

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

MÔNICA ROSA NUNES

INFLUÊNCIA DO DIRECIONAMENTO DE PILARES NA ANÁLISE ESTRUTURAL

Joinville

2024

MÔNICA ROSA NUNES

INFLUÊNCIA DO DIRECIONAMENTO DE PILARES NA ANÁLISE ESTRUTURAL

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, no Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Valéria Bennack

Joinville

2024

MÔNICA ROSA NUNES

INFLUÊNCIA DO DIRECIONAMENTO DE PILARES NA ANÁLISE ESTRUTURAL

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, no Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura, do Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 12 de dezembro de 2024.

Banca Examinadora:

Dra. Valéria Bennack
Orientadora/Presidente
Universidade Federal de Santa Catarina

Dra. Anelize Borges Monteiro
Membra
Universidade Federal de Santa Catarina

Engenheira Monique Fin de Oliveira
Membra
Perville Construtora

AGRADECIMENTO

A Deus, por guiar os meus passos e sempre me guardar.

À minha orientadora Dra. Valéria Bennack, por estar sempre disposta a me ajudar. O seu apoio foi essencial nesta jornada.

À minha família, principalmente meus pais, Terezinha Rosa Nunes e Hélio Mota Nunes, que sem o apoio, amor e ensinamentos que recebi de vocês ao longo da vida, nada disso seria possível, sei os sacrifícios dessa jornada e sou eternamente grata. Às minhas sobrinhas, Isabela e Eduarda, vocês são minha fonte de alegria, amor e carinho, eu sou a tia mais sortuda. Agradeço à minha irmã, Danielle Rosa Nunes, pelos maiores presentes da minha vida e pela força que tens.

Ao Thiago Celestino Carreiro, toda paciência e amor, sem você essa caminhada seria mais difícil. Obrigada por cuidar, me aconselhar, alegrar e ser meu apoio todos os dias.

A Mariane França, que esteve presente nesta caminhada, você é muito importante para mim. Obrigada, pelo carinho e cuidado que tens comigo. Levarei sempre vocês no coração, André Luis de Oliveira.

As minhas amigas, Ana Claudia Pereira, Débora Madalena, Letícia Rosa e Mariane França, que são força e felicidade, alegria e aconchego, estão aqui para tudo, obrigada por compartilhar esse sonho comigo.

Aos amigos que a UFSC me presenteou, compartilhamos os nossos medos, aflições, incertezas, mas também, incontáveis momentos lindos, memoráveis e repletos de alegria. Isabella Rieper, Sabrina Finkler, Saulo dos Santos Neves, Gabrieli Remor e Pedro Abreu, a caminhada foi mais divertida com vocês.

RESUMO

O concreto armado possibilitou inovações na construção civil, pois a junção do aço ao concreto resulta em uma resistência maior aos elementos estruturais, sendo que, para garantir o correto desempenho das estruturas, é essencial que haja aderência entre o aço e o concreto. Isso possibilita uma transferência adequada de tensões e assegura a integração entre ambos os materiais. A concepção estrutural de um projeto deve propor uma solução econômica e segura, utilizando todos os elementos estruturais devidamente dimensionados, proporcionando uma estrutura que não apresente falhas ou colapsos. Os elementos estruturais tais como as lajes, vigas e pilares são dimensionados a fim de resistir aos esforços solicitantes na estrutura, considerando as influências do direcionamento, garantindo eficiência dos materiais e consolidação das especificações que impactam as etapas de projeto, estabilidade e vida útil da estrutura. Neste trabalho apresenta-se o dimensionamento dos pilares e as influências do seu direcionamento em relação à taxa de armadura, consumo de concreto, diagramas de esforços de três modelos propostos. O software Eberick, desenvolvido pela empresa AltoQI, foi utilizado para o dimensionamento estrutural a fim de realizar as análises necessárias e os resultados indicam alterações no consumo dos materiais conforme o direcionamento dos pilares, a análise é importante para determinar o correto dimensionamento dos pilares, considerando as cargas submetidas na utilização da edificação evitando colapso da estrutura.

Palavras-chave: pilar; análise estrutural; concreto armado.

ABSTRACT

Reinforced concrete has brought about significant innovations in civil construction, as the combination of steel and concrete enhances the strength of structural elements. To ensure the proper performance of structures, it is essential to establish strong adhesion between steel and concrete, which allows for adequate stress transfer and ensures the integration of both materials. The structural design of a project must propose an economical and safe solution, employing all structural elements appropriately dimensioned to deliver a structure free from failures or collapses. Structural elements such as slabs, beams, and columns are designed to withstand the forces acting on the structure, taking into account the influence of orientation. This approach ensures material efficiency and compliance with specifications that affect the design stages, stability, and service life of the structure. This study presents the design of columns and the influence of their orientation on the reinforcement ratio, concrete consumption, and force diagrams of three proposed models. The structural design was performed using Eberick software, developed by AltoQI, to carry out the necessary analyses. The results indicate variations in material consumption depending on the column orientation. This analysis is crucial to determining the proper design of columns, considering the loads imposed during the building's use and preventing structural collapse.

Keywords: column; structural analysis; reinforced concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos pilares internos, canto e borda.....	20
Figura 2 - Representação do pilar interno.....	20
Figura 3 - Representação do pilar de canto.....	21
Figura 4 - Representação do pilar de extremidade.....	21
Figura 5 - Determinação da envoltória mínima de primeira ordem.....	22
Figura 6 - Determinação da envoltória mínima de segunda ordem.....	23
Figura 7 - Laje maciça com armadura de punção.....	27
Figura 8 - Projeto Arquitetônico base.....	28
Figura 9 - Configurações sobre o vento.....	29
Figura 10 - Mapa da velocidade dos ventos no Brasil.....	30
Figura 11 - Materiais e durabilidade.....	31
Figura 12 - Propriedades do concreto C-30.....	31
Figura 13 - Ações do vento.....	32
Figura 14 - Combinações de ações e critérios.....	33
Figura 15 - Caracterização das lajes maciças.....	34
Figura 16 - Caracterização carga revestimento laje de cobertura.....	35
Figura 17 - Caracterização da viga interna V5.....	36
Figura 18 - Lançamento inicial dos pilares no pavimento térreo.....	36
Figura 19 - Parâmetros de entrada das sapatas no Eberick.....	37
Figura 20 - Pórtico 3D gerado pelo Eberick.....	38
Figura 21 - Erros de cálculo no pré-dimensionamento do Pilar 1.....	39
Figura 22 - Concepção estrutural do Modelo A.....	40
Figura 23 - Concepção estrutural do Modelo B.....	41
Figura 24 - Concepção estrutural do Modelo C.....	42
Figura 25 - Diagrama de momento fletor: Modelo A.....	45
Figura 26 - Diagrama de esforço cortante: Modelo A.....	46
Figura 27 - Diagrama de esforços axiais: Modelo A.....	47

Figura 28 - Diagrama de momento fletor: Modelo B.....	50
Figura 29 - Diagrama de esforço cortante: Modelo B.....	51
Figura 30 - Diagrama de esforços axiais: Modelo B.....	52
Figura 31 - Diagrama de momento fletor: Modelo C.....	55
Figura 32 - Diagrama de esforço cortante: Modelo C.....	56
Figura 33 - Diagrama de esforços axiais: Modelo C.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do coeficiente γ_n para pilares e pilares-parede.....	18
Tabela 2 - Seções dos pilares adotadas: Modelo A.....	40
Tabela 3 - Seções dos pilares adotadas: Modelo B.....	41
Tabela 4 - Seções dos pilares adotadas: Modelo C.....	42
Tabela 5 - Combinação de ações: Modelo A.....	43
Tabela 6 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo A.....	43
Tabela 7 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo A.....	44
Tabela 8 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo A.....	48
Tabela 9 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo A.....	48
Tabela 10 - Resumo consumo de materiais: Modelo A.....	49
Tabela 11 - Combinação de ações: Modelo B.....	49
Tabela 12 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo B.....	49
Tabela 13 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo B.....	50
Tabela 14 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo B.....	53
Tabela 15 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo B.....	53
Tabela 16 - Resumo do consumo de materiais: Modelo B.....	53
Tabela 17 - Combinação de ações: Modelo C.....	54
Tabela 18 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo C.....	54
Tabela 19 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo C.....	54
Tabela 20 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo C.....	58
Tabela 21 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo C.....	58
Tabela 22 - Resumo do consumo de materiais: Modelo C.....	58
Tabela 23 - Comparação dos momentos e carregamentos.....	59
Tabela 24 - Comparação dos momentos e força axial.....	59
Tabela 25 - Comparação consumo de materiais.....	60

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. OBJETIVOS.....	14
1.1.1. Objetivo Geral.....	14
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO.....	15
2.1. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	15
2.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO.....	16
2.2.1. PILARES.....	17
2.2.1.1. Análise de elementos isolados.....	18
2.2.1.2. Tipos de pilares quanto ao posicionamento.....	20
2.2.1.3. Momento Mínimo.....	22
2.2.1.4. Análise Com Efeitos De 2° Ordem.....	23
2.3. AÇÕES.....	23
2.3.1. Ações permanentes.....	24
2.3.2. Ações variáveis.....	24
2.3.3. Ações excepcionais.....	24
2.3.4. Combinações de ações.....	25
2.4. ESTADOS-LIMITES.....	25
2.4.1. Estados-limites últimos e Estados-limites de serviço.....	25
2.5. PUNÇÃO NA LAJE.....	26
3. METODOLOGIA.....	28
3.1. PROJETO ARQUITETÔNICO.....	28
3.1.1. Caracterização do vento.....	29
3.1.2. Caracterização dos materiais.....	30
3.1.3. Combinação de ações.....	32
3.1.4. Especificações dos elementos estruturais.....	34
3.1.4.1. Laje.....	34
3.1.4.2. Vigas.....	35

3.1.4.3. Pilares.....	36
3.1.4.4. Fundações.....	37
3.2. PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	37
3.2.1. Modelo A.....	39
3.2.1. Modelo B.....	40
3.2.1. Modelo C.....	41
4. ANÁLISE DE DADOS.....	43
4.1. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO A.....	43
4.1.1. Momento Fletor.....	44
4.1.2. Força Cortante.....	45
4.1.3. Força Axial.....	46
4.1.4. Consumo de materiais.....	47
4.2. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO B.....	49
4.2.1. Momento Fletor.....	50
4.2.2. Força Cortante.....	51
4.2.3. Força Axial.....	51
4.2.4. Consumo de materiais.....	52
4.3. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO C.....	54
4.3.1. Momento Fletor.....	55
4.3.2. Força Cortante.....	56
4.3.3. Força Axial.....	57
4.3.4. Consumo de materiais.....	57
4.4. COMPARAÇÃO DOS MODELOS.....	59
5. CONCLUSÃO.....	61
5.1. TRABALHOS FUTUROS.....	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A - COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES.....	66
APÊNDICE B - RESULTADO DOS PILARES MODELO A.....	66
APÊNDICE C - RESULTADO DOS PILARES MODELO B.....	69

APÊNDICE D - RESULTADO DOS PILARES MODELO C.....	71
---	-----------

1. INTRODUÇÃO

A rocha foi um dos primeiros elementos da construção civil utilizado pelo homem, pois, além de ser um material facilmente encontrado na natureza, apresenta excelente desempenho aos esforços de compressão quando comparado à tração. Segundo Lima *et al.* (2014), o concreto simples se assemelha a uma pedra artificial, sendo produzido pela mistura do cimento, brita, areia e água com resistência à compressão, em média, dez vezes maior que à tração.

A junção do aço ao concreto possibilitou a concepção de estruturas complexas e inovadoras em concreto armado, sendo que, para garantir o correto desempenho das estruturas, é essencial que haja a correta aderência entre o aço e o concreto, isso possibilita uma transferência adequada de tensões e assegura a integração entre ambos os materiais (Fonseca; Souza; Meira, 2023). As estruturas de concreto armado são empregadas em diversos tipos de construção pela facilidade de aplicação, como edifícios de múltiplos pavimentos, viadutos e pontes, reservatórios, barragens, pisos industriais, aeroportos (Bastos, 2023).

A concepção de um projeto envolve escolha de materiais, sistema estrutural, determinação das cargas, análise dos esforços, dimensionamento e detalhamento de todos os elementos (Santos, 2017). Segundo a NBR 6118:2023, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a análise estrutural permite estabelecer as distribuições dos esforços internos, as tensões, deformações e deslocamentos, aplicando a verificação dos estados-limites últimos, associado ao colapso total ou parcial, e do estado-limite de serviço, ao uso da edificação, fissuras ou vibrações que comprometem o uso da estrutura.

O dimensionamento e detalhamento que anteriormente eram executados manualmente, passaram a ser realizados com o uso de ferramentas computacionais, que buscam simular o comportamento estrutural de forma mais rápida e realista (Nahum; Oliveira, 2010). Entre os softwares de dimensionamento estrutural existentes, destaca-se o Eberick desenvolvido pela AltoQI (2024), no qual é possível dimensionar estruturas com diferentes processos construtivos, como concreto armado, alvenaria estrutural e estruturas mistas, de forma ágil e detalhada. O dimensionamento deve garantir eficiência, segurança e economia dos materiais,

essas especificações impactam as etapas de projeto, estabilidade e vida útil da estrutura (Pereira *et al.*, 2022).

Pereira *et al.* (2022) analisaram a influência da direção dos pilares simulados no software Eberick uma estrutura composta por oito pilares, modificando o direcionamento de quatro pilares de extremidade e reduzindo o peso total de aço CA-50 e CA-60 em aproximadamente 50 kg e 140 kg, respectivamente. Porém, a disposição impactou na concepção arquitetônica, pois, os pilares que proporcionaram a redução do aço não seriam embutidos na parede, influenciando a utilização final da estrutura.

Santos e Mota (2019) elaboraram um projeto arquitetônico com 25 pilares, redirecionando tanto pilares de canto, quanto de extremidade, totalizando 20 alterações. A análise estrutural também foi realizada com o software Eberick e, quando analisados somente os pilares, não se obtiveram alterações significativas no consumo de aço na armadura e concreto nos dois modelos propostos. Os autores ainda ressaltaram que, quanto maior o momento de inércia do pilar, maior a quantidade de armaduras, sendo que a alteração de um pilar pode influenciar os demais.

Tais pesquisas mostram a influência do direcionamento dos pilares na concepção estrutural, tendo em vista que, nessa fase a análise crítica e o conhecimento sobre o comportamento dos materiais vão resultar em uma estrutura bem dimensionada, respeitando as restrições impostas pela arquitetura e requisitos de norma (Santos, 2017). Minimizar o consumo de aço e concreto com o redirecionamento dos pilares, por menor que seja o impacto no consumo dos insumos de obra, resulta em alterações no custo final do projeto.

Para entender a influência do direcionamento de pilares no dimensionamento do projeto estrutural, apresenta-se neste trabalho uma análise das consequências do direcionamento, sendo avaliados três projetos onde a direção dos pilares é modificada, com o uso do software Eberick. Serão analisados os diagramas de momentos fletores, forças cortantes e axiais, assim como a quantificação do consumo de aço e concreto de três projetos modelos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar a influência do direcionamento dos pilares na análise de dimensionamento em um projeto estrutural. Para alcançar esse objetivo, elencam-se os seguintes objetivos específicos:

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar as influências do direcionamento dos pilares em projetos estruturais;
- Analisar as cargas aplicadas nos pilares nas três simulações propostas;
- Comparar os diagramas de momento fletor e força cortante;
- Analisar os esforços axiais;
- Quantificar o consumo de aço e concreto;
- Indicar a configuração que resultou na economia do uso de aço e concreto.

2. ESTRUTURAS EM CONCRETO ARMADO

O concreto simples é um material composto, constituído por cimento, água e agregados, não sendo adequado para fins estruturais, pois, enquanto possui grande resistência à compressão, apresenta baixa resistência à tração (Carvalho e Figueiredo, 2014). O aço na composição do concreto armado desempenha a resistência à tração e trabalha solidariamente com o concreto, e, devido a essa força de aderência do concreto com o aço, o concreto armado passa a ser utilizado como material estrutural (Carvalho e Figueiredo, 2014).

Em casos que o concreto está submetido às solicitações de compressão simples, não é necessária armadura, entretanto, nas estruturas de concreto armado ocorre a transmissão de momentos fletores das vigas aos pilares, essa excentricidade pode gerar tensões de tração especialmente em peças esbeltas (Leonhardt e Mönning, 1978). Para Fusco (1977) “Nos pilares submetidos à flexão composta, parte da armadura pode estar comprimida e parte tracionada.” (p. 5), sendo que a taxa de aço utilizada possibilita também a redução da seção do elemento.

O concreto armado alia vantagens de durabilidade, baixo custo e resistência à compressão do concreto, com ductilidade, resistência à tração e à compressão do aço (Bastos, 2023). A chamada “solidariedade” entre o aço e o concreto deve resistir às tensões de cisalhamento que agem na interface dos dois materiais, e caso seja superada, haverá o efeito de escorregamento relativo, levando à ruptura. A aderência é responsável pelo controle de fissuras que o concreto está sujeito, sendo relacionada a proteção à corrosão da armadura (Fusco, 1977).

As estruturas em concreto armado possuem dimensões preponderantes aos demais elementos que compõem o conjunto da edificação, e o modo como são arrançados denomina-se sistema estrutural (Carvalho e Figueiredo, 2014). Trabalhando de forma conjunta, o sistema estrutural reúne elementos de concreto, aço, mistos e outros, que se unem para resistir às ações atuantes e garantir a estabilidade na concepção estrutural (Alva, 2000).

2.1. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

A concepção estrutural de um projeto deve propor uma solução econômica e segura, utilizando todos os elementos estruturais devidamente dimensionados, em que a estrutura não apresente falhas ou colapsos. As dimensões das peças estruturais afetam diretamente as solicitações na estrutura devido à inércia e isso influencia não só o dimensionamento das peças, como a análise global do edifício (Paloschi, 2017).

Conceber uma estrutura é ter consciência da possibilidade de 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).

O sistema estrutural é um conjunto de elementos interconectados que suportam o carregamento sobre a estrutura e o transmite de forma segura ao solo (Santos, 2017). Segundo Fusco (1977), para efeitos de projeto, a análise pode ser simplificada de forma que os elementos sejam analisados separadamente, a justificativa deve considerar a vinculação real entre os diferentes elementos estruturais para que esse método seja aplicado, respeitando o comportamento global.

A disposição dos elementos estruturais pode partir de diferentes objetivos, como a largura de vãos livres, economia ou critérios arquitetônicos, levando em consideração o porte da estrutura, logo, o posicionamento dos elementos estruturais pode iniciar pelos pilares, seguido das vigas e lajes dependendo da abordagem do projeto e projetista (Pereira, 2019). Em geral, as possibilidades são múltiplas e a solução a ser adotada leva em consideração diversos fatores, como mão de obra especializada, tempo de execução da obra ou custo (Fusco, 1977).

2.2. ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM CONCRETO ARMADO

Dentre os elementos estruturais de concreto armado se enquadram as lajes, vigas e pilares, que são responsáveis por direcionar os esforços atuantes na estrutura até os elementos de fundações. Alva (2000) explica que existe a classificação de sistema horizontal constituídos por lajes e vigas que transmitem os esforços atuantes aos pilares, estes atuando como sistema vertical.

Os elementos estruturais, segundo Bastos (2023), são classificados com base na geometria, onde se comparam as três dimensões do elemento, em elementos lineares e de superfície. A ABNT NBR 6118:2023 define os elementos lineares como “[...] aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras.” (p. 83) sendo vigas, pilares, tirantes e arcos.

Ainda pelas definições da ABNT NBR 6118:2023, os elementos lineares apresentam esforços onde flexão é predominante, no caso das vigas, que são responsáveis por receber os esforços das lajes, sendo que sua principal função é vencer os vãos e transmitir as cargas para os apoios, que são geralmente os pilares.

As lajes são definidas como elementos de superfície, onde o carregamento é perpendicular ao plano de superfície. São fundamentais na estabilidade global das edificações, pois atuam como diafragmas rígidos (Abreu, 2023). Apresentam ainda variadas metodologias construtivas: maciças, nervuradas, treliçadas e pré-moldadas, servem como cobertura ou piso na edificação (Bastos, 2023).

O item 2.2.1 apresenta as definições do elemento estrutural pilar.

2.2.1. PILARES

O pilar, é um elemento linear de eixo reto em que as forças normais de compressão são predominantes, não podendo apresentar dimensões menores que 19 cm, e em casos especiais, a ABNT NBR 6118:2023 restringe a redução da medida em até 5 cm, devendo ser aplicado um fator de majoração dos esforços solicitantes conforme a Equação 1 e Tabela 1.

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05b \quad (1)$$

Sendo “*b*” a menor dimensão da seção transversal do pilar.

Tabela 1 - Valores do coeficiente γ_n para pilares e pilares-parede

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 ABNT NBR 6118:2023 (p. 73).

Para classificar o elemento estrutural em pilar, a maior dimensão da seção transversal não deve ser superior a cinco vezes a menor dimensão, caso isso ocorra, deverá ser analisado especificamente como um pilar-parede.

2.2.1.1. Análise de elementos isolados

Por estarem sujeitos à compressão, os pilares podem sofrer instabilidades laterais perdendo o alinhamento com o eixo e ocasionando o efeito de flambagem (Abreu, 2023). Associado a esse efeito é introduzido o conceito do índice de esbeltez (λ), em que quanto maior o valor de λ , maior será o efeito da flambagem e ainda, ocasionando os efeitos de 2° ordem (Mazetto, 2017).

O índice de esbeltez de um pilar segundo a ABNT NBR 6118:2023 é a razão entre o comprimento efetivo de flambagem (le) e o raio de giração (i) (Equação 2).

$$\lambda = \frac{le}{i} \quad (2)$$

Onde le representa o comprimento equivalente do elemento comprimido, i seria o raio de giração da seção transversal do pilar.

Os esforços locais de 2ª ordem podem ser desprezados, caso a esbeltez do pilar seja menor que o valor-limite. O valor limite (Equação 3) leva em consideração a excentricidade de 1° ordem, dimensão transversal considerada na análise e parâmetro para consideração do diagrama de momento do pilar.

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e}{h}}{\alpha b} \quad (3)$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

Onde α depende dos apoios dos pilares, para biapoiados sem cargas transversais utiliza-se a Equação 4.

$$\alpha = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_b}{M_a} \geq 0,4 \quad (4)$$

Sendo que M_a deve ser tomado como maior valor absoluto e M_b com sinal positivo, se estiver tracionando a mesma face que M_a , caso contrário utilizar valor negativo. Em casos de cargas significativas ao longo da altura e pilares em balanço adotar α igual a 1.

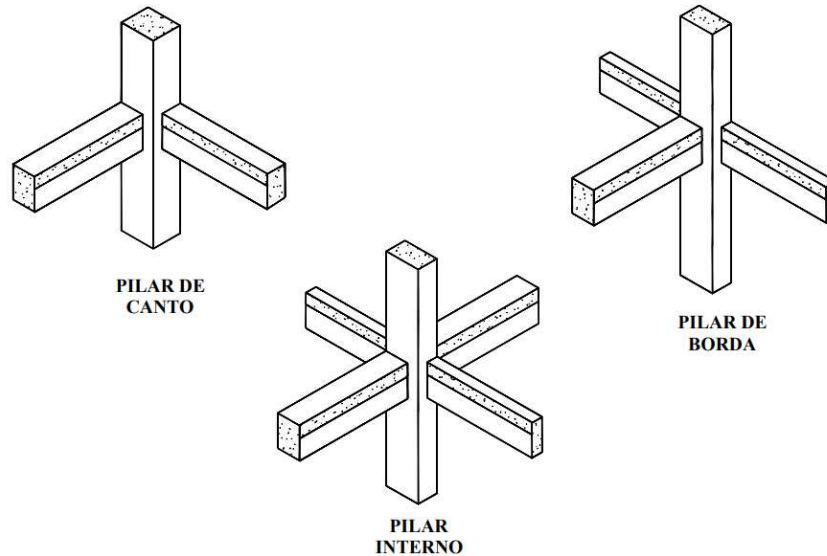
Quanto à classificação em relação à esbeltez a ABNT NBR 6118:2023 limita o índice de esbeltez a 200, tem-se:

- Pilares robustos ou pouco esbeltos: $\lambda \leq \lambda_1$;
- Pilares de esbeltez média: $\lambda_1 < \lambda \leq 90$;
- Pilares esbeltos ou muito esbeltos: $90 < \lambda \leq 140$;
- Pilares excessivamente esbeltos: $140 < \lambda \leq 200$;

2.2.1.2. Tipos de pilares quanto ao posicionamento

A localização dos pilares no projeto implica em diferentes solicitações, sendo classificados em pilares internos, de canto e borda (Figura 1).

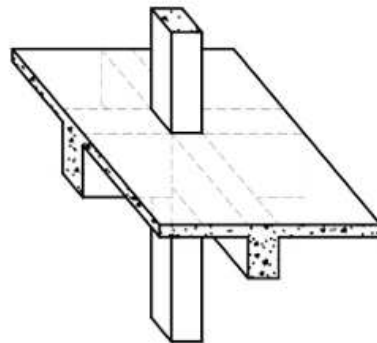
Figura 1 - Classificação dos pilares internos, canto e borda



Fonte: Adaptado de Scadelai (2004, p.27)

Os pilares internos são submetidos à compressão simples e não apresentam excentricidades iniciais, por estarem localizados na região interna da estrutura, recebendo solicitações das quatro vigas ligadas ao pilar de acordo com a Figura 2.

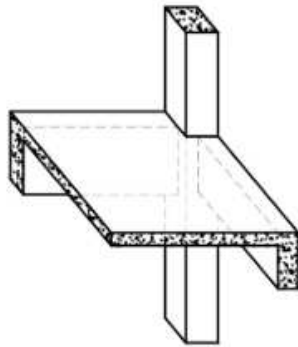
Figura 2 - Representação do pilar interno



Fonte: Adaptado de Paloschi (2017, p. 32)

Os pilares de canto se caracterizam por estarem submetidos a flexão composta oblíqua, sendo que a excentricidade é causada pela descontinuidade das vigas (Figura 3).

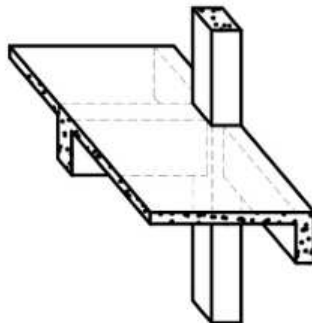
Figura 3 - Representação do pilar de canto



Fonte: Adaptado de Paloschi (2017, p. 34)

O pilar de borda ou extremidade apresentado na Figura 4, está sujeito à solicitação de flexão composta normal e a excentricidade existe em uma direção (Scadelai, 2004).

Figura 4 - Representação do pilar de extremidade



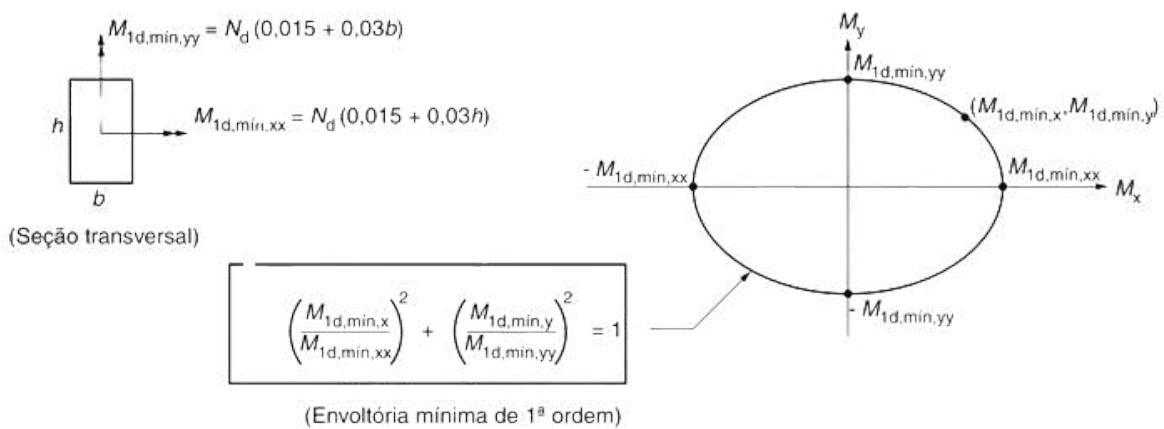
Fonte: Adaptado de Paloschi (2017 p. 33)

Essa classificação se faz necessária para compreender os esforços solicitantes de cada pilar. A excentricidade inicial contribui para os efeitos de 1º ordem.

2.2.1.3. Momento Mínimo

A Norma ABNT NBR 6118:2023 estabelece que o efeito das imperfeições locais nos pilares e pilar-parede pode ser substituído, em estruturas reticuladas, pela consideração do momento mínimo de primeira ordem. Tal conceito é importante para garantir a segurança e a estabilidade da estrutura, considerando imperfeições e irregularidades que podem ocorrer durante a construção e a vida útil da edificação. Para pilares retangulares, pode-se definir uma envoltória mínima de 1º ordem, tomada a favor da segurança de acordo com a Figura 5.

Figura 5 - Determinação da envoltória mínima de primeira ordem



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2023 (p.61).

A verificação do momento mínimo, segundo as Equação 5 e 6, pode ser considerada válida se no dimensionamento, de modo que se obtém uma envoltória resistente que englobe a envoltória mínima de 1º ordem.

$$M_{1d,min,xx} = N_d \cdot (0,015 + 0,03h) \quad (5)$$

$$M_{1d,min,yy} = N_d \cdot (0,015 + 0,03b) \quad (6)$$

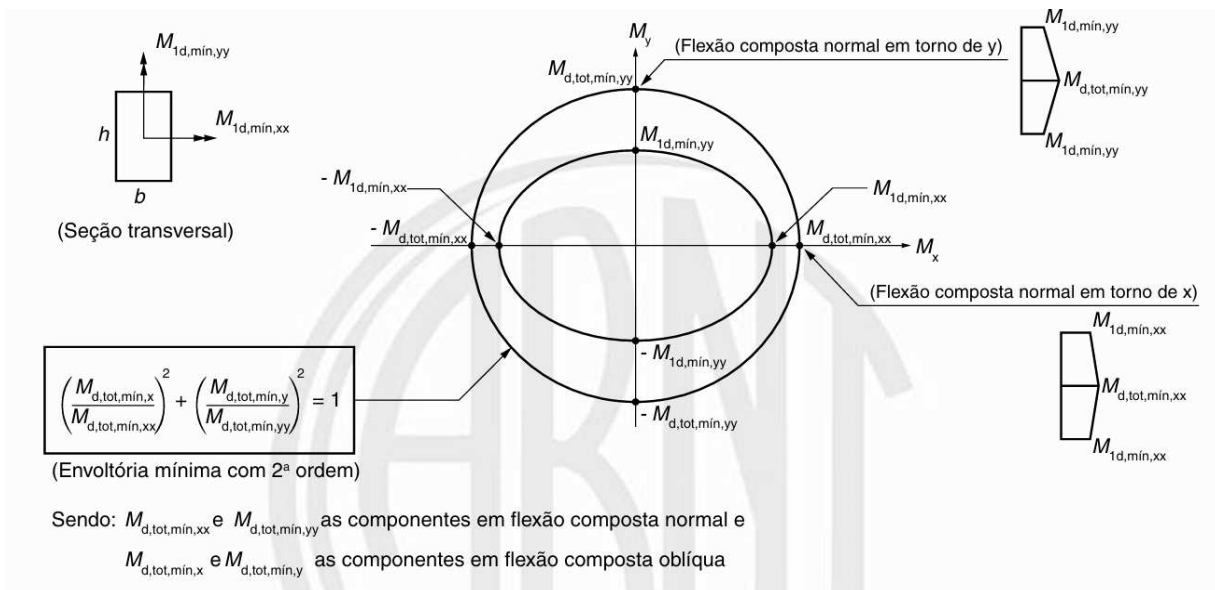
$M_{1d, min, xx}$ e $M_{1d, min, yy}$ são componentes em flexão composta normal e $M_{1d, min, x}$ e $M_{1d, min, y}$ os componentes em flexão oblíqua, utilizados na Figura 5.

2.2.1.4. Análise Com Efeitos De 2° Ordem

A determinação dos efeitos de 2° ordem pode ser realizada pelo método do pilar-padrão com curvatura aproximada. Com seção constante e armadura simétrica e constante ao longo do eixo. Ainda pelas definições da ABNT NBR 6118:2023, para pilar de seção retangular, quando houver incidência dos efeitos locais de 2° ordem, a verificação do momento mínimo é atendida quando, no dimensionamento obtém-se uma envoltória resistente que englobe a envoltória de 2° ordem.

A determinação da envoltória mínima é realizada pela análise à flexão composta normal e momento fletor mínimo de 1° ordem atuantes na extremidade do pilar, conforme Figura 6.

Figura 6 - Determinação da envoltória mínima de segunda ordem



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6118:2023 (p.102).

2.3. AÇÕES

A ABNT NBR 8681:2003 sobre as Ações e segurança nas estruturas - Procedimento, é a norma base para a determinação das ações, sendo classificadas

ações permanentes, variáveis e excepcionais, sendo necessário respeitar a peculiaridade e as normas aplicáveis. Dentro da análise estrutural devem ser consideradas as influências de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura (Bastos, 2023).

2.3.1. Ações permanentes

As ações permanentes são previstas para a estrutura ao longo da vida útil e apresentam um valor constante, destacam-se entre essas as permanentes diretas, como o peso próprio da estrutura e de elementos construtivos que estão presentes durante a vida útil da edificação, como a alvenaria e revestimentos (Santos, 2017).

Já as ações permanentes indiretas são compostas por deformações da estrutura impostas pela retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio ou imperfeições geométricas (ABNT NBR 6118:2023).

2.3.2. Ações variáveis

Ações variáveis são aquelas que apresentam variações significativas durante a vida útil da construção, como vento, variações da temperatura, e forças de impactos conhecidas como cargas acidentais. São classificadas em diretas ou indiretas, onde as diretas estão relacionadas à utilização da edificação pelo tipo de ocupação ou finalidade (ABNT NBR 8681:2003).

Já as ações variáveis indiretas são decorrentes de variações de temperatura da estrutura, uniformes ou não, ações dinâmicas, como choques ou vibrações, de qualquer forma, em que a ABNT NBR 8681:2003 apresenta prescrições para que se quantifique tais valores, tornando o dimensionamento seguro.

2.3.3. Ações excepcionais

As ações excepcionais têm duração extremamente curta, como as explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes e sismos, diante de uma probabilidade muito baixa de ocorrer, esses eventos podem ser previstos no dimensionamento por meio de uma redução da resistência dos materiais (Santos, 2017).

2.3.4. Combinações de ações

Durante a vida útil da edificação, diferentes tipos de carregamentos podem ocorrer, incluindo carregamentos normais, especiais e excepcionais anteriormente descritos, com isso, a ABNT NBR 8681:2003 exige que devem ser feitas tantas combinações quanto necessárias para que a segurança seja verificada em relação a todos os possíveis estados limites da estrutura.

Essas combinações devem ser feitas de maneira que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis à estrutura, além disso, devem ser realizadas as verificações de segurança em relação aos estados-limites últimos e os de serviço, sempre em função de combinações últimas e combinações de serviço (ABNT NBR 8681:2003).

2.4. ESTADOS-LIMITES

A análise estrutural possibilita determinar a distribuição dos esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos. Nessa análise é aplicada a verificação dos estados-limites últimos, associados ao colapso total ou parcial, e dos estados-limites de serviço, que estão relacionados ao uso da edificação, incluindo fissuras ou vibrações que possam comprometer a estabilidade da estrutura (ABNT NBR 6118:2023).

Segundo Deuschle (2019), as estruturas podem sofrer falhas dependendo do seu tipo de carregamento, material constituinte e tipos de apoio, segundo o mesmo autor, em pilares, a falha por perda da capacidade resistente é comum nos elementos robustos, enquanto nos elementos esbeltos a instabilidade é crítica e pode ser atingida sem o esgotamento da capacidade resistente.

2.4.1. Estados-limites últimos e Estados-limites de serviço

O dimensionamento deve assegurar que a estrutura não alcance a ruptura, utilizando os coeficientes de ponderação de ações, sendo assim, considerando as características de resistência máxima de cada material, resultando em baixas probabilidades de ocorrer a ruptura (Deichmann, 2016). Em relação ao Estado-limite último (ELU), além de garantir segurança adequada, deve garantir ductilidade para

que a ruína seja percebida de forma visual, de forma a alertar os usuários previamente nas estruturas de concreto armado (ABNT NBR 6118:2023).

O Estado-limite de serviço (ELS) deve, segundo a ABNT NBR 6118:2023, respeitar limitações de flechas, de abertura de fissuras ou de vibrações, ainda as situações relacionadas ao conforto térmico e acústicos.

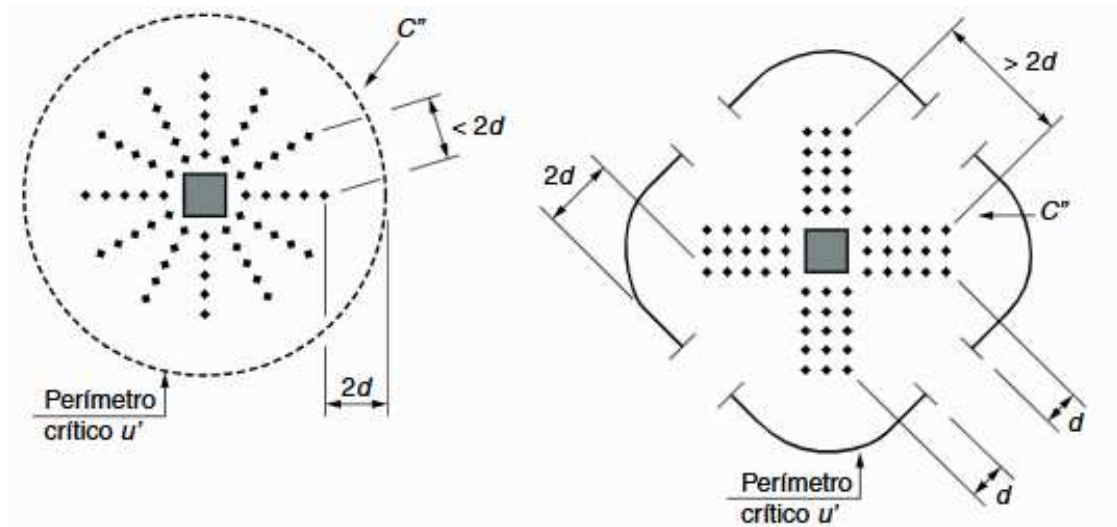
No caso de pilares de concreto armado, a instabilidade é um estado limite último que pode ser atingido nos elementos submetidos à flexo-compressão, resultado da atuação de um carregamento em que cessa sua capacidade portante antes que a estrutura atinja a ruína por ruptura ou deformação plástica da armadura (Scadelai, 2004).

2.5. PUNÇÃO NA LAJE

Nos sistemas estruturais convencionais, sendo as cargas acidentais ou permanentes, que aplicadas diretamente nas lajes, são transferidas para as vigas, as quais as transmitem aos pilares. Nos sistemas sem vigas, o carregamento da laje atua diretamente no pilar podendo gerar uma região de ruptura, à punção, que é um tipo de ruína que pode ocorrer de forma brusca por cisalhamento (Santos *et. al.* 2014).

A verificação das tensões leva em consideração que a tensão solicitante deve ser menor que a resistente em casos de utilização da armadura de punção, constituídas por três ou mais linhas de conectores dispostas radialmente a partir do perímetro do pilar (ABNT NBR 6118:2023), conforme Figura 7.

Figura 7 - Laje maciça com armadura de punção



Fonte: ABNT NBR 6118:2023.

As armaduras devem ser estendidas em contornos paralelos, afastadas a uma distância de duas vezes a altura útil da laje, devem ser ancoradas fora do plano da armadura de flexão correspondente ao pilar (ABNT NBR 6118:2023). A eficácia da armadura de cisalhamento para combater os esforços de punção depende de um correto dimensionamento, posicionamento adequado e ancoragem eficiente (Santos *et. al.* 2014).

3. METODOLOGIA

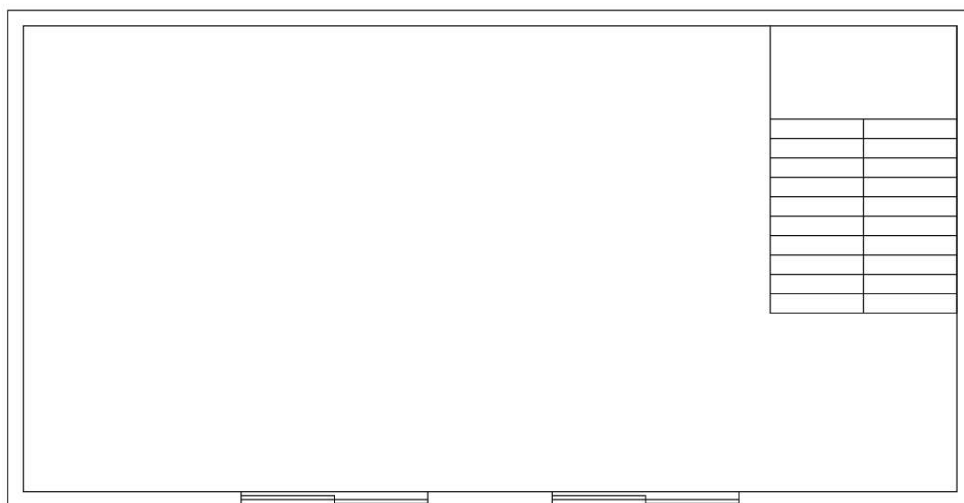
Para analisar a influência do direcionamento dos pilares no dimensionamento do projeto estrutural foi desenvolvido um projeto arquitetônico, com as informações de dimensões, layout, pavimentos e escadas. Com essas informações, foram dispostos três modelos distintos de análise, modificando o direcionamento dos pilares de canto e de extremidade, sendo denominadas neste trabalho de modelos A, B e C.

Os modelos foram analisados no software Eberick, sendo inseridos os elementos estruturais com dimensões para o pré-dimensionamento, avaliando os esforços, momentos e cargas atuantes. Com isso, pode-se gerar os gráficos de interações entre os elementos, identificando os que apresentaram maiores solicitações e a verificação das dimensões a fim de garantir segurança à estrutura.

3.1. PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico foi desenvolvido no Software Autocad com dimensões de 6,40 por 12,40 metros, conforme o pavimento demonstrado na Figura 8, a edificação é composta por três pavimentos, sendo para fins de uso comercial.

Figura 8 - Projeto Arquitetônico base



Fonte: Autora (2024).

A edificação foi projetada em concreto armado, com pé-direito de três metros, em uma área total construída de 79,36 m². Quanto à fundação, foram empregadas sapatas, adequadas às características do solo, que apresenta capacidade de suporte compatível com as exigências estruturais do projeto.

3.1.1. Caracterização do vento

O Software Eberick possibilita configurações para o projeto de acordo com as características do terreno em que o projeto será executado, como a incidência dos ventos e topografia conforme Figura 9.

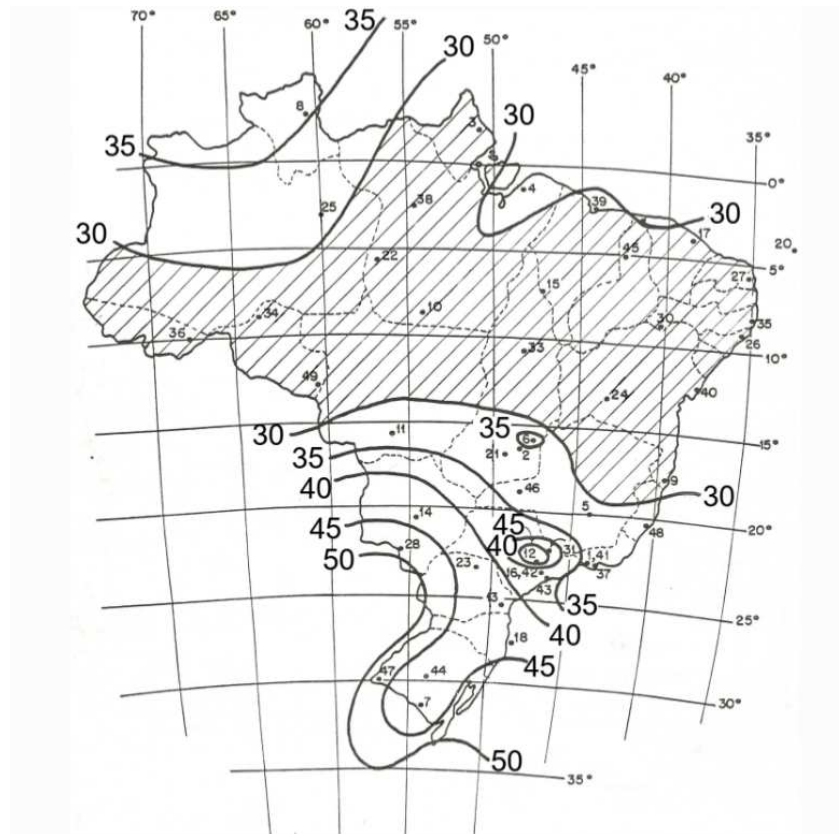
Figura 9 - Configurações sobre o vento

The image shows a software interface for wind configuration. It includes fields for wind velocity (45 m/s), wind angle (0 degrees), and the number of cases (4). There are sections for topography (with 'Demais casos (S1 = 1.0)' selected), building characteristics (including horizontal/vertical dimension, terrain roughness, and critical damping ratio), statistical factor S3 (with 'Edificações para hotéis e residências...' selected), and comfort verification (with occurrence probability of 0.75 and a 10-year return period).

Fonte: Software Eberick (2024).

A velocidade do vento foi considerada 45 m/s, que de acordo com a Figura 10 fornecida pela ABNT NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações, a edificação está situada na Região Sul, entre a faixa de 40 m/s e 45 m/s.

Figura 10 - Mapa da velocidade dos ventos no Brasil



Fonte: Adaptado da ABNT NBR 6123:2023.

Estudos sobre a característica dos ventos resultam em análises detalhadas e específicas que podem ser aplicados no software. Nesta análise, configurou-se o terreno na categoria III, sendo terrenos planos ou ondulados com obstáculos, como edificações baixas e esparsas, como se caracterizou a edificação em estudo.

3.1.2. Caracterização dos materiais

De acordo com a ABNT NBR 6118:2023, para estruturas de concreto armado situadas em ambientes urbanos de agressividade classe II, o concreto deve ter uma relação água/cimento menor ou igual a 0,60 e ser, no mínimo, da classe C25.

Neste trabalho, definiram-se os valores dos cobrimentos nominais de 25 mm para lajes, e 30 mm para vigas e pilares. Nos elementos em contato com o solo, foram definidos 45 mm para pilares e 30 mm lajes e vigas, conforme Figura 11.

Optou-se pelo uso de concreto da classe C30, que apresenta uma resistência à compressão de 30 MPa aos 28 dias.

Figura 11 - Materiais e durabilidade

Fonte: Software Eberick (2024).

Adotou-se no projeto a vida útil de 100 anos, com o início do carregamento em 28 dias e início da retração em três dias entre outras características e configurações conforme Figura 12.

Figura 12 - Propriedades do concreto C-30

Fonte: Software Eberick (2024).

O aço utilizado em estruturas de concreto armado, conforme descrito pela ABNT NBR 7480:2024 apresenta o valor característico das categorias CA-50 e CA-60, tem resistência ao escoamento característica de 500 MPa e 600 MPa respectivamente, e devem ainda ser providos de nervuras transversais oblíquas. Segundo a ABNT NBR 6118:2023, o coeficiente da capacidade aderente entre o aço e o concreto CA-50 e CA-60 é de 2,25 e 1,00.

3.1.3. Combinação de ações

As cargas permanentes, acidentais e excepcionais foram consideradas conforme ABNT NBR 8681:2003 e a Figura 13, apresenta os coeficientes adotados para cada combinação de ações do vento.

Figura 13 - Ações do vento

Ação

Nome

Indicação

Considerar para as lajes

Variabilidade

Permanente

Acidental direta

Acidental indireta

Excepcional

Coef. de ponderação

Combinações	Concreto	Aço	Alvenaria
Normais (desfavorável)	<input type="text" value="1.40"/>	<input type="text" value="1.40"/>	<input type="text" value="1.40"/>
Normais (favorável)	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Excepcionais (desfavorável)	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Excepcionais (favorável)	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Fundações	<input type="text" value="1.00"/>		
Construção	<input type="text" value="0.00"/>		
Incêndio	<input type="text" value="0.00"/>		

Fatores de combinação

$\Psi_0 =$

$\Psi_1 =$

$\Psi_2 =$

Fonte: Software Eberick (2024).

As combinações de ações foram configuradas de acordo com a Figura 14.

Figura 14 - Combinações de ações e critérios

Ações Cominações

Ações a considerar:

	Ativo	Ações	Variabilidade	Efeito favorável	Acidental isolada
1	<input checked="" type="checkbox"/>	Peso próprio (G1)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Adicional (G2)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Solo (S)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Protensão (P)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	<input checked="" type="checkbox"/>	Retração (R)	Permanente	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Acidental (Q)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	<input checked="" type="checkbox"/>	Água (A)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Subpressão (AS)	Acidental direta	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	<input checked="" type="checkbox"/>	Temperatura 1 (T1)	Acidental indireta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Critérios de geração

Gerar combinações automaticamente

- Gerar combinações considerando sempre todas as ações permanentes
- Gerar combinações ELU sem protensão
- Gerar combinações excepcionais
- Combinar permanentes com efeito favorável
- Combinar entre acidentais
- Combinar o desaparecimento como permanente somente nas direções principais
- Considerar desaparecimento nas combinações de ELS
- Considerar redução de ψ_2 para incêndio

Definir combinações...

Fonte: Software Eberick (2024).

Sendo consideradas as ações em combinações com os seguintes efeitos, separados em favoráveis e acidentais isoladas:

- Efeitos favoráveis: Peso próprio (G1); Adicional (G2); Solo (S); Protensão (P); Retração (R);
- Acidental isolada: Acidental (Q); Água (A); Subpressão (AS); Temperatura (T1); Vento (V1); Desaprimo (D1).

3.1.4. Especificações dos elementos estruturais

3.1.4.1. Laje

A laje considerada neste projeto foi maciça com espessura de 15 cm, com carga acidental de 3 kN/m² e de revestimento de 1,545 kN/m² conforme Figura 15, os valores adotados seguem a ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

Figura 15 - Caracterização das lajes maciças

The figure displays two side-by-side screenshots of a software interface for configuring a concrete slab (Laje). Both screenshots show the same basic configuration: Name 'L1', Type 'Maciça', and a load group '051 - Vestibulos - Edifícios comerciais, corporativ'. The left screenshot is for a slab in 'Contato com solo' environment, with a thickness of 20 cm. The right screenshot is for a slab in 'Externo' environment, with a thickness of 15 cm. Both screenshots show load settings: Accidental (3 kN/m²), Revestimento (1.545 kN/m²), Extra (0 kN/m²), and Temperature/contraction (0 °C). The right screenshot also shows a prestressed beam configuration with a simple arrangement and a cross-section with a total thickness of 15 cm.

Fonte: Software Eberick (2024).

As lajes do pavimento térreo foram configuradas no ambiente em contato com o solo com 20 cm de espessura, já a laje de cobertura foi configurada conforme indicada na Figura 16.

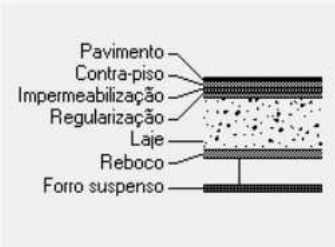
Figura 16 - Caracterização carga revestimento laje de cobertura

Dados
 Nome

Cargas
 Acidental kN/m² Revestimento kN/m²

Revestimento

	Espessura		Peso específico	
Pavimento	<input type="text" value="1"/>	cm	<input type="text" value="18"/>	kN/m ³
Contra-piso	<input type="text" value="3"/>	cm	<input type="text" value="21"/>	kN/m ³
Impermeabilização	<input type="text" value="0.5"/>	cm	<input type="text" value="12"/>	kN/m ³
Regularização	<input type="text" value="3"/>	cm	<input type="text" value="21"/>	kN/m ³
Reboco	<input type="text" value="1.5"/>	cm	<input type="text" value="21"/>	kN/m ³
Forro suspenso	<input type="text" value="0"/>	cm	<input type="text" value="12.5"/>	kN/m ³



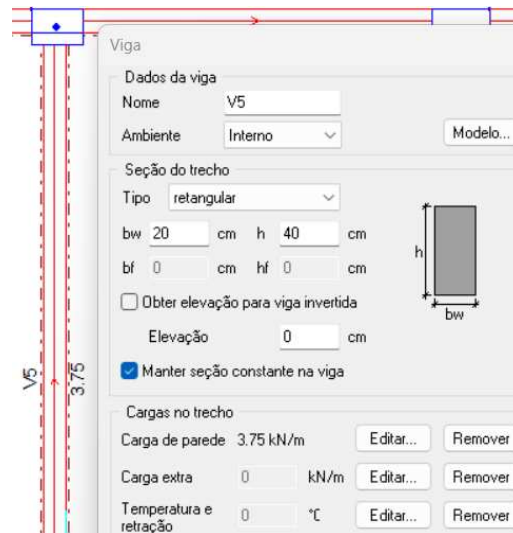
Fonte: Software Eberick (2024).

Por ser uma laje de cobertura, a carga acidental aplicada é de 1 kN/m² e revestimento de 1,815 kN/m² com 15 cm de espessura, sendo uma cobertura com acesso para manutenção ou inspeção, considerando um acabamento de impermeabilização.

3.1.4.2. Vigas

As vigas foram configuradas conforme sua localização, seja no pavimento térreo em contato com o solo ou interna, com a sua respectiva carga de 3,75 kN/m como consequência da parede de 2,60 m considerando o bloco de vedação cerâmico vazado de 19 cm. A Figura 17 indica as configurações iniciais da viga V5.

Figura 17 - Caracterização da viga interna V5



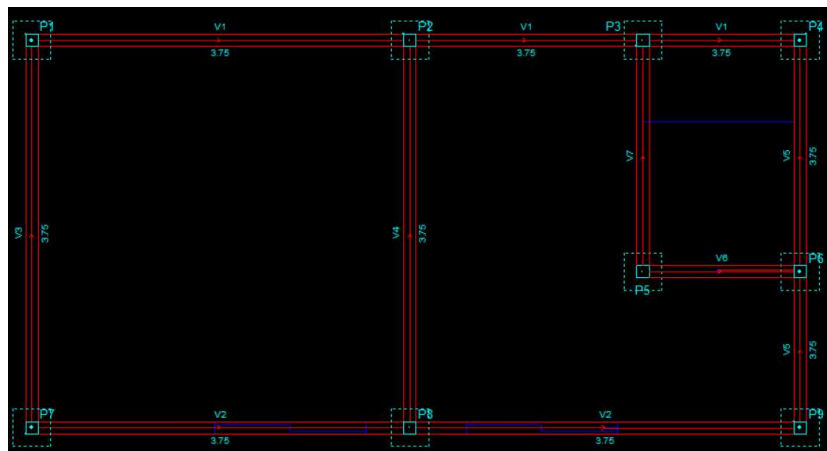
Fonte: Software Eberick (2024).

As vigas adotadas consideram travamento horizontal pela laje e engastadas. No pavimento da cobertura, as vigas não apresentam carga de parede.

3.1.4.3. Pilares

Nesta primeira etapa de lançamento, os pilares foram posicionados medindo 20x20 cm, como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Lançamento inicial dos pilares no pavimento térreo



Fonte: Software Eberick (2024).

Classificou-se o ambiente de cada pilar em interno e externo, sendo interno apenas o P5 e a tipologia de vínculo como engastado em todos os pilares.

3.1.4.4. Fundações

Neste trabalho optou-se pela utilização de sapatas para o dimensionamento da estrutura, a Figura 19 mostra as configurações adotadas.

Figura 19 - Parâmetros de entrada das sapatas no Eberick

Fonte: Software Eberick (2024).

As sapatas em concreto armado são dimensionadas de modo que as tensões de tração resultantes no elemento sejam resistidas pela armadura dimensionada (ABNT NBR 6122:2022).

3.2. PROCESSAMENTO DOS DADOS

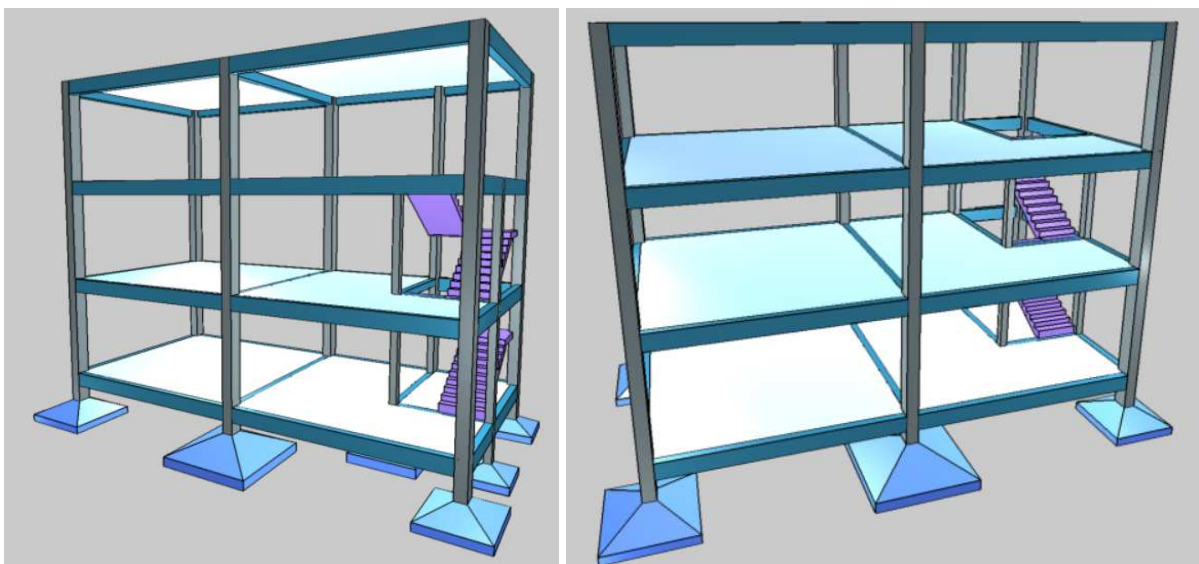
Segundo a base de consulta do Software Eberick (2024), a análise global da estrutura é feita através de um pórtico espacial composto pelas vigas e pilares da edificação. Neste processo, os elementos são representados por barras ligadas umas as outras por nós. Cada pilar e cada trecho de viga são compostos por barras do pórtico, de onde são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento. Já os painéis de lajes são calculados de forma independente do pórtico.

O cálculo da estrutura segue os itens abaixo:

- As reações das lajes são transmitidas às vigas em que se apóiam;
- O pórtico é processado e os esforços solicitantes são utilizados para o detalhamento dos elementos estruturais.
- A análise estrutural é feita pelo método matricial da rigidez direta, ou seja, são considerados os efeitos das ações na estrutura para que possam ser feitas as verificações dos estados limites últimos e de serviço.
- Os resultados da análise, basicamente, são os deslocamentos nodais, os esforços internos e as reações nos vínculos de apoio.

Ao finalizar o lançamento dos elementos estruturais, realizou-se o processamento da estrutura gerando o pórtico 3D como demonstra a Figura 20.

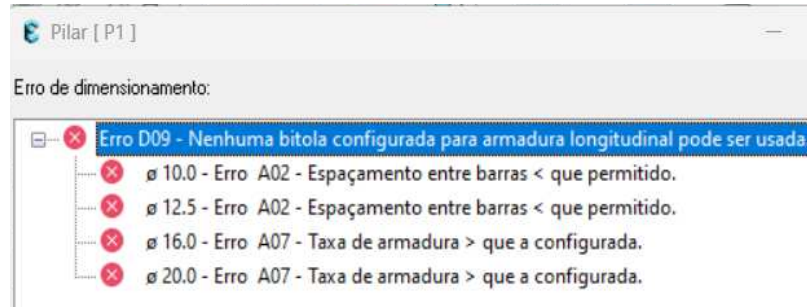
Figura 20 - Pórtico 3D gerado pelo Eberick



Fonte: Software Eberick (2024).

Pelo Eberick, na aba de especificações dos pilares, pode-se observar que as dimensões iniciais de 20 x 20 cm no Pilar 1 ocasionaram em erros de cálculo, conforme mostra a Figura 21.

Figura 21 - Erros de cálculo no pré-dimensionamento do Pilar 1



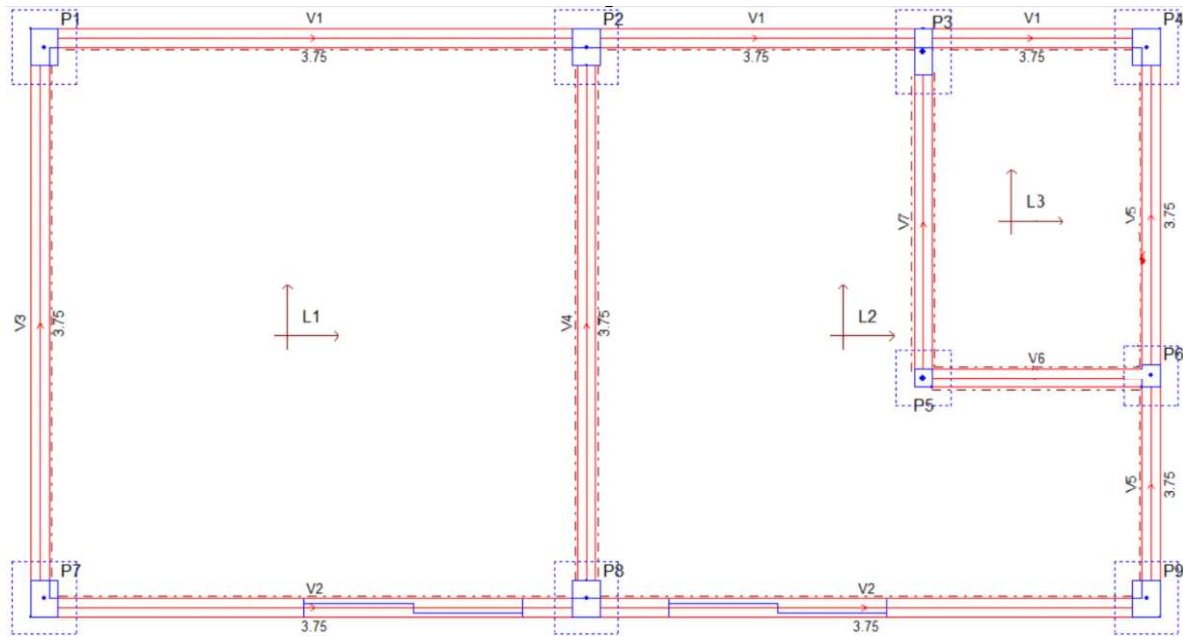
Fonte: Software Eberick (2024).

Portanto, as dimensões do pré-dimensionamento não suportam a taxa de armadura adequadamente, respeitando os espaçamentos. Com isso, realizou-se alterações das dimensões de todos os pilares a fim de dimensioná-los adequadamente, aplicando o mesmo método nos modelos A, B e C, onde as dimensões serão apresentadas a seguir.

3.2.1. Modelo A

O modelo A proposto neste trabalho apresenta os pilares orientados com o seu maior lado na direção de menor dimensão da edificação, configurações como mostra a Figura 22, no pavimento térreo.

Figura 22 - Concepção estrutural do Modelo A



Fonte: Software Eberick (2024).

O dimensionamento dos pilares resultou nas seções adotadas conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Seções dos pilares adotadas: Modelo A

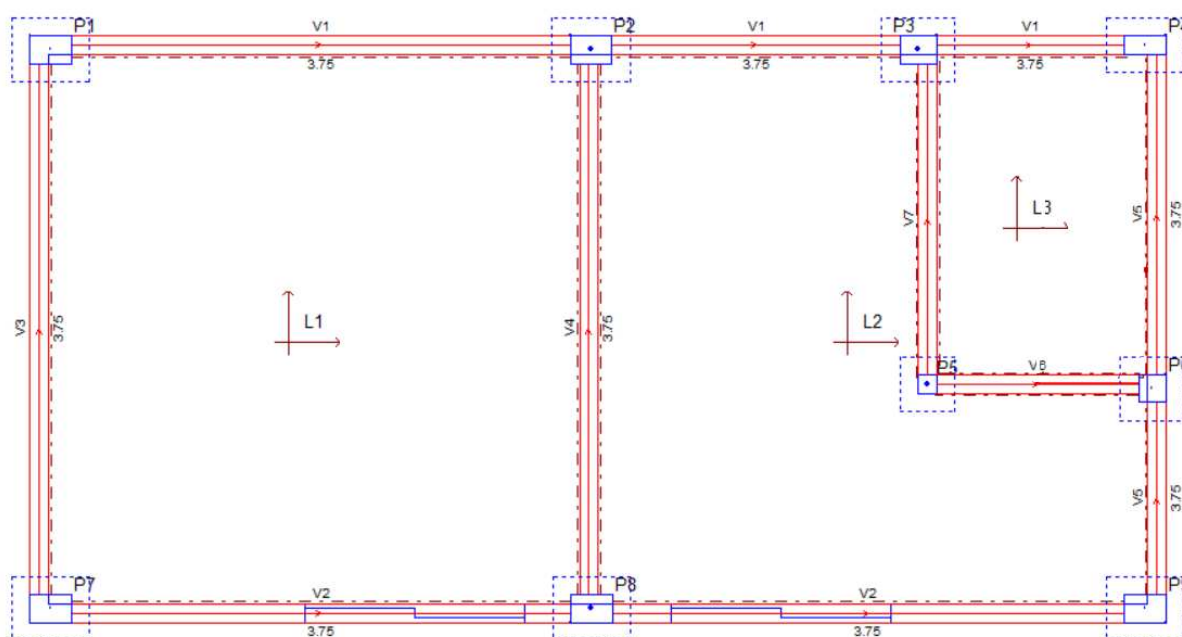
Pilares	Seção (cm)
P1	30x40
P2	30x40
P3	20x50
P4	30x40
P5	20x20
P6	20x25
P7	30x40
P8	30x40
P9	30x40

Fonte: Autora (2024).

3.2.1. Modelo B

O modelo B proposto propõe os pilares orientados com o seu maior lado na direção de maior dimensão da edificação, como demonstra a Figura 23, no pavimento térreo.

Figura 23 - Concepção estrutural do Modelo B



Fonte: Software Eberick (2024).

As seções resultantes utilizadas neste modelo são demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Seções dos pilares adotadas: Modelo B

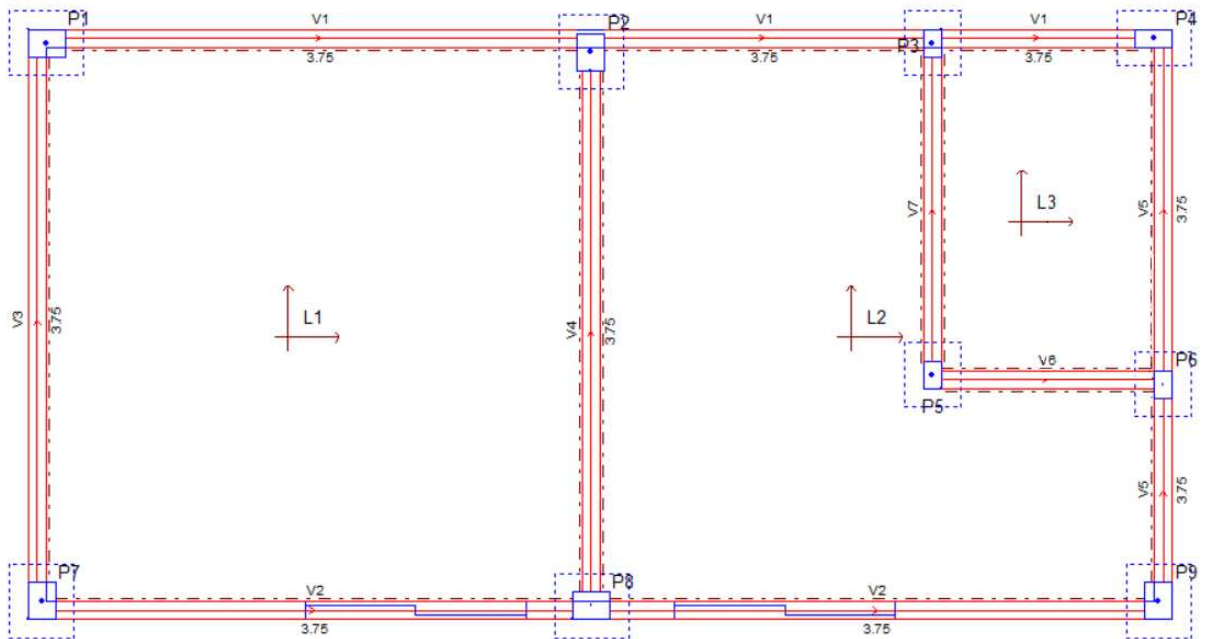
Pilares	Seção (cm)
P1	30x40
P2	30x45
P3	20x30
P4	20x45
P5	20x30
P6	20x35
P7	30x40
P8	30x45
P9	30x40

Fonte: Autora (2024).

3.2.1. Modelo C

Para o modelo C, optou-se pela direção dos pilares conforme Figura 24.

Figura 24 - Concepção estrutural do Modelo C



Fonte: Software Eberick (2024).

Neste modelo, os pilares têm direcionamentos alternados e apresentaram seções conforme Tabela 4, conforme o dimensionamento no software, pode-se observar que alguns pilares seguem o direcionamento dos modelos já apresentados, tendo alteração apenas nos pilares P5 e P6.

Tabela 4 - Seções dos pilares adotadas: Modelo C

Pilares	Seção (cm)	Modelo Referência
P1	30x40	B
P2	30x40	A
P3	20x30	B
P4	20x40	B
P5	20x30	Recalculado
P6	20x30	Recalculado
P7	30x40	A
P8	30x40	B
P9	30x40	A

Fonte: Autora (2024).

4. ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos no dimensionamento estrutural dos pilares dos modelos A, B e C. No Apêndice A encontram-se os coeficientes de ponderação das ações consideradas pelo software na análise, podendo ser aplicada a todos os modelos a seguir.

4.1. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO A

A Tabela 5 apresenta o momento de segunda ordem e momento de tombamento gerado pela estrutura. A Tabela 6 traz as combinações e efeitos por pavimento.

Tabela 5 - Combinação de ações: Modelo A

Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
24.92	306.57

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 6 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo A

Combinação: 1.4G1+1.4G2+1.4S+0.9P+1.2R+1.4Q+1.2A+1.2AS+0.72T1+0.84V1+0.73D1						
Pavimento	Altura relativa (cm)	Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN)	Deslocamento horizontal (cm)	Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
Pavimento 3	1200	892.86	7.88	0.83	7.43	94.58
Pavimento 2	900	1307.04	14.72	0.68	8.95	132.44
Pavimento 1	600	1405.00	12.56	0.45	6.35	75.35
Térreo	300	1403.25	1.40	0.16	2.20	4.21
TOTAL					24.92	306.57

Fonte: Software Eberick (2024).

As seções resultantes dos pilares no modelo A, cargas e taxa de compressão atuantes, estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo A

Térreo					
Pilares	Seção (cm)	N _{máx} (kN)	N _{perm} (kN)	Taxa de compressão (bruta)	Taxa de compressão (homogeneizada)
P1	30x40	466.28	492.32	0.19	0.17
P2	30x40	693.48	732.06	0.28	0.24
P3	20x50	300.40	332.00	0.15	0.14
P4	30x40	216.77	211.62	0.08	0.07
P5	20x20	409.58	398.85	0.47	0.29
P6	20x25	176.67	170.17	0.16	0.12
P7	30x40	464.84	491.23	0.19	0.16
P8	30x40	770.14	818.72	0.32	0.28
P9	30x40	341.18	315.64	0.12	0.11

Fonte: Software Eberick (2024).

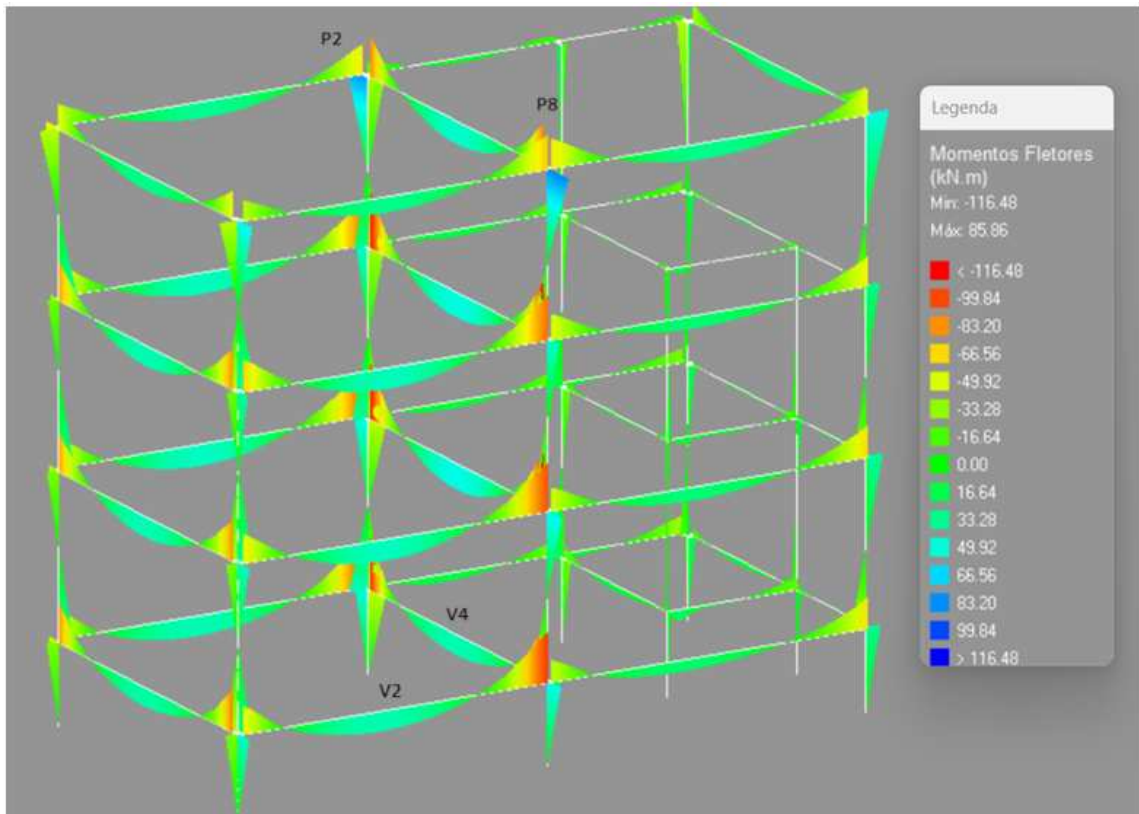
Nota-se que o pilar 8 (P8) apresenta uma carga permanente de 818,72 kN sendo o mais carregado e o pilar 6 (P6) 170,17kN, sendo o menos carregado.

A partir do dimensionamento estrutural, obteve-se os diagramas de momento fletor, força cortante, carga axial e deslocamentos pela análise de Estados Limites Últimos (ELU) apresentados a seguir.

4.1.1. Momento Fletor

No dimensionamento de vigas e lajes de concreto armado, o diagrama de momento fletor determina a quantidade de armadura longitudinal de aço necessária e está diretamente relacionado com a curvatura e a deformação de uma estrutura. O diagrama de momento fletor atuante na edificação é apresentado na Figura 25.

Figura 25 - Diagrama de momento fletor: Modelo A



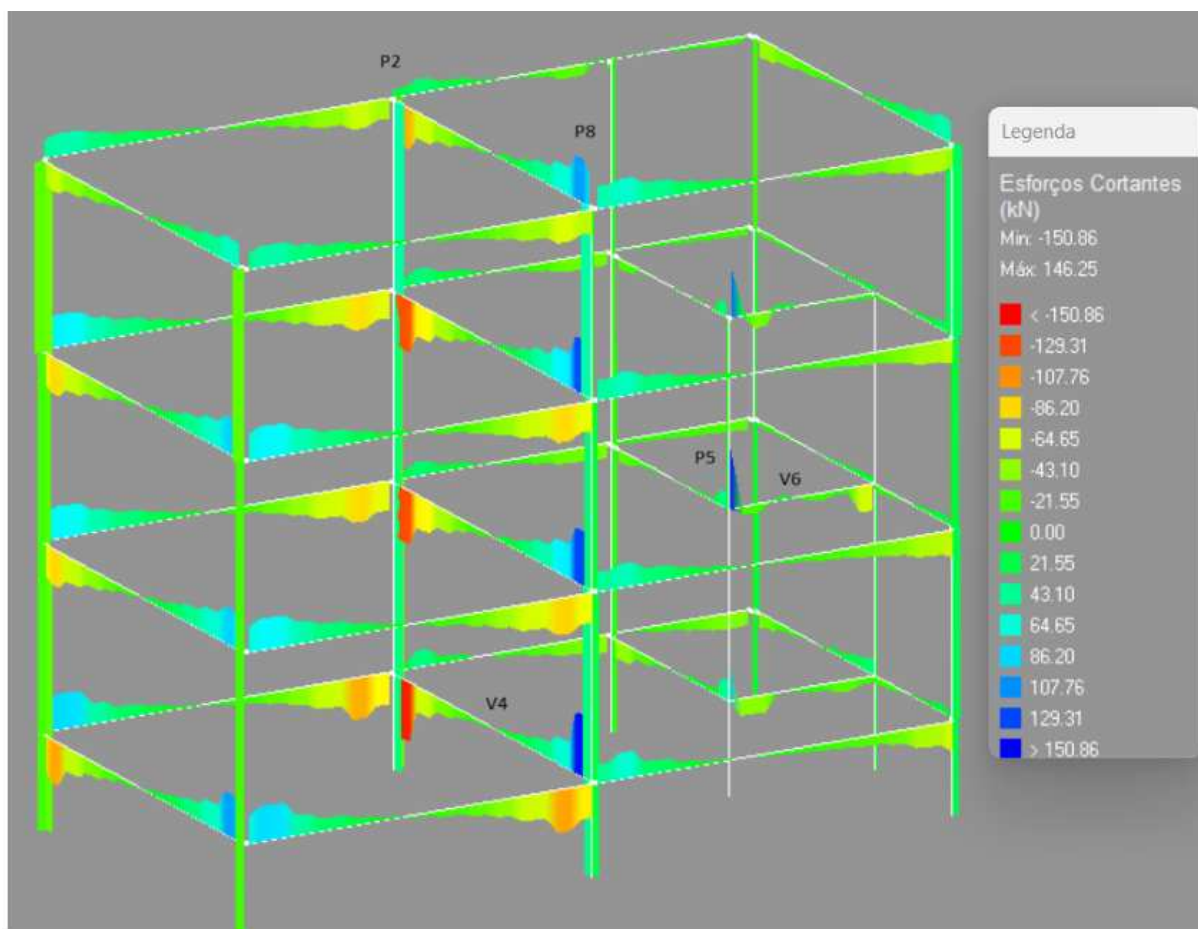
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Os momentos fletores positivos indicam que a armadura principal deve ser posicionada na parte inferior da seção, onde as vigas são tracionadas, já os momentos fletores negativos indicam a necessidade de armadura na parte superior. Verifica-se que o momento fletor mínimo de -116,48 kN.m está localizado nas vigas V4 e V2 com os pilares P2 e P8, respectivamente.

4.1.2. Força Cortante

O diagrama de cortante é uma representação gráfica que mostra a distribuição das forças de cisalhamento ao longo de um elemento estrutural. Na Figura 26 é apresentado o diagrama de forças cortante da edificação.

Figura 26 - Diagrama de esforço cortante: Modelo A



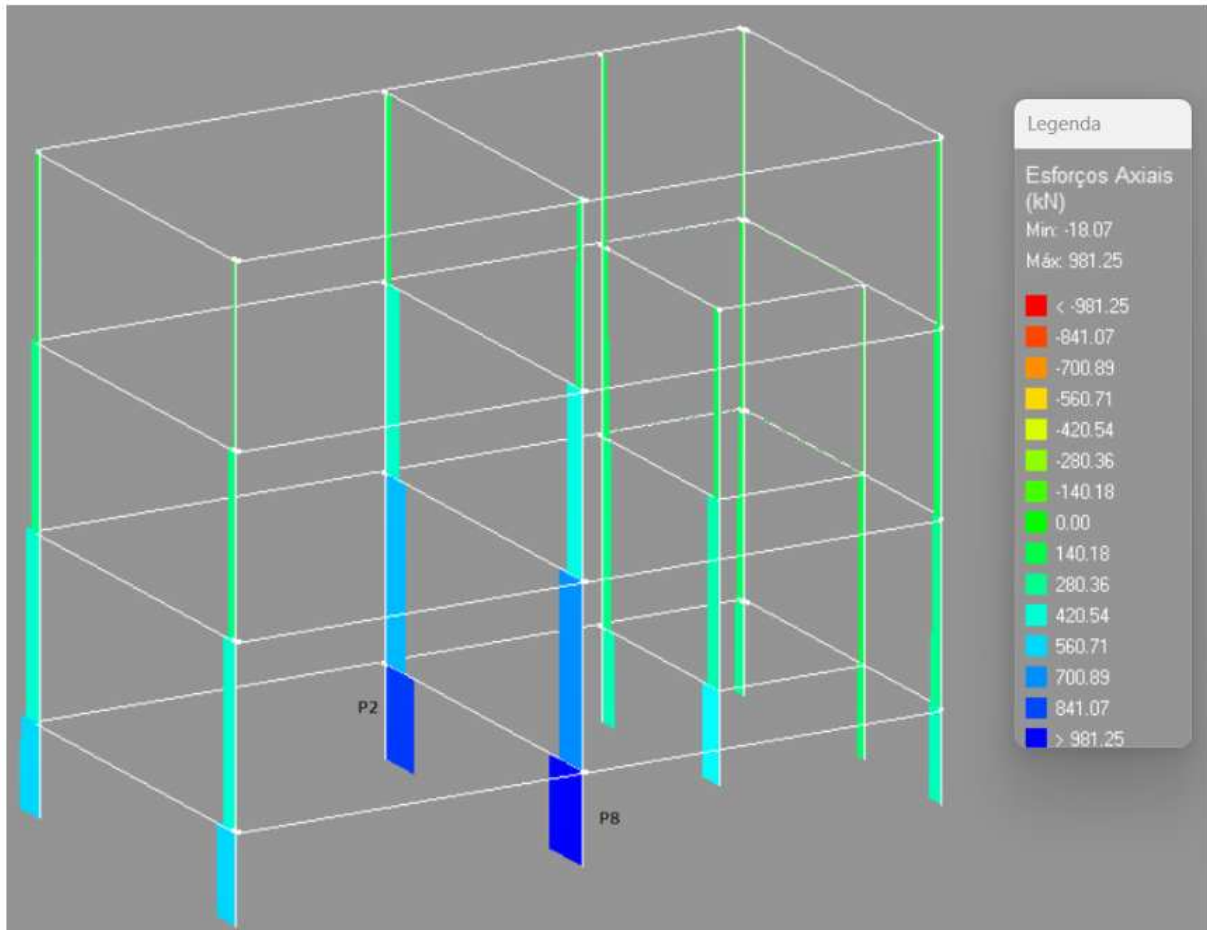
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

A força cortante é a força interna que age perpendicularmente ao eixo longitudinal da viga, resultante das cargas aplicadas especialmente nas proximidades dos apoios. Com valores máximo de 146,25 kN no encontro da viga V4 com o pilar P8, com incidência no pilar P5 com a viga V6 localizado no pavimento 2 na região da escada, já o valor cortante mínimo de -150,86 kN no encontro da viga V4 com o P2.

4.1.3. Força Axial

O diagrama de esforços axiais da edificação representa a força normal atuante ao longo do eixo da estrutura, que neste caso, é apresentado nos pilares (Figura 27).

Figura 27 - Diagrama de esforços axiais: Modelo A



Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Observa-se o aumento de esforços normais até as fundações, onde os pilares P8 e P2 tem a valores de 981,25 kN de carga axial de compressão.

4.1.4. Consumo de materiais

Outro aspecto estudado neste trabalho é o consumo dos materiais, principalmente o concreto e o aço. Na Tabela 8 é apresentado por pavimento e elemento, considerando uma taxa de 10% de perda de material que pode ocorrer em obra.

Tabela 8 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo A

Pavimento	Elemento	Peso do aço	Volume de
		+10 % (kg)	concreto (m³)
Pavimento 3	Vigas	297.8	3.2
	Pilares	252.9	2.5
	Lajes	592.7	10.6
	Total	1143.4	16.2
Pavimento 2	Vigas	412.6	3.3
	Pilares	352.2	2.7
	Lajes	603.9	9.2
	Total	1368.7	15.3
Pavimento 1	Vigas	446.6	3.4
	Pilares	363.6	2.7
	Lajes	587.9	9.2
	Total	1398.1	15.3
Térreo	Vigas	477.6	3.6
	Pilares	216.6	0.8
	Lajes	508.4	13.9
	Fundações	421.2	13.0
	Total	1623.8	31.3

Fonte: Software Eberick (2024).

Observa-se que o térreo tem o maior volume de concreto com 18,3 m³ desconsiderando o volume da fundação, sendo a laje o elemento que apresenta maior consumo, enquanto o pavimento 1 tem o maior peso de aço, com 1398,1 kg.

A Tabela 9 mostra a quantidade de aço CA-50 e CA-60 necessária por elemento.

Tabela 9 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo A

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	8.6	0.0	102.5	0.0	111.1
CA50	8.0	173.7	0.0	875.6	47.0	1096.3
CA50	10.0	405.9	0.0	900.0	191.3	1497.2
CA50	12.5	250.0	373.2	345.3	182.9	1151.3
CA50	16.0	359.9	380.6	30.2	0.0	770.8
CA50	20.0	209.7	233.2	0.0	0.0	442.9
CA60	5.0	226.9	198.2	39.3	0.0	464.4

Fonte: Software Eberick (2024).

O maior consumo de aço CA-50 é com o diâmetro de 10 mm apresentando 1497,2 kg, sendo utilizado em vigas e lajes. O resumo do consumo dos materiais neste modelo de análise encontra-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo consumo de materiais: Modelo A

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	1407.8	987	2253.6	421.2	5069,60
	CA60	226.9	198.2	39.3	0.0	464.4
	Total	1634.7	1185.2	2292.9	421.2	5534.0
Volume concreto (m³)	C-30	13.5	8.7	42.9	13.0	78.10
Consumo de aço (kg/m³)		121.2	135.5	53.5	32.4	70.9

Fonte: Software Eberick (2024).

O aço CA-50 tem grande representatividade nas lajes, assim como o consumo de concreto C-30. Mas a concentração de aço por metro cúbico (kg/m^3) é maior nos pilares quando se comparado às lajes, em decorrência das suas dimensões.

4.2. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO B

A Tabela 11 apresenta o momento de segunda ordem e de tombamento resultante, assim como a Tabela 12 apresenta os valores por pavimento e as seções resultantes dos pilares no modelo B, cargas e taxa de compressão atuantes, estão descritas na Tabela 13.

Tabela 11 - Combinação de ações: Modelo B

Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
70.96	795.57

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 12 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo B

Combinação: 1.4G1+1.4G2+1.4S+0.9P+1.2R+1.4Q+1.2A+1.2AS+0.72T1+0.84V4+0.73D4						
Pavimento	Altura relativa (cm)	Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN)	Desloc. horizontal (cm)	Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
Pavimento 3	1200	894.91	20.45	2.26	20.20	245.43
Pavimento 2	900	1299.93	38.19	1.91	24.77	343.69
Pavimento 1	600	1519.64	32.59	1.29	19.68	195.53
Térreo	300	1403.07	3.64	0.45	6.31	10.92
TOTAL					70.96	795.57

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 13 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo B

Térreo					
Pilares	Seção (cm)	Nmáx (kN)	Nperm (kN)	Taxa de compressão (bruta)	Taxa de compressão (homogeneizada)
P1	30x40	482.07	513.55	0.20	0.16
P2	30x45	715.67	764.48	0.26	0.21
P3	20x30	240.60	265.64	0.21	0.14
P4	20x45	192.54	190.41	0.10	0.08
P5	20x30	456.05	451.20	0.35	0.28
P6	20x35	265.64	257.34	0.17	0.12
P7	30x40	481.52	513.52	0.20	0.16
P8	30x45	785.92	842.96	0.29	0.24
P9	30x40	319.31	272.06	0.11	0.10

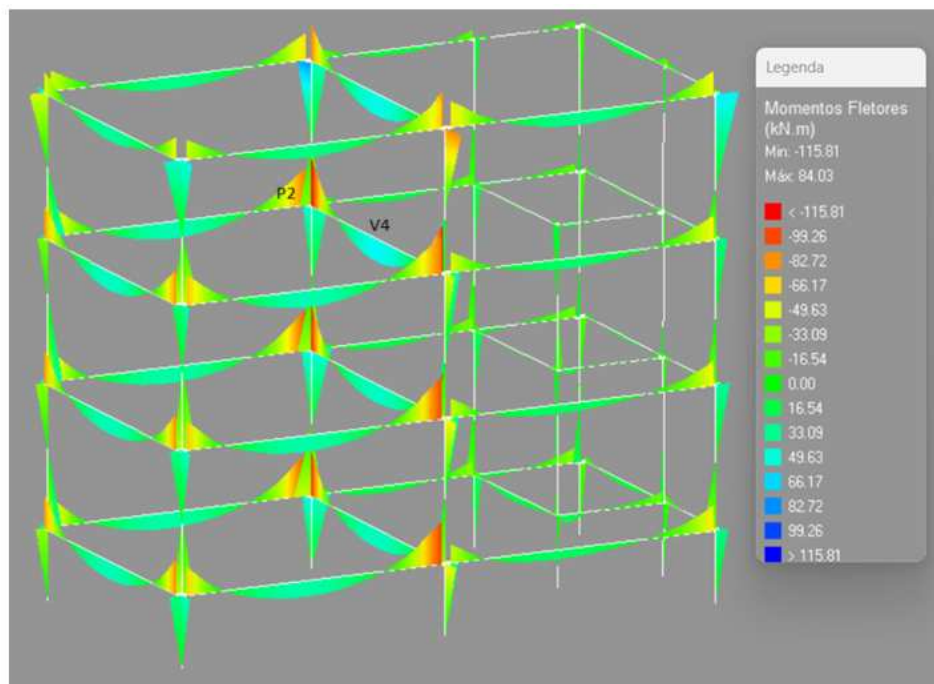
Fonte: Software Eberick (2024).

O pilar 8 (P8) apresenta uma carga permanente de 842,96 kN resultando no maior carregamento e o pilar 4 (P4) com 190,41 kN sendo o menos carregado.

4.2.1. Momento Fletor

O diagrama de momento fletor atuante no modelo B gerado pelo Eberick é apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Diagrama de momento fletor: Modelo B



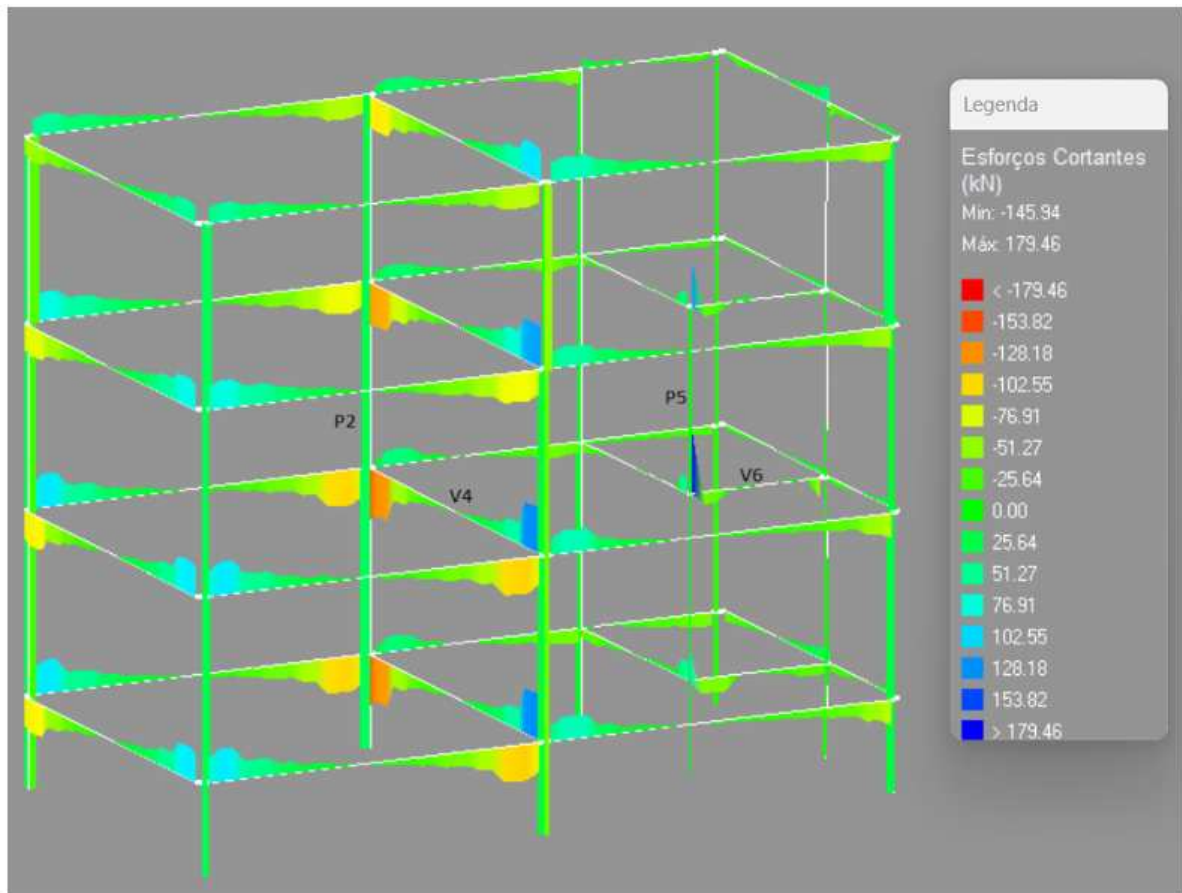
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Com momento fletor mínimo de -115,81 kN.m no encontro da viga V4 com o P2.

4.2.2. Força Cortante

O diagrama dos esforços cortantes atuantes na edificação é apresentado na Figura 29.

Figura 29 - Diagrama de esforço cortante: Modelo B



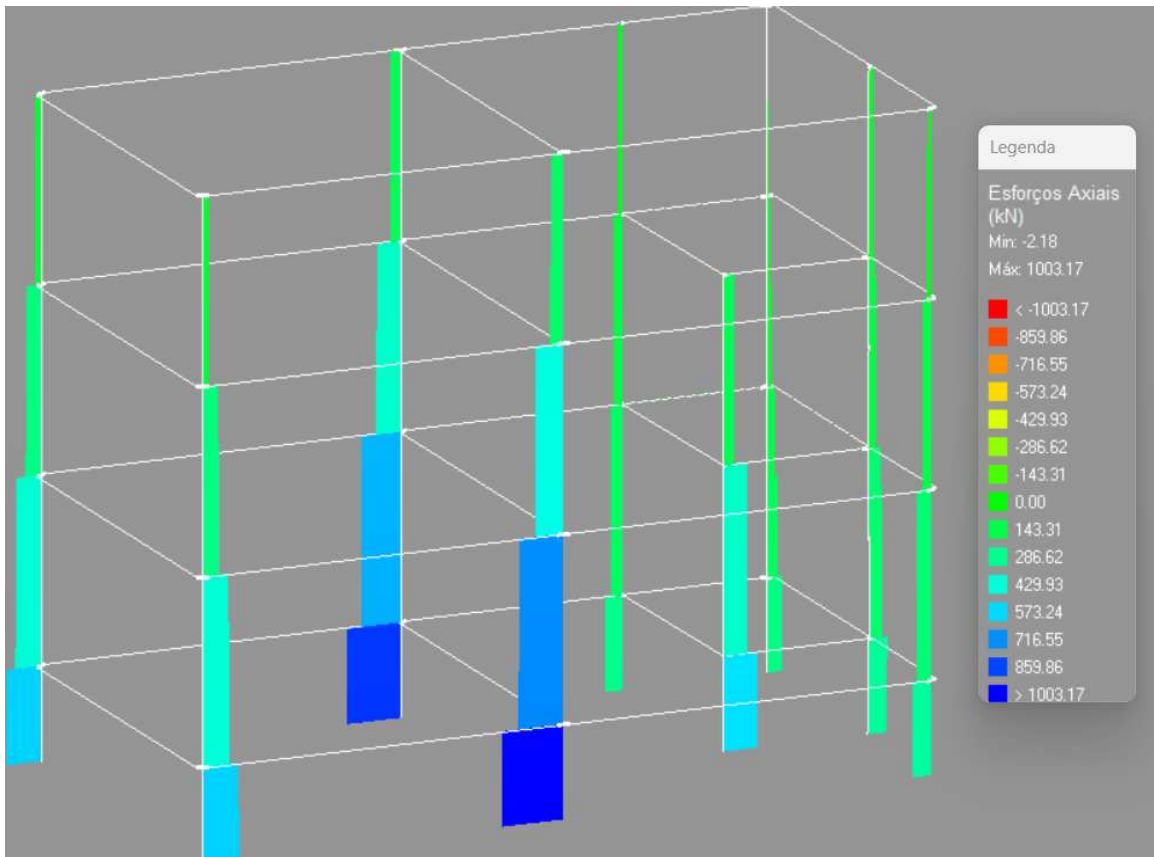
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Com valores máximo de 179,46 kN no encontro da viga V6 com o pilar P5. Já o valor de cortante mínimo é de -145,94 kN no encontro da viga V4 com o P2.

4.2.3. Força Axial

O diagrama de esforços axiais da edificação é apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Diagrama de esforços axiais: Modelo B



Fonte: Software Eberick (2024).

Observa-se o aumento de esforços em direção às fundações, onde o P8 e P2 chegam a valores em torno de 1.003,17 kN de carga axial de compressão.

4.2.4. Consumo de materiais

O consumo dos materiais como o concreto e aço por pavimento e elemento, podem ser consultados na Tabela 14, assim como o consumo de Aço CA-50 e CA-60 por elemento na Tabela 15, e ainda, um resumo dos materiais na Tabela 16.

Tabela 14 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo B

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)
Pavimento 3	Vigas	250,6	3,1
	Pilares	570,1	2,9
	Lajes	500,2	10,6
	Total	1.320,9	16,6
Pavimento 2	Vigas	393,1	3,3
	Pilares	575,5	3,0
	Lajes	636,7	9,2
	Total	1.605,3	15,5
Pavimento 1	Vigas	435,2	3,3
	Pilares	581,4	3,0
	Lajes	564,8	12,3
	Total	1.581,4	18,6
Térreo	Vigas	493,6	3,6
	Pilares	352,3	0,9
	Lajes	565,3	13,9
	Fundações	481,8	14,7
	Total	1.893,0	33,1

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 15 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo B

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6,3	3,3	12,0	157,3	0,0	172,6
CA50	8,0	298,6	0,0	606,9	29,4	934,9
CA50	10,0	138,5	157,3	628,8	126,2	1.050,8
CA50	12,5	450,0	182,7	698,9	326,2	1.657,8
CA50	16,0	361,2	0,0	59,7	0,0	420,9
CA50	20,0	88,9	1.365,1	0,0	0,0	1.454,0
CA60	5,0	232,0	246,9	115,5	0,0	594,4

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 16 - Resumo do consumo de materiais: Modelo B

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	1.340,4	1.717,2	2.151,6	481,8	5.691,0
	CA60	232,0	246,9	115,5	0,0	594,4
	Total	1.572,4	1.964,1	2.267,1	481,8	6.285,4
Volume concreto (m³)	C-30	13,3	9,9	45,9	14,7	83,8
Área de forma (m²)		133,5	118,1	262,3	17,8	531,7
Consumo de aço (kg/m³)		118,5	198,5	49,4	32,9	75,0

Fonte: Software Eberick (2024).

Neste modelo, o pavimento 1 teve o consumo do volume de concreto de 18,6 m³, sendo que no dimensionamento estrutural a laje precisou ser alterada de 15 cm para 20 cm. O maior consumo de aço CA-50 está associado ao diâmetro de 12,5 mm apresentando 1657,8 kg, sendo utilizado em vigas, pilares e lajes. O aço CA-50 tem grande representatividade nas lajes, assim como o consumo de concreto C-30.

4.3. ANÁLISE DOS DADOS - MODELO C

A Tabela 17 apresenta o momento de segunda ordem e de tombamento resultante, assim como a Tabela 18 apresenta os valores por pavimento e as seções resultantes dos pilares no modelo C, cargas e taxa de compressão atuantes, estão descritas na Tabela 19.

Tabela 17 - Combinação de ações: Modelo C

Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
25.74	306.57

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 18 - Resumo das cargas, deslocamento e momentos: Modelo C

Combinação: 1.4G1+1.4G2+1.4S+0.9P+1.2R+1.4Q+1.2A+1.2AS+0.72T1+0.84V1+0.73D1						
Pavimento	Altura relativa (cm)	Carga vertical (kN)	Carga horizontal (kN)	Deslocamento horizontal (cm)	Momento 2a. ordem (kN.m)	Momento tombamento (kN.m)
Pavimento 3	1200	885.14	7.88	0.89	7.84	94.58
Pavimento 2	900	1304.58	14.72	0.71	9.24	132.44
Pavimento 1	600	1403.92	12.56	0.46	6.45	75.35
Térreo	300	1401.14	1.40	0.16	2.21	4.21
TOTAL					25,74	306,57

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 19 - Seções e Cargas nos Pilares: Modelo C

Térreo					
Pilares	Seção (cm)	N _{máx} (kN)	N _{perm} (kN)	Taxa de compressão (bruta)	Taxa de compressão (homogeneizada)
P1	30x40	466.73	493.93	0.19	0.15
P2	30x40	707.85	750.66	0.29	0.23

Continuação Tabela 19.

Pilares	Seção (cm)	Nmáx (kN)	Nperm (kN)	Taxa de compressão (bruta)	Taxa de compressão (homogeneizada)
P3	20x30	260.40	281.40	0.22	0.17
P4	20x40	198.08	200.50	0.12	0.10
P5	20x30	433.86	422.03	0.33	0.28
P6	20x30	212.07	182.96	0.14	0.10
P7	30x40	464.44	492.43	0.19	0.15
P8	30x40	756.80	806.27	0.31	0.25
P9	30x40	359.84	318.25	0.12	0.10

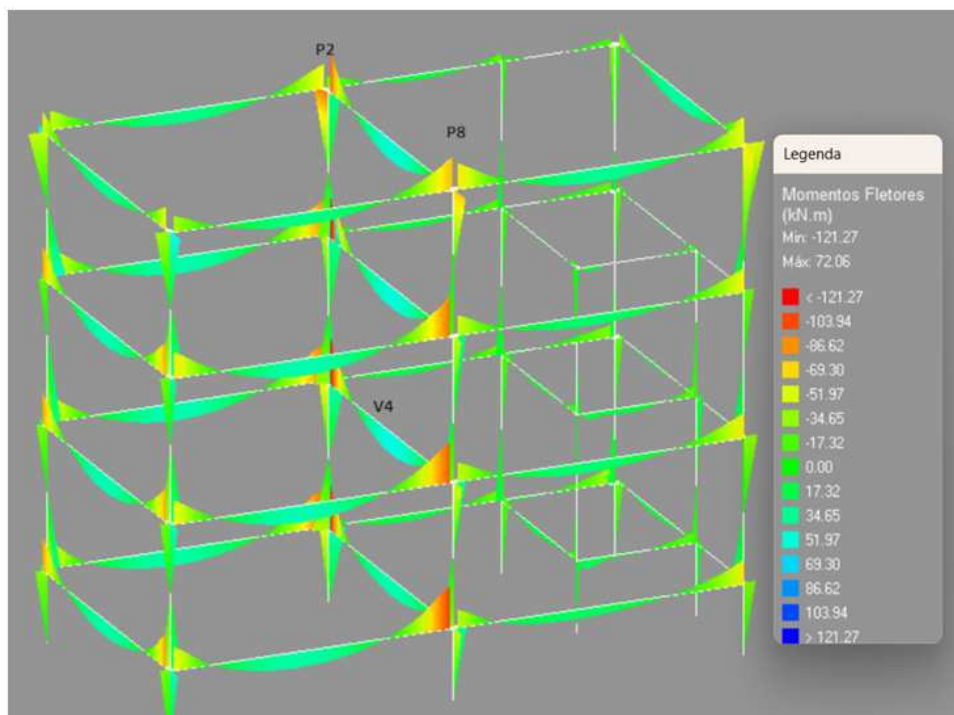
Fonte: Software Eberick (2024).

Nota-se que o pilar 8 (P8) apresenta uma carga permanente de 806,27kN resultando no maior carregamento e o pilar 6 (P6) com 182,96 kN sendo o menos carregado.

4.3.1. Momento Fletor

O diagrama de momento fletor atuante no modelo C gerado pelo Eberick é apresentado na Figura 31.

Figura 31 - Diagrama de momento fletor: Modelo C



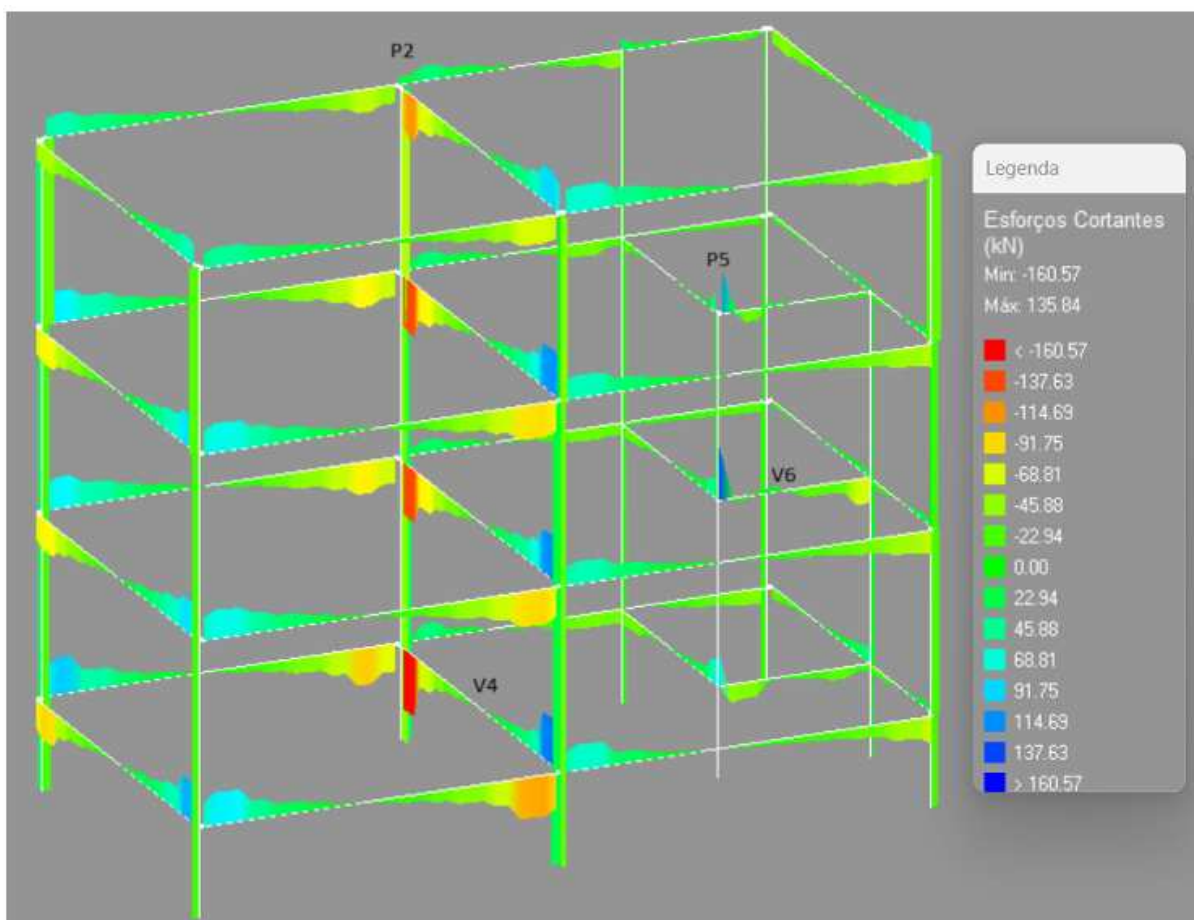
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Apresentando momento fletor mínimo de -121,27 kN.m no encontro das vigas V4 e V2 com os pilares P2 e P8, respectivamente.

4.3.2. Força Cortante

O diagrama de esforço cortante atuante na edificação é apresentado na Figura 32.

Figura 32 - Diagrama de esforço cortante: Modelo C



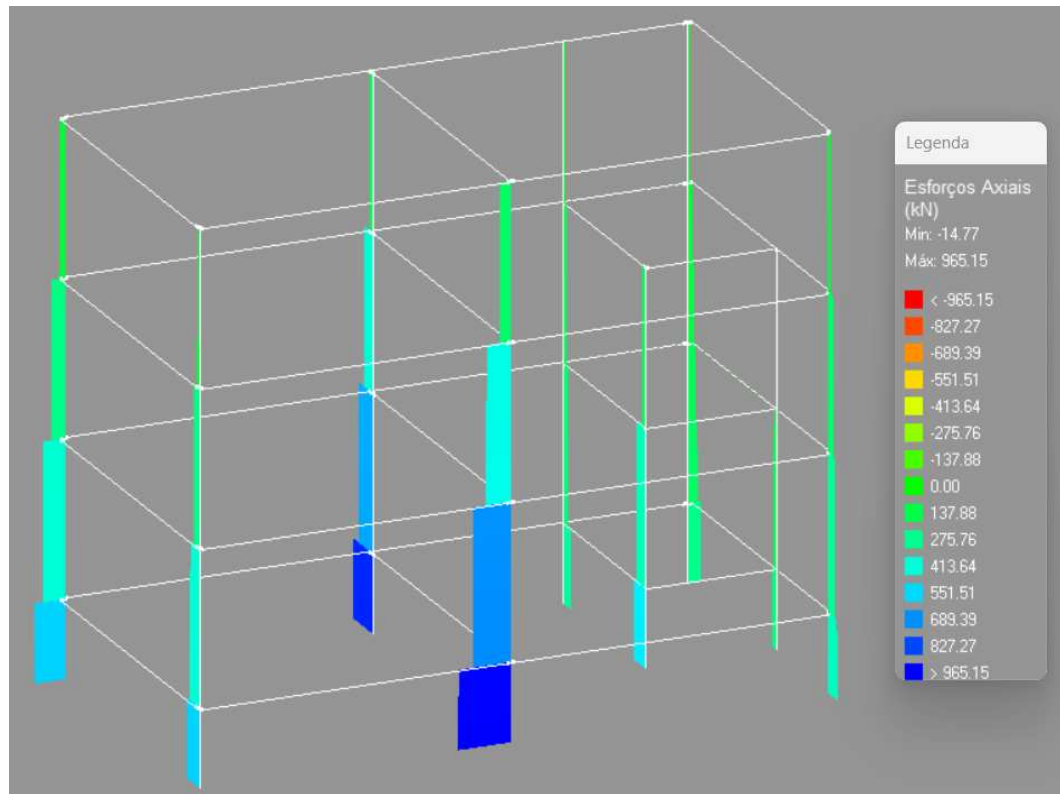
Fonte: Adaptado do Software Eberick (2024).

Com valores máximo de 135,84 kN no encontro da viga V6 com o pilar P5. Já o valor de cortante mínimo é de -160,57 kN no encontro da viga V4 com o P2, esse valor aumenta nos pavimentos próximos ao térreo.

4.3.3. Força Axial

O diagrama de esforços axiais da edificação é apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Diagrama de esforços axiais: Modelo C



Fonte: Software Eberick (2024).

Observa-se o aumento de esforços até as fundações, onde o P8 e P2 chegam a valores em torno de 965,15 kN de carga axial à compressão.

4.3.4. Consumo de materiais

O consumo dos materiais como o concreto e aço por pavimento e elemento, podem ser consultados na Tabela 20, assim como o consumo de Aço CA-50 e CA-60 por elemento na Tabela 21, e ainda, um resumo dos materiais na Tabela 22.

Tabela 20 - Resumo dos materiais por elemento e pavimento: Modelo C

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)
Pavimento 3	Vigas	283,4	3,2
	Pilares	368,4	2,2
	Lajes	520,4	10,6
	Total	1.172,2	16,0
Pavimento 2	Vigas	421,9	3,4
	Pilares	487,3	2,6
	Lajes	556,1	9,2
	Total	1.465,3	15,2
Pavimento 1	Vigas	456,5	3,5
	Pilares	496,7	2,6
	Lajes	528,0	9,2
	Total	1.481,2	15,3
Térreo	Vigas	480,1	3,6
	Pilares	300,1	0,7
	Lajes	532,2	13,9
	Fundações	477,6	14,5
	Total	1.790,0	32,7

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 21 - Consumo de bitola de aço por elemento: Modelo C

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6,3	11,6	0,0	118,8	0,0	130,4
CA50	8,0	258,8	0,0	680,3	14,9	954,0
CA50	10,0	209,1	157,3	1.251,3	129,4	1.747,1
CA50	12,5	430,4	35,8	15,3	333,3	814,8
CA50	16,0	322,7	126,9	41,0	0,0	490,6
CA50	20,0	180,3	1.120,5	0,0	0,0	1.300,8
CA60	5,0	229,0	212,0	29,8	0,0	470,8

Fonte: Software Eberick (2024).

Tabela 22 - Resumo do consumo de materiais: Modelo C

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	1412.9	1440.5	2106.8	477.6	5437.8
	CA60	229.0	212.0	29.8	0.0	470.8
	Total	1641.9	1652.5	2136.6	477.6	5908.6
Volume concreto (m³)	C-30	13.7	8.1	42.8	14.5	79.2

Fonte: Software Eberick (2024).

O térreo tem o maior volume de concreto com 18,2 m³ desconsiderando o volume da fundação, sendo a laje o elemento que apresenta maior consumo, com 42,8 m³. O maior consumo de aço CA-50 é com o diâmetro de 10 mm apresentando 1747,10 kg, sendo utilizado em vigas, pilares e lajes. O aço CA-50 tem grande representatividade nas lajes, assim como o consumo de concreto C-30.

4.4. COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Neste tópico serão apresentadas as diferenças entre os modelos estudados, na Tabela 23 estão resumidos os resultados apresentados anteriormente.

Tabela 23 - Comparação dos momentos e carregamentos

Modelo	Momento 2º Ordem (kN.m)	Momento Tombamento (kN.m)	Pilar mais carregado	Carga (kN)	Pilar menos carregado	Carga (kN)
A	24,92	306,57	P8	818,72	P6	170,17
B	70,96	795,57	P8	842,96	P4	190,41
C	25,74	306,57	P8	806,27	P6	182,96

Fonte: Autora (2024).

O dimensionamento estrutural do modelo B resultou nos maiores valores de Momento de Segunda Ordem e de tombamento, sendo que o Pilar P8 é o mais carregado em todos os modelos. A Tabela 24 fornece uma comparação dos momentos fletores e cortantes máximos e mínimos, além da força axial para os três modelos (A, B e C).

Tabela 24 - Comparação dos momentos e força axial

Modelo	Mom. Fletor min (kN.m)	Cortante máx (kN)	Mom. Cortante min (kN)	Força Axial (kN)
A	-116,48	146,25	-150,86	981,25
B	-115,81	179,46	-145,94	1003,17
C	-121,27	135,84	-160,57	965,15

Fonte: Autora (2024).

O modelo B apresenta a maior força cortante máxima e força axial. Já o modelo C apresenta o maior valor de momento fletor mínimo e força cortante mínima. A Tabela 25 compara o consumo de insumos dos modelos.

Tabela 25 - Comparação consumo de materiais

Modelo	Aço CA-50 (kg)	Aço CA-60 (kg)	Concreto C-30 (m³)
A	5267,8	464,4	78
B	5691	594,4	83,8
C	5437,8	470,8	79,2

Fonte: Autora (2024).

O modelo B apresenta os maiores valores em todas as categorias, já o modelo A apresenta ser o mais econômico em termos de consumo de materiais construtivos, com uma redução de 423,2 kg de aço CA-50 quando comparado ao modelo B.

As armaduras utilizadas em cada modelo podem ser consultadas nos Apêndices B, C e D ao final deste trabalho.

5. CONCLUSÃO

A concepção estrutural influencia diretamente cada parâmetro de projeto, tanto nos esforços quanto no consumo de materiais, sendo possível analisar alterações nos três modelos propostos com base nas alterações dos elementos estruturais de acordo com os esforços impostos na edificação.

Pode-se observar neste trabalho que os pilares P2 e P8 são os mais carregados nos três modelos, pela sua localização entre as duas lajes, recebendo carregamento das lajes L1 e L2 simultaneamente, assim como as vigas V1, V2 e V4 que se apoiam nos pilares, chegando a valores de força axial próximos à 1003,17 kN no modelo B.

O modelo B apresenta os maiores esforços e solicitações na estrutura, resultando no maior consumo de concreto e aço, já o modelo C apresenta os menores esforços e solicitações, porém, quando analisado o consumo de aço e concreto ficam acima do Modelo A.

Da forma analisada, o modelo A apresenta o menor consumo de materiais construtivos, com uma redução de 423,2 kg de aço CA-50 e 130,4 kg de CA-60, sendo que apresenta a redução de 5,9 m³ de concreto quando comparado ao modelo B.

A distribuição dos carregamentos e, conseqüentemente, o dimensionamento dos elementos estão associados à concepção estrutural adotada, e pode ser modificada conforme analisado neste trabalho, o Modelo A apresentou o melhor desempenho quanto aos esforços e consumo de material, resultando em um projeto eficiente e econômico.

Com isso, identifica-se a importância de ferramentas computacionais, como o Software Eberick para a análise do melhor direcionamento dos pilares na estrutura, que resultem em menor consumo de materiais garantindo a estabilidade e segurança da estrutura, levando em consideração a análise crítica e conhecimento dos engenheiros projetistas responsáveis pelo projeto.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a continuidade dos estudos considerando:

- Verificar os deslocamentos dos pilares;
- Avaliar se a quantidade de pilares influencia os resultados de consumo de aço e concreto, relacionado ao direcionamento dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F.C. **Análise e detalhamento de estrutura em concreto armado**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.
- ALTOQI. Altoqi, 2024. **Eberick**. Disponível em: altoqi.com.br/eberick. Acesso em: 28 maio, 2024.
- ALVA, G. M. S. **Sobre o projeto de edifícios em estruturas mistas aço-concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019**. Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2022**. Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480:2024**. Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681:2003**. Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.
- BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. 2023. Apostila (Disciplina Estruturas de Concreto I) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, 2023.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: Segundo a NBR 6118:2014. 4. ed., São Paulo: Editora da Universidade Federal de São Carlos. 2014.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. 2. ed., São Paulo: Editora PINI Ltda. 2013.
- DEICHMANN, A. **Projeto estrutural em concreto armado de uma residência unifamiliar de dois pavimentos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DEUSCHLE, E. **Estudo de confiabilidade de pilares de concreto armado dimensionados com redistribuição dos esforços**. 2019. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

FONSÊCA, M. S. D. A. B.; SOUZA, E. L. S; MEIRA, G. R. Análise da influência das reações entre o aço galvanizado e o concreto fresco na tensão de aderência do concreto armado. **Revista Matéria**, v. 28, n. 3, e20230171, 2019.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto** – Solicitações normais. Rio de Janeiro: Livros Teóricos e Científicos Editora S. A. 1981.

FUSCO, P. B. **Fundamentos do projeto estrutural**. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, v. 1, 1977.

GIONGO, J. S. **Concreto armado**: Projeto estrutural de edifícios. Universidade de São Paulo: EESC-USP, 2005.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto**: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, 1978. 3v.

LIMA, C. I. V. *et al.* Concreto e suas inovações. **Cadernos de Graduação**: Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v. 1, n. 1, p. 31-40, maio 2014.

MAZETTO, G. S. **Estudo da flexo-compressão normal para pilares em concretos de alto desempenho**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

NAHUM, K. A. R.; OLIVEIRA, D. R. C. Monitoramento de pilares em edifícios altos de concreto armado. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 3, n. 2, p. 179-194, jun. 2010.

PALOSCHI, L. **Análise estrutural e desenvolvimento de programa para dimensionamento de pilares de concreto armado**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

PEREIRA, S. A. S. P *et al.* Influência da direção de lançamento de pilares na análise estrutural em concreto armado. **Revista Tecnica**, v. 7, n. 1, 19 p., 2022.

PEREIRA FILHO, J. T. **Influência da concepção estrutural na estabilidade global de edifícios em concreto armado**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

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

SANTOS, G. S. *et. al.* Sistema de reforço à punção de lajes lisas de concreto armado com polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC). **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, v. 7, n. 4, p. 592-625, ago. 2014.

SANTOS, J. S. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios: concreto armado e protendido**. São Paulo. Oficina de Textos, 2017.

SANTOS, M. L. S.; MOTA, K. R. R. **Estudo comparativo da influência da direção de maior inércia de pilares em edifício de três pavimentos com o auxílio de ferramentas computacionais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil) - Centro Universitário Mário Palmério, Uberaba, 2019.

SCADELAI, M. A. **Dimensionamento de pilares de acordo com a NBR 6118:2003**. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia de Estruturas. Universidade de São Carlos, 2004.

APÊNDICES

APÊNDICE A - COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES

Ação	Coeficientes de ponderação						Fatores de combinação		
	Normais (desfavorável)	Normais (favorável)	Excepcionais (desfavorável)	Excepcionais (favorável)	Construção	Incêndio	Psi0	Psi1	Psi2
Peso próprio (G1)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.30	1.20	-	-	-
Adicional (G2)	1.40	1.00	1.30	1.00	1.40	1.20	-	-	-
Solo (S)	1.40	1.00	1.20	1.00	1.30	1.20	-	-	-
Protensão (P)	1.20	0.90	1.20	0.90	1.20	1.20	-	-	-
Retração (R)	1.20	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	-	-	-
Acidental (Q)	1.40	-	1.00	-	1.20	1.00	0.70	0.60	0.40
Água (A)	1.20	-	1.00	-	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Subpressão (AS)	1.20	-	1.00	-	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
Temperatura 1 (T1)	1.20	-	0.00	-	1.20	0.00	0.60	0.50	0.30
Temperatura 2 (T2)	1.20	-	0.00	-	1.20	0.00	0.60	0.50	0.30
Vento X+ (V1)	1.40	-	0.00	-	0.00	0.00	0.60	0.30	0.00
Vento X- (V2)	1.40	-	0.00	-	0.00	0.00	0.60	0.30	0.00
Vento Y+ (V3)	1.40	-	0.00	-	0.00	0.00	0.60	0.30	0.00
Vento Y- (V4)	1.40	-	0.00	-	0.00	0.00	0.60	0.30	0.00
Desaprumo X+ (D1)	1.40	1.00	1.20	1.00	0.00	1.20	-	-	-
Desaprumo X- (D2)	1.40	1.00	1.20	1.00	0.00	1.20	-	-	-
Desaprumo Y+ (D3)	1.40	1.00	1.20	1.00	0.00	1.20	-	-	-
Desaprumo Y- (D4)	1.40	1.00	1.20	1.00	0.00	1.20	-	-	-

Fonte: Software Eberick (2024).

APÊNDICE B - RESULTADO DOS PILARES MODELO A

Dados				Resultados					
Pilar	Seção (cm)	Nível Altura (m)	leb vínc leh vínc (m)	Nd máx Nd mín (kN)	MBd topo MBd base (kN.m)	MHd topo MHd base (kN.m)	As b Armaduras As h	Estribo Topo Base	Esb b Esb h
P1 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	652.79	46.18	78.77	4.02 2 ø	ø 5.0 c/11	17.30
				343.51	0.00	0.00	16.0		
P2 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	970.87	45.74	82.58	6.28 2 ø	ø 5.0 c/11	17.30
				515.39	0.00	0.00	20.0		
P3 1:20	20.00 X 50.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	420.56	22.86	45.92	2.45 2 ø	ø 5.0 c/15	25.95
				229.38	0.00	0.00	12.5		
P4 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	303.47	19.86	32.58	4.91 4 ø	ø 5.0 c/11	17.30
				95.69	0.00	0.00	12.5		
P5 1:20	20.00 X 20.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	573.41	7.89	25.29	6.28 2 ø	ø 5.0 c/16	25.95
				280.67	0.00	0.00	20.0		
P6 1:20	20.00 X 25.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	247.34	10.13	42.28	4.91 4 ø	ø 5.0 c/15	25.95
				89.14	0.00	0.00	12.5		
							2.45 2 ø	ø 5.0 c/15	20.76

P7 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	650.77 342.94	47.94 0.00	79.32 0.00	4.02 2 ø 16.0 6.03 3 ø 16.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97
P8 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	1078.19 577.19	31.96 0.00	83.85 0.00	6.14 5 ø 12.5 2.45 2 ø 12.5	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97
P9 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	477.66 141.51	32.86 0.00	39.95 0.00	4.02 2 ø 16.0 6.03 3 ø 16.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97

Fonte: Software Eberick (2024).

APÊNDICE C - RESULTADO DOS PILARES MODELO B

Dados				Resultados					
Pilar	Seção (cm)	Nível Altura (m)	leb vínc leh vínc (m)	Nd máx Nd mín (kN)	MBd topo MBd base (kN.m)	MHd topo MHd base (kN.m)	As b Armaduras As h	Estribo Topo Base	Esb b Esb h
P1 1:20	30.00	0.00	1.50	674.90	76.54	48.34	6.28 2 ø	ø 5.0	17.30
	X	1.50	RR	358.72	0.00	0.00	20.0	c/11	
	40.00		1.50 RR				9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11	
P2 1:20	30.00	0.00	1.50	1001.94	86.14	49.33	6.28 2 ø	ø 5.0	17.30
	X	1.50	RR	538.12	0.00	0.00	20.0	c/11	
	45.00		1.50 RR				12.57 4 ø 20.0	ø 5.0 c/11	
P3 1:20	20.00	0.00	1.50	336.84	32.44	21.61	6.28 2 ø	ø 5.0	25.95
	X	1.50	RR	183.50	0.00	0.00	20.0	c/16	
	30.00		1.50 RR				9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/16	
P4 1:20	20.00	0.00	1.50	269.55	31.67	17.95	1.57 2 ø	ø 5.0	25.95
	X	1.50	RR	96.92	0.00	0.00	10.0	c/12	
	45.00		1.50 RR				7.85 10 ø 10.0	ø 5.0 c/12	
P5 1:20	20.00	0.00	1.50	638.48	29.30	7.35	2.45 2 ø	ø 5.0	25.95
	X	1.50	RR	318.42	0.00	0.00	12.5	c/15	
	30.00		1.50 RR				4.91 4 ø 12.5	ø 5.0 c/15	
P6 1:20	20.00	0.00	1.50	371.90	45.31	12.93	6.28 2 ø	ø 5.0	25.95
	X	1.50	RR	130.09	0.00	0.00	20.0	c/16	
	35.00		1.50 RR				9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/16	

P7 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	674.12 358.98	76.75 0.00	50.47 0.00	6.28 2 ø 20.0 9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97
P8 1:20	30.00 X 45.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	1100.29 593.81	85.93 0.00	34.27 0.00	6.28 2 ø 20.0 9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 11.53
P9 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	447.04 83.62	47.22 0.00	33.25 0.00	2.45 2 ø 12.5 3.68 3 ø 12.5	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97

Fonte: Software Eberick (2024).

APÊNDICE D - RESULTADO DOS PILARES MODELO C

Dados				Resultados					
Pilar	Seção (cm)	Nível Altura (m)	leb (vinc) leh (vinc) (m)	Nd máx Nd mín (kN)	MBd topo MBd base (kN.m)	MHd topo MHd base (kN.m)	As b Armaduras As h	Estribo Topo Base	Esb b Esb h
P1 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	653.42 344.84	74.06 0.00	50.85 0.00	6.28 2 ø 20.0 9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11	17.30 12.97
	P2 1:20	30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	990.99 529.05	43.81 0.00	86.21 0.00	6.28 2 ø 20.0 9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11
P3 1:20		20.00 X 30.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	364.56 194.82	17.72 0.00	36.18 0.00	4.02 2 ø 16.0 6.03 3 ø 16.0	ø 5.0 c/16 ø 5.0 c/16
	P4 1:20	20.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	277.31 105.13	22.66 0.00	21.91 0.00	1.57 2 ø 10.0 7.85 10 ø 10.0	ø 5.0 c/12 ø 5.0 c/12
P5 1:20		20.00 X 30.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	607.41 295.62	9.51 0.00	39.22 0.00	2.45 2 ø 12.5 2.45 2 ø 12.5	ø 5.0 c/15 ø 5.0 c/15
	P6 1:20	20.00 X 30.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	296.89 62.69	10.56 0.00	52.64 0.00	6.28 2 ø 20.0 6.28 2 ø 20.0	ø 5.0 c/16 ø 5.0 c/16
P7 1:20		30.00 X 40.00	0.00 1.50	1.50 RR 1.50 RR	650.22 344.05	46.80 0.00	81.21 0.00	6.28 2 ø 20.0 9.42 3 ø 20.0	ø 5.0 c/11 ø 5.0 c/11

P8 1:20	30.00	0.00	1.50	1059.52	72.81	36.31	6.28	2 \emptyset	\emptyset 5.0	17.30
	X 40.00	1.50	RR	568.42	0.00	0.00	20.0		c/11	12.97
P9 1:20	30.00	0.00	1.50	503.77	32.13	41.79	6.28	2 \emptyset	\emptyset 5.0	17.30
	X 40.00	1.50	RR	121.58	0.00	0.00	20.0		c/11	12.97
			1.50				9.42	3 \emptyset	\emptyset 5.0	
			RR				20.0		c/11	

Fonte: Software Eberick (2024).