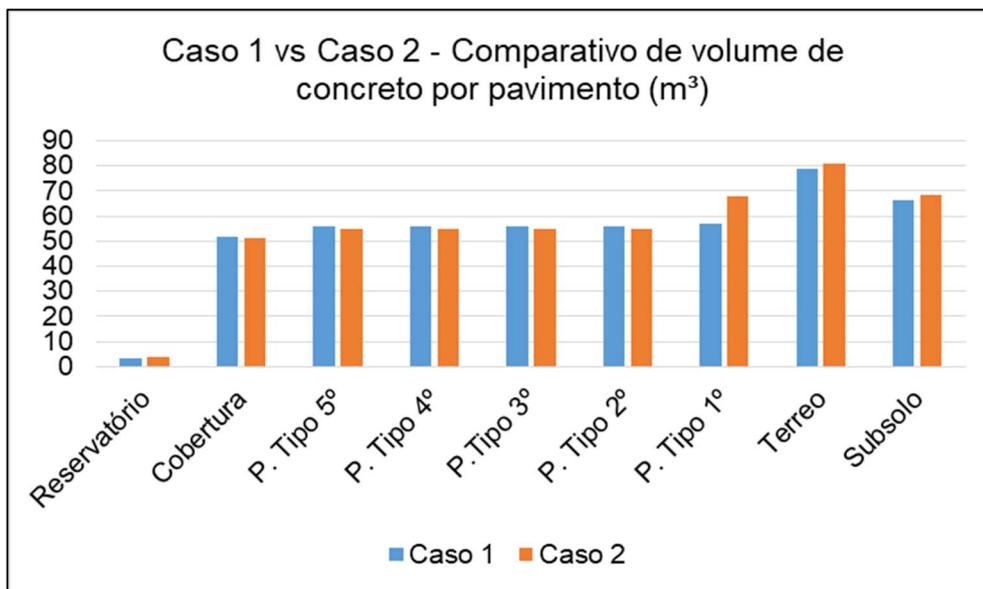
No térreo e subsolo foi onde ocorreram menos variações, sucedendo-se um aumento de 2,1 m³ de concreto em vigas, em relação ao caso 1; 0,95 m³ em pilares e a redução de 0,95 m³ em lajes.

Tabela 7 - Comparativo de volume de concreto caso 1 vs caso 2

		Volume de Concreto (m ³)		
		Caso 1	Caso 2	Varição no quantitativo
Pavimento	Reservatório	3,3	3,6	-0,3
	Cobertura	51,9	50,9	1
	P. Tipo 5º	55,6	54,7	0,9
	P. Tipo 4º	55,7	54,7	1
	P. Tipo 3º	55,6	54,7	0,9
	P. Tipo 2º	55,6	54,8	0,8
	P. Tipo 1º	56,8	68	-11,2
	Terreo	78,5	80,7	-2,2
	Subsolo	66,5	68,5	-2
Elemento estrutural	Lajes	236,8	234,8	2
	Vigas	162,4	167	-4,6
	Pilares	70,4	78,9	-8,5
	Escadas	9,9	9,9	0
Total		479,5	490,6	-11,1
Varição Total				-2,31%

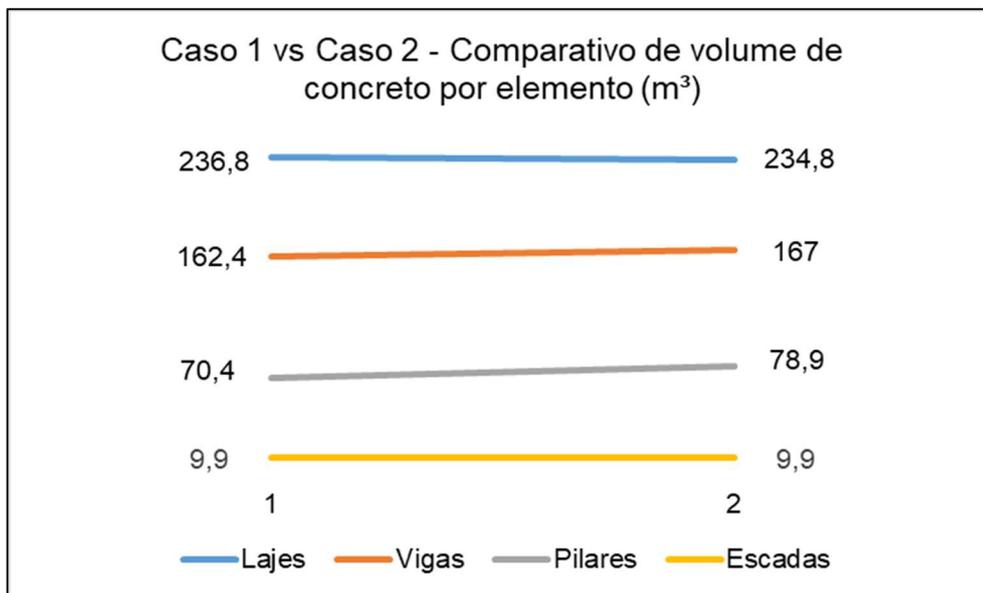
Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 15 - Comparativo de volume de concreto por pavimento caso 1 vs caso 2



Fonte: o Autor (2020).

Gráfico 16 - Comparativo de volume de concreto por elemento estrutural caso 1 vs caso 2



Fonte: o Autor (2020).

4.4.4 Comparativo de custos de insumos

Baseado no Sistema Nacional de Custos e Índices para a Construção Civil do Rio Grande do Sul (SINAPI-RS), consultado em junho de 2020, obteve-se os valores para a análise de custos de cada modelo estrutural, apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Referencial de orçamento

Descrição	Unidade	Valor	Código Sinapi - RS
AÇO CA-50, 10,0 MM, OU 12,5 MM, OU 16,0 MM, OU 20,0 MM, DOBRADO E CORTADO	kg	R\$ 5,06	43058 - Jun/20
AÇO CA-60, 4,2 MM OU 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO	kg	R\$ 5,04	43061 - Jun/20
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100	m³	R\$ 285,75	34493 - Jun/20

Fonte: Sinapi-RS (Junho/2020).

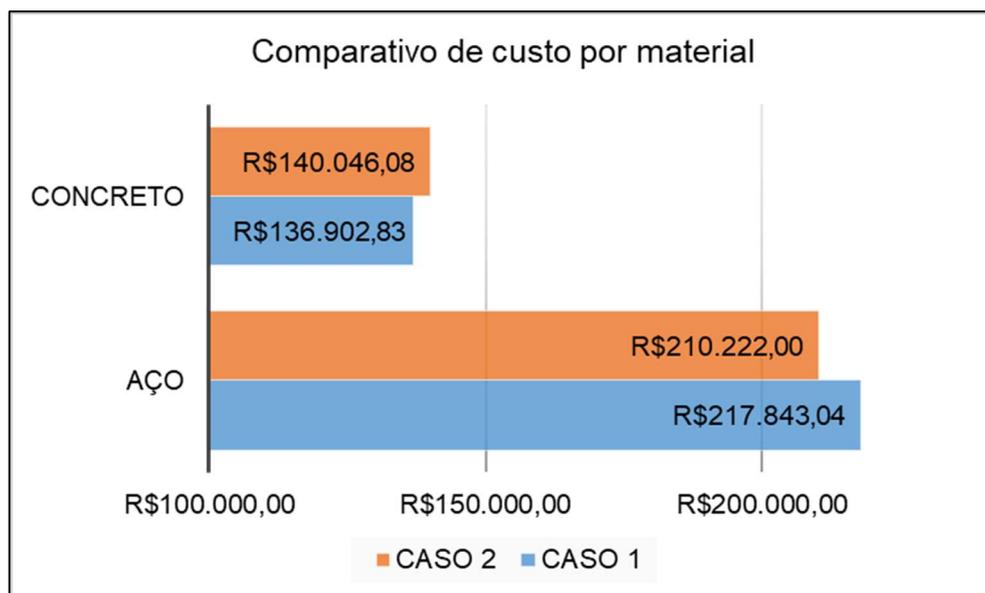
De acordo com o Quadro 12, baseado nos relatórios obtidos através do *software*, é apresentado o valor total de cada caso, em que se pode observar, no Gráfico 16, que o caso 1 utilizou mais aço e o caso 2 fez mais uso de concreto. Constatou-se que a economia de 1,26% obtida no caso 2 corresponde a um total de 4.477,79 reais.

Quadro 12 - Comparativo de custo de insumos

Tipo	Volume de concreto (m³)	Quantidade de aço (kg)		Valor total
	25 MPa	CA - 50	CA - 60	
Caso 1	479,1	36.924,40	6.151,90	R\$ 354.745,87
Caso 2	490,1	33.620,20	7.957,10	R\$ 350.268,07
Diferença				R\$ 4.477,79

Fonte: o Autor (2020).

Quadro 13 - Comparativo de custo por material



Fonte: o Autor (2020).

5 CONCLUSÕES

5.1 EM RELAÇÃO A VARIAÇÃO DOS VÃOS LIVRES

Concluiu-se que o aumento dos vãos livres impacta diretamente em um maior consumo de materiais nos elementos estruturais do plano horizontal, onde se obteve maior quantidade de aço empregado em vigas e lajes, e mais concreto utilizado em vigas, devido a demanda de seções maiores. Entretanto, isso resultou em um menor número de elementos verticais, conseqüentemente, menos concreto empregado para construção da edificação.

5.2 EM RELAÇÃO A UTILIZAÇÃO DE VIGAS DE TRANSIÇÃO

Concluiu-se que o emprego de vigas de transição foi responsável por um maior consumo de concreto na edificação, em decorrência do maior número de elementos estruturais empregados. Essa necessita de seções de grandes dimensões o que a torna viável somente em casos de transição de pavimentos tipo para garagem devido ao pé direto necessário para sua implementação.

Não se observou grande contribuição para reduções significativas de material no pavimento acima. Contudo, foi possível a construção dos pavimentos térreo e subsolo com melhor circulação, conforme Figura 14. Isso se deve a interrupção de prumadas de pilares existentes no caso 2 onde o vão livre é menor.

Figura 14 - Planta baixa pavimento térreo caso 1 vs caso 2



Fonte: o Autor (2020).

5.3 EM RELAÇÃO A RELAÇÃO DOS CUSTOS

Com base na planilha orçamentária do SINAPI-RS, segundo Quadro 14, não houve notória diferença no custo dos materiais da edificação, devido a ambos os casos possuírem o mesmo sistema construtivo. Outro motivo para tal fenômeno é que as lajes, responsáveis pelo maior consumo de matérias, possuem mesma área e mesmas seções em ambos casos.

Quadro 14 - Valores SINAPI - RS

Descrição	Unidade	Valor	Código Sinapi - RS
AÇO CA-50, 10,0 MM, OU 12,5 MM, OU 16,0 MM, OU 20,0 MM, DOBRADO E CORTADO	kg	R\$ 5,06	43058 - Jun/20
AÇO CA-60, 4,2 MM OU 5,0 MM, DOBRADO E CORTADO	kg	R\$ 5,04	43061 - Jun/20
CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C25, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100	m ³	R\$ 285,75	34493 - Jun/20

Fonte: SINAPI-RS

Quadro 15 - Valores dos casos

Tipo	Volume de concreto (m ³)	Quantidade de aço (kg)		Valor total
	25 MPa	CA - 50	CA - 60	
Caso 1	479,1	36.924,40	6.151,90	R\$ 354.745,87
Caso 2	490,1	33.620,20	7.957,10	R\$ 350.268,07
Diferença				R\$ 4.477,79

Fonte: o Autor (2020)

Observa-se também que a diferença obtida quanto ao benefício de menores vãos livres, como menor consumo de aço nos pavimentos tipo, foi subtraída pelo pavimento, onde se utilizou vigas de transição.

Diante a baixa diferença de custo dos insumos empregados apresentada no Quadro 15, o critério de maior eficiência dos casos analisados está mais ligado a aspectos qualitativos do que quantitativos, uma garagem de fácil circulação torna um imóvel mais atrativo, porém, torna-se um empreendimento de maior complexidade de execução.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. v.1. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010.

ARAÚJO, J. M. **Projeto estrutural de edifícios de concreto armado** Rio Grande: Dunas, 2014.

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

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 6123**: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

BOTELHO, M.H.C.; MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-a-partir-jul-2009-rs/SINAPI_ref_Insumos_Composicoes_RS_052020_Desonerado.zip. Acesso em: 27, julho de 2020.

CLÍMACO, J. C. T. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação**. 2ª ed, Brasília: UNB, 2008.

FERRAZ, F. **O aço na construção civil**. São Carlos, EESC, 2003. Disponível em <https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%20A%C7O%20NA%20CONSTRU%C7%C3O%20CIVIL.pdf>. Acesso em 25 de setembro de 2019.

FIORIN, E. **Arranjos de armaduras em estruturas de concreto armado**. São Carlos, USP, 1998.

LARA, P. E. P. **Cidade compacta: condomínio multifuncional em altura na barra sul, Balneário Camboriu/SC**. Passo Fundo, IMED, 2016. Disponível em:

<https://www.imed.edu.br/Uploads/CEOMEvent/Pablo%20Emílio%20Porth%20Lara.pdf>. Acesso em 15, setembro de 2019

KAEFER, L. F. **A evolução do concreto armado**. São Paulo, UNESP, 1998. Disponível em <http://www.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/HistoriadoConcreto.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2019.

KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: Cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo, Editora Pini, 2007

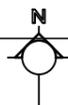
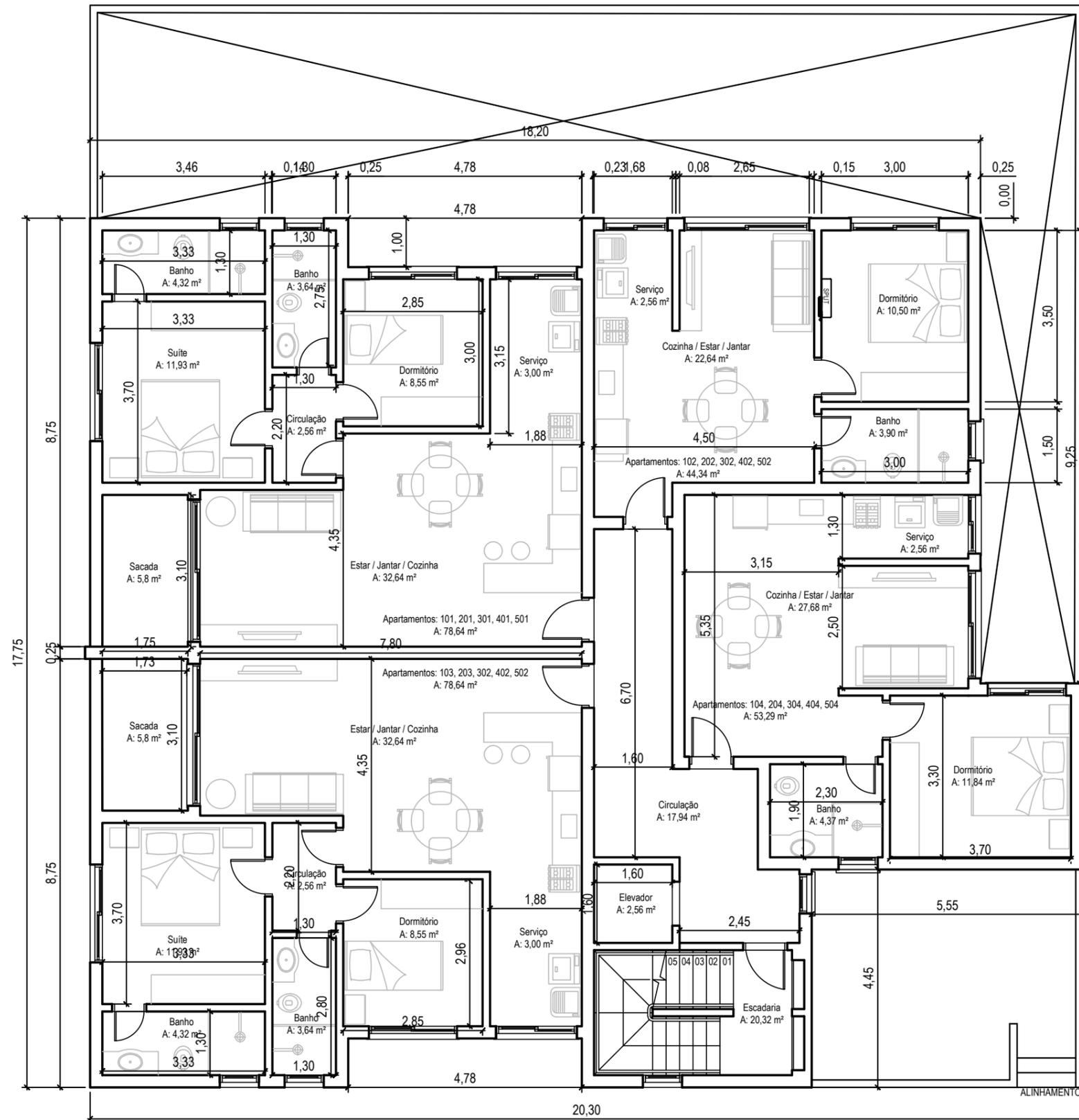
MENDES, J. **De volta à estaca zero**. ISTO É. Disponível em <https://www.istoedinheiro.com.br/de-volta-a-estaca-zero/>. Acesso em 20, julho de 2020.

REBELLO, Y. C. P. **A concepção estrutural e a arquitetura**. São Paulo, Zigurante Editora, 2000.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. EESC, 2010. Disponível em: http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/Apost_EESC_USP_Libanio.pdf. Acesso em 15, setembro de 2019.

PORTO, T. B; FERNANDES, D. S. G. **Curso básico de concreto armado: conforme a NBR 6118/2014**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

APÊNDICE A - PROJETO ARQUITETÔNICO

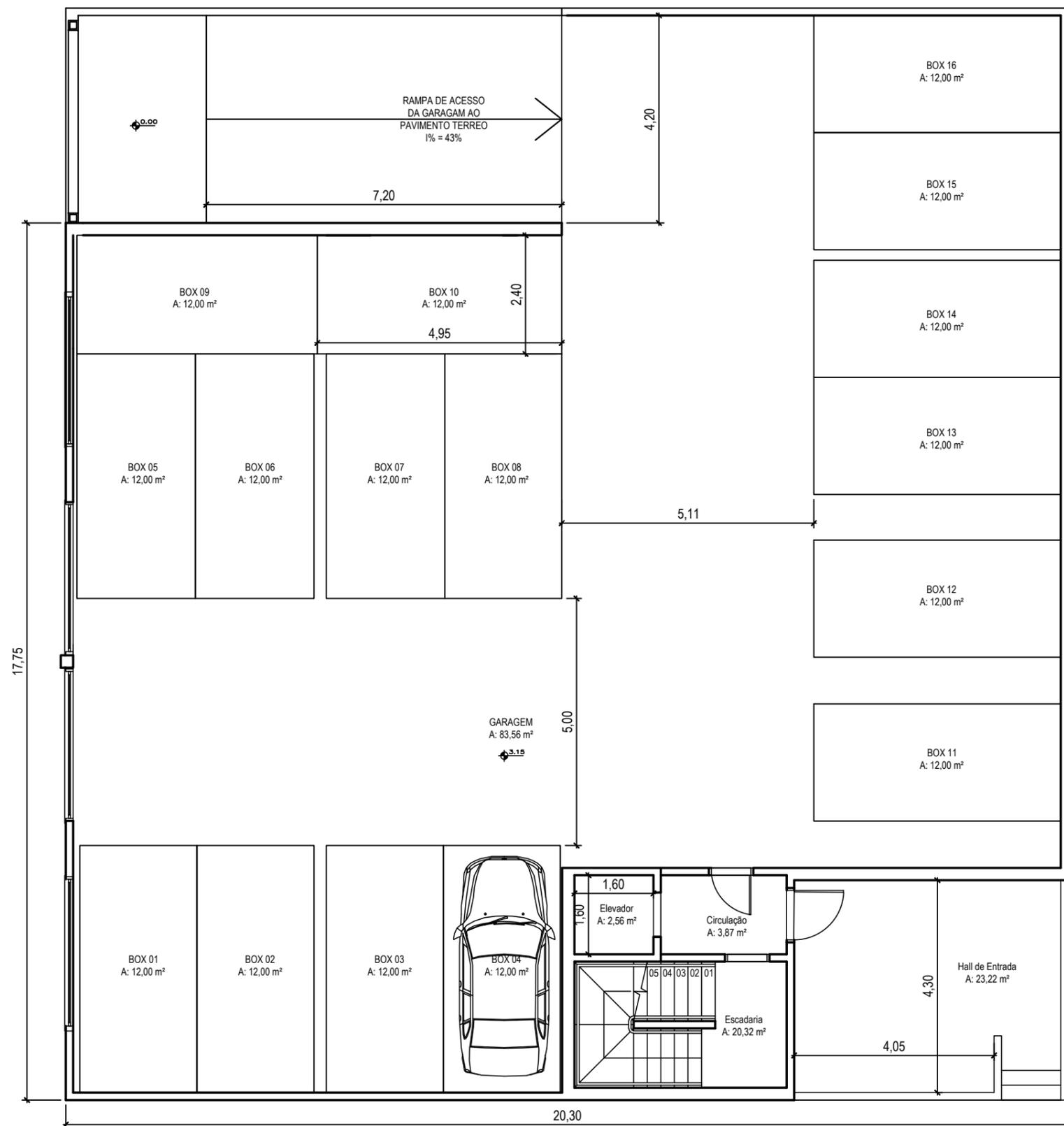


MEIO-FIO
 PLANTA BAIXA PAVIMENTO TIPO (5X)
 ÁREA 292,92 m²

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Acadêmico:	Matheus Menin Barfknecht	Data:	julho de 2020
Assunto:	P. Baixa - Projeto Arquitetônico	Escala:	1:100
		Prancha:	1/3

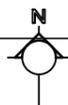
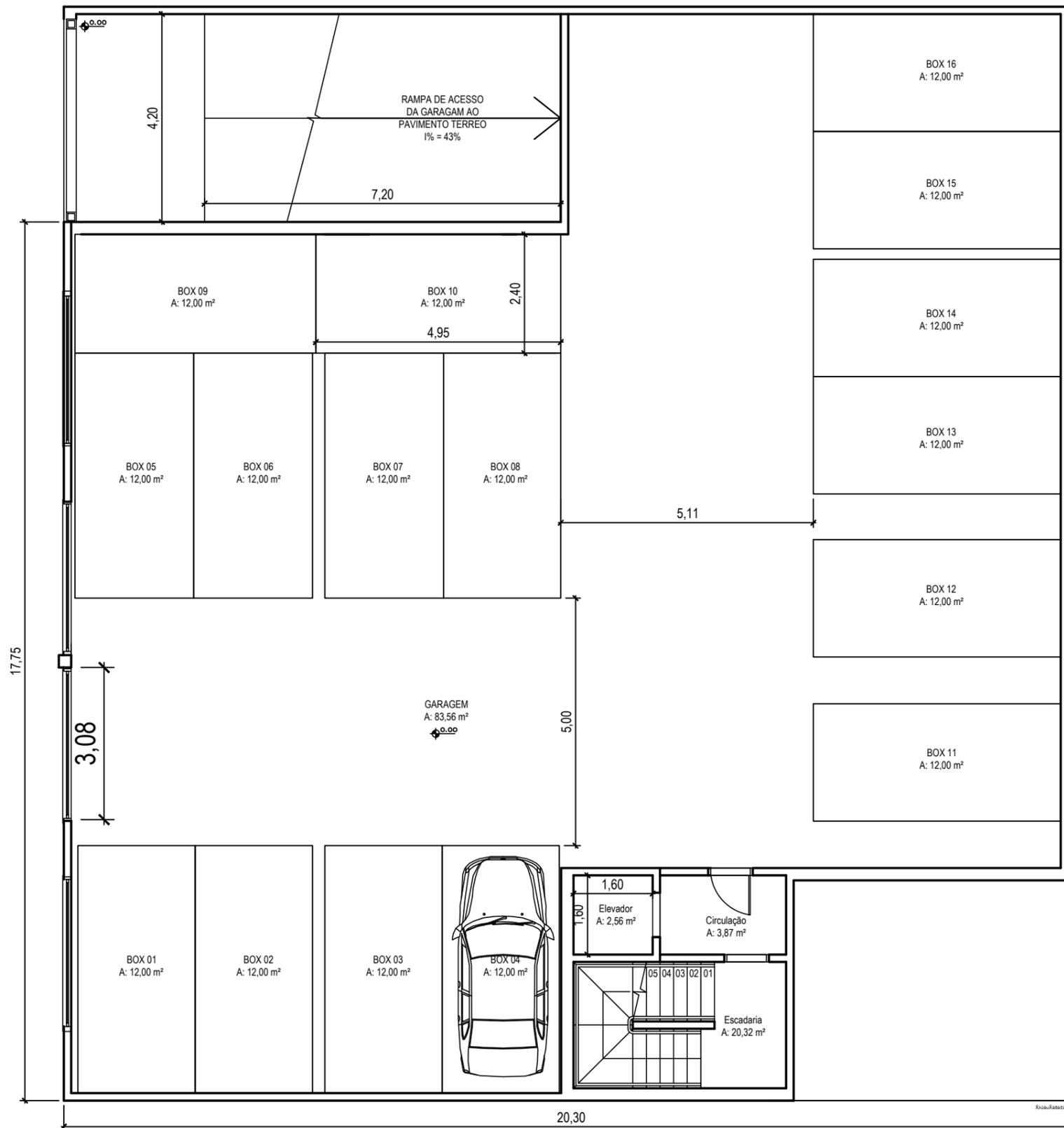
APÊNDICE A - PROJETO ARQUITETÔNICO



MEIO-FIO
PLANTA BAIXA PAVIMENTO TÉRREO
 ÁREA 391,22 m²

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL			
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			
Acadêmico:	Matheus Menin Barfknecht	Data:	julho de 2020
Assunto:	P. Baixa - Projeto Arquitetônico	Escala:	1:100
		Prancha:	2/3

APÊNDICE A - PROJETO ARQUITETÔNICO



MEIO-FIO

PLANTA BAIXA SUBSOLO
ÁREA 368,85 m²

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		
Acadêmico:	Matheus Menin Barfknecht	Data: julho de 2020
Assunto:	P. Baixa - Projeto Arquitetônico	Escala: 1:100 Prancha: 3/3

Apêndice B

Pavimento	Elemento	Peso do aço (kg)		Volume de Concreto (m ³)	
		Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Reservatório	Vigas	59,3	61	0,9	1,1
	Pilares	44,3	64,9	0,6	0,6
	Lajes	114,5	142,5	1,8	1,9
	Escadas	0	0	0	0
	Total	218,1	268,4	3,4	3,6
Cobertura	Vigas	933,3	1013,8	15,6	15,2
	Pilares	830,2	902,7	8,7	9,6
	Lajes	2418,8	2136,2	27,6	26,1
	Escadas	0	0	0	0
	Total	4182,3	4052,7	51,9	50,9
P, Tipo 5º	Vigas	2021	1786,4	20,8	18,4
	Pilares	830,2	877	8,7	9,8
	Lajes	2156,8	2149,9	24,5	24,9
	Escadas	29	29	1,6	1,6
	Total	5037	4842,3	55,6	54,7
P, Tipo 4º	Vigas	2037,4	1818,8	20,9	18,4
	Pilares	751	815,1	8,7	9,8
	Lajes	2156,8	2149,9	24,5	24,9
	Escadas	42,5	42,5	1,6	1,6
	Total	4987,7	4826,3	55,7	54,7
P, Tipo 3º	Vigas	2070,2	1848,1	20,8	18,4
	Pilares	775,9	829,5	8,7	9,8
	Lajes	2156,8	2149,9	24,5	24,9
	Escadas	42,5	42,5	1,6	1,6
	Total	5045,4	4870	55,6	54,7
P, Tipo 2º	Vigas	2076,7	1870,8	20,8	18,4
	Pilares	949,3	958,5	8,7	9,9
	Lajes	2156,8	2149,9	24,5	24,9
	Escadas	42,5	42,5	1,6	1,6
	Total	5225,3	5021,7	55,6	54,8
P, Tipo 1º	Vigas	2042,8	3267,2	20,8	31,1
	Pilares	1145,2	1233,2	9,8	11
	Lajes	2156,8	1719,7	24,5	24,2
	Escadas	36,7	36,7	1,7	1,7
	Total	5381,5	6256,8	56,8	68
Térreo	Vigas	1949,8	1652,5	21,7	23,1
	Pilares	1484,8	1554,9	11,2	12,4
	Lajes	3566,1	3071,7	43,8	43,4
	Escadas	52,2	52,2	1,8	1,8
	Total	7052,9	6331,3	78,5	80,7
Subsolo	Vigas	1691,2	1343,8	20,1	22,9
	Pilares	1005	974,8	5,3	6
	Lajes	3249,5	2789,1	41,1	39,6
	Escadas	0	0	0	0
	Total	5945,7	5107,7	66,5	68,5

Apêndice B

Apêndice B

Tipo do aço	Diâmetro	Caso 1					Caso 2				
		Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
CA50	6,3	247,7	19,6	941,9	52,1	319,4	56,9		1350,7	52,1	1459,7
	8	1144,3		5198,2	45,2	1277,1	1790,3		4977,7	45,2	6813,2
	10	1796,5	3281,4	11972,7	148	5225,9	2372,8	3388,4	8754	148	14663,2
	12,5	4331,9	620			4951,8	3717,9	801,2			4519,1
	16	5131,8	1993,2			7125	4297,2	1867,7			6164,9
CA60	5	2229,6	1901,6	2020,7		4158,1	2427,3	2153,4	3376,4		7957,1
Resumo dos Materiais											
Peso total de aço (kg)	Tipo	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total	Vigas	Pilares	Lajes	Escadas	Total
	CA50	12652,2	5914,1	18112,8	245,3	36924,4	12235,1	6057,3	15082,4	245,3	33620,2
	CA60	2229,6	1901,6	2020,7		6151,9	2427,3	2153,4	3376,4		7957,1
	Total	14881,8	7815,7	20133,5	245,3	43076,3	14662,4	8210,7	18458,8	245,3	41577,2
Volume concreto (m³)	C-25	162,4	70,3	236,8	9,6	479,1	167	78,7	234,8	9,6	490,1