



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

JULIA MELO DE PÁDUA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO:
APLICAÇÃO DO TQS E COMPARAÇÃO COM MÉTODOS
ANALÍTICOS**

Ilha Solteira - SP

2026

JULIA MELO DE PÁDUA

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO: APLICAÇÃO
DO TQS E COMPARAÇÃO COM MÉTODOS ANALÍTICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Faculdade de Engenharia de
Ilha Solteira – UNESP como parte dos
requisitos para obtenção do título de Grau
acadêmico Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alex Micael Dantas de
Sousa

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- P125a Pádua, Julia Melo de.
Análise estrutural de edifício em concreto armado: aplicação do TQS e
comparação com métodos analíticos / Julia Melo de Pádua. -- Ilha Solteira:
[s.n.], 2026
86 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2026
- Orientador: Alex Micael Dantas de Sousa
- Inclui bibliografia
1. Análise estrutural. 2. Software TQS. 3. Concreto armado.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURSO : ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO : ESTRUTURAS
REALIZADA EM : 26-06-2026
DISCENTE : JULIA MELO DE PÁDUA
COMISSÃO EXAMINADORA:

1. Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa (Orientador)
2. Profª Drª Lisiane Pereira Prado (Examinadora)
3. MSc Victor Hugo Couto Xavier (Examinador)

TÍTULO: "ANÁLISE ESTRUTURAL DE EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO: APLICAÇÃO DO TQS E COMPARAÇÃO COM MÉTODOS ANALÍTICOS"

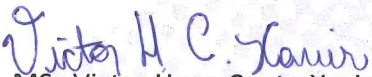
Local: Sala de Aula do NEPAE
Horário de início: 14 horas

Em sessão pública, após exposição em torno de 40 (quarenta minutos), a discente foi arguida oralmente, e no final da exposição foi "**APROVADA**" pelos membros componentes da Comissão Examinadora. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ATA, a qual é assinada pelos membros da Comissão Examinadora e pela discente Julia Melo de Pádua.

Ilha Solteira, 26 de junho de 2026.


Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa
(Orientador)


Profª Drª Lisiane Pereira Prado
(Examinadora)


MSc Victor Hugo Couto Xavier
(Examinador)

Ciente:

Discente: Julia Melo de Pádua

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por me dar força, sabedoria e determinação ao longo dessa caminhada, permitindo que eu superasse todos os desafios encontrados durante a graduação.

Agradeço aos meus pais, Rodrigo e Juliana, por todo amor, apoio, incentivo e dedicação ao longo da minha vida. Obrigada por sempre acreditarem em mim, me apoiarem nos momentos difíceis e me incentivarem a seguir em frente em busca dos meus objetivos. Ao meu irmão Rafael, agradeço pelo companheirismo, apoio e pelos momentos compartilhados durante essa trajetória.

Ao meu namorado, Gabriel, agradeço por toda paciência, compreensão, incentivo e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho e ao longo da graduação. Obrigada por estar ao meu lado nos momentos de dificuldade, sempre me motivando a continuar.

Ao meu orientador, Prof. Alex, agradeço pela orientação, paciência e pelos conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho, contribuindo de forma significativa para minha formação acadêmica e profissional.

Agradeço também aos professores do curso de Engenharia Civil, pelos ensinamentos transmitidos durante a graduação, fundamentais para minha formação como futura engenheira civil. Ao grupo PET, que teve grande importância na minha formação pessoal e profissional durante a graduação.

À professora Luzenira, minha orientadora de iniciação científica, agradeço pela orientação, incentivo e pelos conhecimentos transmitidos ao longo dessa experiência, que agregou de forma muito importante à minha formação e ampliou minha visão dentro da área acadêmica.

Aos meus amigos e colegas de graduação, obrigada pela parceria, ajuda e pelos momentos compartilhados ao longo desses anos.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta importante etapa da minha vida.

RESUMO

O concreto armado é um dos sistemas estruturais mais utilizados na construção civil brasileira, especialmente em edificações de múltiplos pavimentos, devido à sua resistência, durabilidade e viabilidade econômica. O desempenho adequado dessas estruturas depende diretamente de uma análise estrutural e de um dimensionamento corretos, realizados conforme os parâmetros estabelecidos pelas normas técnicas vigentes, garantindo segurança e conforto aos usuários. Nesse contexto, a engenharia estrutural tem evoluído ao longo dos anos, acompanhando os avanços tecnológicos e a crescente utilização de softwares no desenvolvimento de projetos.

Tradicionalmente, a análise estrutural é realizada por meio de métodos analíticos, fundamentais para a compreensão do comportamento das estruturas e amplamente utilizados no meio acadêmico. No entanto, o aumento da complexidade das edificações atuais tornou necessário o uso de ferramentas computacionais capazes de realizar análises mais complexas e rápidas. Dentre essas ferramentas, destaca-se o software TQS (Tecnologia, Qualidade e Sistema), amplamente utilizado para projetos estruturais em concreto armado, concreto protendido e alvenaria estrutural.

O presente trabalho tem como objetivo realizar a análise estrutural de um edifício em concreto armado utilizando o software TQS, comparando os resultados obtidos com aqueles calculados por métodos analíticos estudados durante a graduação. O desenvolvimento deste estudo contribui para a integração entre teoria e prática, possibilitando uma melhor compreensão do funcionamento e das limitações dos softwares de cálculo estrutural, além de incentivar uma postura crítica do engenheiro em sua análise, contribuindo para a formação de profissionais mais capacitados.

Palavras-chave: análise estrutural; software TQS; concreto armado.

ABSTRACT

Reinforced concrete is one of the most widely used structural systems in Brazilian civil construction, especially in multi-storey buildings, due to its strength, durability, and economic feasibility. The adequate performance of these structures depends directly on proper structural analysis and design, carried out in accordance with the parameters established by current technical standards, ensuring safety and comfort for users. In this context, structural engineering has evolved over the years, keeping pace with technological advances and the increasing use of software in project development.

Traditionally, structural analysis is performed through analytical methods, which are fundamental for understanding the behavior of structures and are widely used in academic settings. However, the growing complexity of modern buildings has made it necessary to use computational tools capable of performing more complex and faster analyses. Among these tools, the TQS software (Technology, Quality, and System) stands out, being widely used for structural design in reinforced concrete, prestressed concrete, and structural masonry.

The present study aims to perform the structural analysis of a reinforced concrete building using the TQS software, comparing the results obtained with those calculated through analytical methods studied during undergraduate coursework. The development of this study contributes to the integration between theory and practice, enabling a better understanding of the operation and limitations of structural calculation software, as well as encouraging a critical approach by engineers in their analyses, contributing to the training of more qualified professionals.

Keywords: structural analysis; TQS software; reinforced concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes presentes na execução de uma viga em Concreto Armado.	17
Figura 2 - Viga de concreto: a) sem armadura; b) com armadura.	18
Figura 3 - Viga biapoiada em Concreto Protendido.	19
Figura 4 - Composição do concreto	20
Figura 5 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil.	22
Figura 6 - Nomenclatura tipos de cimento.	22
Figura 7 - Vergalhão Gerdau CA-50.	24
Figura 8 - Execução de laje maciça	25
Figura 9 - Lajes lisa e cogumelo.	26
Figura 10 - Laje nervurada	27
Figura 11 - Laje pré-fabricada do tipo treliçada com lajota.	27
Figura 12 - Viga reta de concreto	28
Figura 13 - Pilares em concreto armado	29
Figura 14 - Bloco sobre estaca e tubulão	29
Figura 15 - Sapata isolada	30
Figura 16 - Planta arquitetônica limpa	32
Figura 17 - Criação Novo Edifício TQS	33
Figura 18 - Esquema edifício de múltiplos pavimentos	34
Figura 19 - Menu de edição do edifício no TQS	35
Figura 20 - Corte esquemático edifício TQS	36
Figura 21 - Concepção estrutural do edifício.	37
Figura 22 - Menu "Pilares" no TQS	38
Figura 23 - Menu "Vigas" no TQS	38
Figura 24 - Menu "Lajes" no TQS.	39
Figura 25 - Planta pavimento-tipo	39
Figura 26 - Visualização 3D do pavimento-tipo	40
Figura 27 - Menu TQS.	40
Figura 28 - Critérios Fundações TQS.	41
Figura 29 - Dados de pilares TQS.	41
Figura 30 - Dados fundações	42

Figura 31 - Planta fundações	43
Figura 32 - Carga de paredes	45
Figura 33 - Carga viga escada	46
Figura 34 - Viga de borda da varanda	47
Figura 35 - Carga cobertura	48
Figura 36 - Carga caixa d'água	49
Figura 37 - Ação do vento	51
Figura 38 - Mapa velocidade básica do vento	52
Figura 39 - Coeficiente de Arrasto TQS	53
Figura 40 - CA para Ventos a 90°	53
Figura 41 - CA para Ventos a 0°	54
Figura 42 - Tabela CA preenchida	55
Figura 43 - Cargas aplicadas no TQS	56
Figura 44 - Visualização 3D múltiplos andares	56
Figura 45 - Esquema laje L1	57
Figura 46 - Esquema laje L3	58
Figura 47 - Altura útil d para armadura de flexão positiva em laje maciça	68
Figura 48 - Planta armaduras positivas	79
Figura 49 - Planta armaduras negativas	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores característicos nominais das cargas variáveis	44
Tabela 2 – Vão efetivo das lajes	58
Tabela 3 - Vinculação entre as lajes	61
Tabela 4 - Ações nas lajes	62
Tabela 5 - Momentos fletores das lajes.....	63
Tabela 6 - Resultados TQS e cálculo analítico.....	81

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO	15
3.	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1.	CONCRETO ARMADO	16
3.2.	DIFERENÇAS ENTRE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO	18
3.3.	COMPOSIÇÃO CONCRETO ARMADO	20
3.3.1.	CIMENTO	21
3.3.2.	AGREGADOS	23
3.3.3.	AÇO.....	23
3.4.	ELEMENTOS ESTRUTURAIS	24
3.4.1.	LAJE	25
3.4.2.	VIGA.....	28
3.4.3.	PILAR	28
3.4.4.	FUNDAÇÃO.....	29
3.5.	SOFTWARE TQS.....	30
3.6.	NORMAS TÉCNICAS.....	31
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	31
4.1.	PARAMETRIZAÇÃO DO EDIFÍCIO NO TQS	32
4.2.	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	34
4.3.	MODELAGEM DO EDIFÍCIO NO TQS.....	37
4.3.1.	INSERÇÃO DOS PILARES	37
4.3.2.	INSERÇÃO DAS VIGAS.....	38
4.3.3.	INSERÇÃO DAS LAJES.....	38
4.3.4.	INSERÇÃO DAS FUNDAÇÕES	40
4.4.	CÁLCULO DAS CARGAS.....	43
4.4.1.	CARGAS NAS LAJES.....	43
4.4.2.	CARGAS DE PAREDES	44
4.4.3.	CARGAS NAS VIGAS	46
4.4.4.	CARGAS DA COBERTURA.....	48
4.4.5.	CARGAS CAIXA D'ÁGUA.....	49
4.4.6.	AÇÃO DO VENTO	50

4.4.7.	APLICAÇÃO DAS CARGAS NO TQS.....	55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
5.1.	CÁLCULO ANALÍTICO.....	57
5.1.1.	VÃO EFETIVO.....	57
5.1.2.	DIAGRAMA UNIFILAR.....	59
5.1.3.	AÇÕES.....	61
5.1.4.	MOMENTOS FLETORES.....	62
5.1.5.	COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS.....	64
5.1.6.	ARMADURA MÍNIMA.....	66
5.1.7.	ARMADURA NEGATIVA.....	68
5.1.8.	ARMADURA POSITIVA.....	74
5.2.	RESULTADOS TQS.....	78
5.3.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....	80
5.4.	DISCUSSÕES.....	81
6.	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um dos sistemas estruturais mais utilizados na construção civil brasileira, principalmente em edifícios de múltiplos pavimentos, por apresentar boa resistência, durabilidade e viabilidade econômica. O bom desempenho dessas estruturas está diretamente ligado a análise estrutural e dimensionamento adequados, dentro dos parâmetros exigidos na norma técnica vigente NBR 6118:2023, garantindo assim segurança e conforto dos usuários (ABNT, 2023). Nesse contexto, a engenharia estrutural vem evoluindo ao longo dos anos, acompanhando os avanços tecnológicos e a crescente utilização de softwares no desenvolvimento de projetos.

Durante muito tempo, a análise estrutural foi realizada por meio de métodos analíticos clássicos, que são fundamentais para o entendimento do comportamento das estruturas e ainda são amplamente utilizados no meio acadêmico. No entanto, com o aumento da complexidade das edificações atuais, seja pelo número de pavimentos, pela geometria ou pelas exigências normativas, tornou-se necessário o uso de ferramentas computacionais, que são capazes de realizar análises mais completas e rápidas.

Nesse cenário, destaca-se o software TQS (Tecnologia Qualidade e Sistema) amplamente utilizado no Brasil para o desenvolvimento de projetos estruturais em concreto armado, concreto protendido e alvenaria estrutural. O programa permite a modelagem tridimensional da estrutura, a análise dos esforços internos, o dimensionamento dos elementos estruturais e a geração de detalhamentos e plantas, de acordo com os critérios estabelecidos pelas normas técnicas vigentes (TQS, sem data). Dessa forma, o TQS se tornou uma ferramenta importante no uso profissional do engenheiro civil, contribuindo para a otimização do tempo de elaboração de projeto e para a redução de possíveis erros de cálculo.

Apesar da ampla utilização de softwares estruturais na engenharia, é essencial que o profissional tenha domínio dos conceitos teóricos que fundamentam os resultados apresentados por esses programas. A comparação entre os resultados obtidos por softwares e aqueles determinados por métodos analíticos é fundamental para a validação dos modelos estruturais, além de auxiliar na correta interpretação

dos esforços e deslocamentos. Assim, este trabalho tem como objetivo realizar a análise estrutural de um edifício em concreto armado por meio do software TQS, comparando os resultados obtidos com aqueles calculados a partir de métodos analíticos vistos durante a graduação.

O desenvolvimento deste trabalho é de grande importância para integrar os conhecimentos teóricos vistos ao decorrer do curso de graduação, com a prática utilizada no dia a dia de um profissional da área. A pesquisa possibilita uma melhor compreensão do funcionamento e das limitações dos softwares de cálculo estrutural, incentivando uma postura mais crítica quanto ao uso dessas ferramentas. Além disso, o estudo apresenta impacto potencial ao contribuir para a formação de profissionais mais capacitados, capazes de validar resultados computacionais e desenvolver projetos estruturais mais seguros, eficientes e em conformidade com as normas técnicas vigentes.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar a análise estrutural de um edifício em concreto armado por meio do software TQS, comparando os resultados obtidos com aqueles determinados a partir de métodos analíticos estudados durante a graduação em Engenharia Civil. Busca-se avaliar a coerência entre os resultados, bem como compreender o comportamento estrutural da edificação e a influência do uso de ferramentas computacionais no processo de análise e dimensionamento, contribuindo para a integração entre os conhecimentos teóricos e a prática profissional.

Para alcançar esse objetivo, foram definidos quatro objetivos específicos:

1. Modelar o edifício no TQS, de acordo com os parâmetros das normas vigentes;
2. Dimensionar analiticamente as lajes L1 e L3;
3. Comparar as áreas de armadura obtidas pelos dois métodos;
4. Identificar e compreender as principais causas das diferenças encontradas entre eles.

3. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste trabalho teve como base as apostilas de Concreto Armado disponibilizadas pelo Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos Bastos em sua página no portal da FEB – UNESP.

3.1. CONCRETO ARMADO

O concreto armado é um sistema estrutural amplamente empregado na construção civil, sendo resultado da junção do concreto simples e de armaduras de aço. Essa combinação permite que o material apresente um comportamento estrutural eficiente, aproveitando as melhores características de cada componente. Enquanto o concreto possui elevada resistência à compressão, o aço apresenta alta resistência à tração, suprimindo uma das principais limitações do concreto simples.

O concreto é um material composto formado basicamente por cimento, agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita) e água, podendo conter aditivos químicos com a finalidade de melhorar seu desempenho e propriedades básicas (cinza, pozolana, sílica). Após a mistura desses materiais, ocorre o processo de hidratação do cimento, responsável pelo endurecimento e ganho de resistência do concreto ao longo do tempo. Apesar de apresentar bom desempenho à compressão, o concreto possui baixa resistência à tração, o que pode resultar no surgimento de fissuras quando submetido a esforços em lajes e vigas, por exemplo (BASTOS, 2023).

Para contornar essa limitação, são inseridas armaduras de aço no interior do concreto, originando o concreto armado. As barras de aço são posicionadas de forma estratégica, de acordo com os esforços atuantes na estrutura, resistindo principalmente às tensões de tração. Além disso, a boa aderência entre o aço e o concreto garante que ambos trabalhem de forma solidária, permitindo a transferência de esforços entre os materiais.

Na construção deste elemento estrutural, inicialmente as armaduras de aço são posicionadas de acordo com o projeto, dentro das fôrmas, que são utilizadas como

moldes. São posicionados espaçadores para garantir o cobrimento ideal do concreto. Em seguida, o concreto é lançado preenchendo as fôrmas e envolvendo as armaduras. Quando alcança o ponto de cura, já com o concreto endurecido, a fôrma é retirada finalizando a execução do elemento (BASTOS, 2023). Na Figura 1, temos a representação de cada componente presente nas etapas descritas acima.

Figura 1 - Componentes presentes na execução de uma viga em Concreto Armado.



(ArchDaily, 2022)

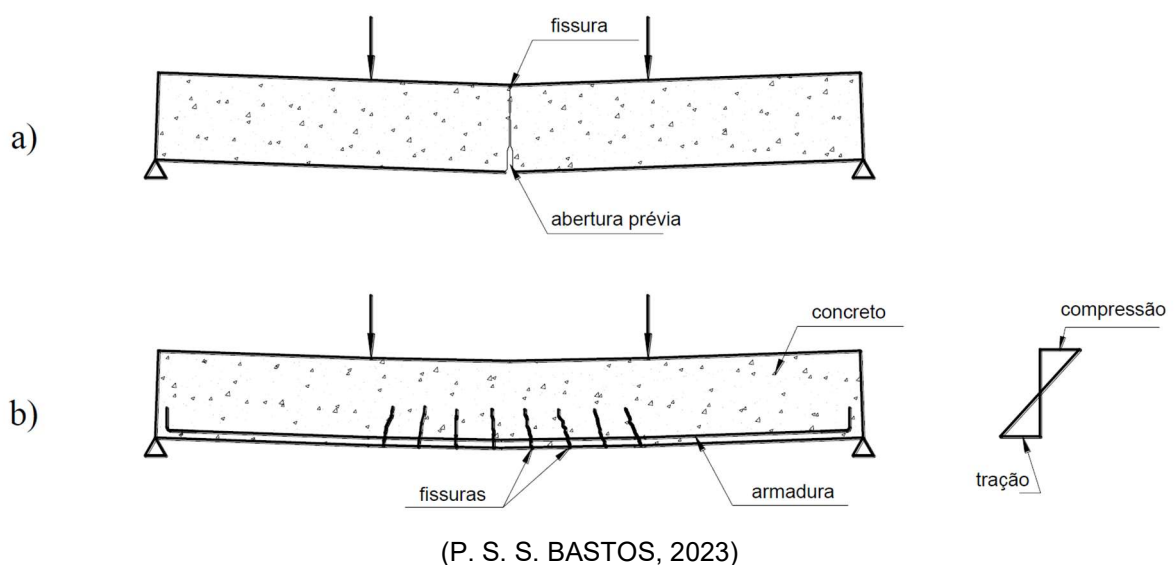
O concreto armado une o baixo custo, durabilidade, boa resistência à compressão, ao fogo e à água do concreto, com a ductilidade e resistência a tração do aço, garantindo assim versatilidade de formas e a facilidade de moldagem. Esse sistema construtivo possibilita a execução de diversos elementos estruturais, como vigas, lajes, pilares e fundações, atendendo aos mais variados tipos de edificações. Outro aspecto relevante é a proteção a corrosão do aço quando envolvido pelo cobrimento adequado de concreto de acordo com o meio em que o material está inserido (BASTOS, 2023).

A ductilidade do aço representa o nível de deformação plástica antes da ruptura do material, ou seja, a estrutura dá "sinais" antes da ruptura brusca, isso se dá devido a boa resistência a tração do aço.

Na Figura 2, pode-se observar esse comportamento com a comparação da aplicação de esforços em uma viga de concreto simples sem armadura e em uma viga

de concreto armado. Considera-se que a força é aplicada de forma gradual, do zero à ruptura. A viga sem armadura rompe de forma brusca, sem aviso prévio, logo na primeira fissura. Já a viga de concreto armado resiste à flexão significativamente, devido à presença das barras de aço durante a aplicação da tensão de tração. As fissuras aparecem aos poucos, mas a estrutura não entra em colapso de forma repentina (BASTOS, 2023).

Figura 2 - Viga de concreto: a) sem armadura; b) com armadura.



3.2. DIFERENÇAS ENTRE CONCRETO ARMADO E PROTENDIDO

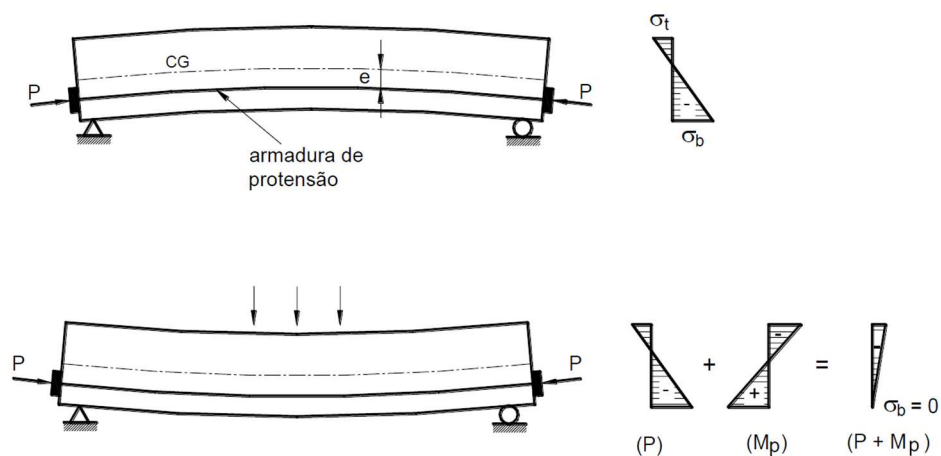
A armadura utilizada no concreto armado recebe o nome de passiva, pois não foi previamente alongada. Nesse sistema, a fissuração é considerada no projeto e controlada por meio do dimensionamento adequado das armaduras e do atendimento aos limites estabelecidos pelas normas técnicas. Assim, o concreto armado admite a presença de fissuras em serviço, desde que estas permaneçam dentro de valores aceitáveis (BASTOS, 2023; UFPR, 2016).

Já no concreto protendido, são utilizadas armaduras ativas (cabos ou cordoalhas) que são tracionadas antes ou após o lançamento do concreto (UFPR, 2016). A protensão aplica esforços de compressão na estrutura antes da concretagem, com o objetivo de reduzir as tensões de tração atuantes durante a vida útil do elemento

estrutural. Dessa forma, o concreto protendido apresenta menor fissuração e menores deformações.

A Figura 3, demonstra em diagramas a tensão normal em uma viga com armadura protendida. Pode-se observar o comportamento do elemento devido ao carregamento externo aplicado sobre a viga, representado por M_p indicando um momento fletor solicitante (. BASTOS, 2023).

Figura 3 - Viga biapoada em Concreto Protendido



(P. S. S. BASTOS, 2023)

Outra diferença relevante entre os dois sistemas está relacionada ao vão estrutural e à esbeltez dos elementos. A esbeltez é a relação entre o comprimento do elemento e suas dimensões transversais, quanto maior a esbeltez (longo e fino) maior a instabilidade e tendência a flambagem. O concreto protendido permite a execução de estruturas com maiores vãos e seções mais esbeltas, o que pode resultar em economia de materiais e maior liberdade arquitetônica (P. S. S. BASTOS, 2023).

Em contrapartida, o concreto armado apresenta uma execução mais simples, custo menor e mão de obra mais acessível por ser um método amplamente utilizado. O concreto protendido exige um rigor maior no controle da execução, mão de obra especializada e equipamentos específicos para a proteção, o que aumenta o custo e complexidade da obra.

3.3. COMPOSIÇÃO CONCRETO ARMADO

O concreto é composto por uma mistura de cimento, agregados miúdos (areia), agregados graúdos (brita), água e possíveis aditivos químicos. A Figura 4 ilustra os materiais utilizados na composição. A mistura inicial de cimento com água é chamada de pasta. A pasta misturada com o agregado miúdo recebe o nome de argamassa. Por fim, a argamassa misturada com o agregado graúdo origina o concreto (JUNIOR, sem data; P. S. S. BASTOS, 2023).

Figura 4 - Composição do concreto



(P. S. S. BASTOS, 2023)

Em relação aos parâmetros de cálculo, de acordo com a NBR 6118:2023 quando não se conhece a massa específica do concreto que se está trabalhando, podemos adotar o valor de 2.400 kg/m³ para o concreto simples e 2.500 kg/m³ para o concreto armado (UFPR, 2016). Durante a elaboração do projeto estrutural, também é importante o cálculo da resistência característica do concreto à compressão aos 28 dias (f_{ck}), atendendo os requisitos de segurança e durabilidade.

Em laboratório, a resistência à compressão é avaliada por meio de testes utilizando corpos de prova de concreto, submetendo esse a uma prensa hidráulica. A partir dos resultados obtidos em ensaios, é possível classificar a resistência do concreto de acordo com a NBR 8953:2015, onde a letra C representando o concreto normal vem acompanhando do valor da resistência obtida em MPa:

Grupo I: C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50;

Grupo II: C55, C60, C70, C80, C90, C100.

Em 2003, a NBR 6118 estabeleceu a resistência mínima de 20 Mpa para projetos de estruturas em Concreto Armado, a fim de aumentar a durabilidade dos elementos.

Outro importante fator a ser determinado é a resistência do concreto à tração. Esse valor é fundamental na determinação de fissuração de vigas à força cortante, além da aderência entre o concreto e a armadura de aço. Os ensaios utilizados em laboratório para definir essa variante são o de compressão diametral (NBR 7222:2011), que determina a tração indireta, e o ensaio de flexão simples (NBR 12142:2010) que define a tração na flexão (P. S. S. BASTOS, 2023).

3.3.1. CIMENTO

O Cimento Portland (CP) surgiu na Inglaterra em 1824, um pó com propriedades de endurecimento sob ação da água, e após essa reação concluída, não se decompõe novamente mesmo na presença de água. Seu principal componente, o clínquer, é obtido a partir da mistura de rocha calcária britada e moída com argila, submetida a um forno de 1450°C. Após seu resfriamento são formadas pelotas (clínquer) que são moídas e, com adição de sulfato de cálcio, dão origem ao cimento Portland (P. S. S. BASTOS, 2023).

Em sua fabricação, outras matérias primas podem ser adicionadas atribuindo diferentes propriedades ao cimento original. Na Figura 5, são apresentados os principais tipos de cimento comercializados atualmente no Brasil e seus respectivos aditivos.

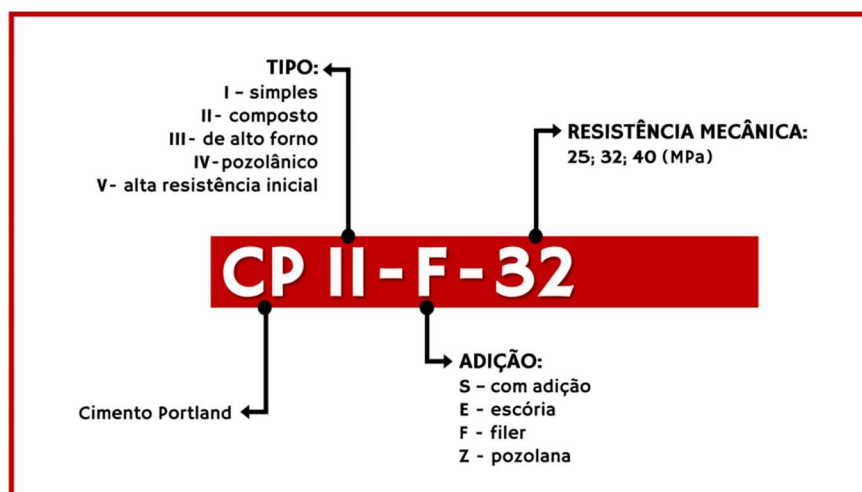
Figura 5 - Tipos de cimento Portland comercializados no Brasil

Nome técnico	Identificação do tipo
Comum	CP I ^{a)}
Comum com adição	CP I-S ^{a)}
Composto com escória	CP II-E ^{a)}
Composto com pozolana	CP II-Z ^{a)}
Composto com filer	CP II-F ^{a)}
Alto-forno	CP III ^{a)}
Pozolânico	CP IV ^{b)}
Alta resistência inicial	CP V-ARI
Branco estrutural	CPB ^{a)}

(P. S. S. BASTOS, 2023)

Os tipos de cimento apresentados na tabela podem ser Resistentes a Sulfato, adicionando a sigla RS a nomenclatura, resistindo a meios agressivos como esgoto ou água do mar. No Brasil o cimento CPV – ARI tem grande destaque na fabricação de pré-moldados. A sigla ARI indica alta resistência inicial. Na Figura 6, pode-se consultar a nomenclatura específica de cada elemento e característica que compõe os tipos de cimento. Os cimentos no geral são comercializados em sacos de 25 e 50kg, além de centrais de grande porte que adquirem o produto a granel diretamente das fábricas em grandes quantidades (P. S. S. BASTOS, 2023).

Figura 6 - Nomenclatura tipos de cimento



(ENGENHARIA 360, 2021)

3.3.2. AGREGADOS

Os agregados são materiais granulares inertes que compõem a maior parte do volume do concreto, influenciando diretamente suas propriedades, durabilidade e custo. Eles são classificados, de acordo com sua dimensão, em agregados miúdos, como a areia, e agregados graúdos, como a brita ou o cascalho. Também são divididos quanto a origem: naturais; britados; e artificiais (JUNIOR, sem data; P. S. S. BASTOS, 2023).

Os tipos de britas mais encontradas no mercado são:

- a) Brita 0 – 9,5 mm (pedrisco);
- b) Brita 1 – 1,9 mm;
- c) Brita 2 – 38 mm.

3.3.3. AÇO

O aço é um material constituído de ferro com adição de até 2% de carbono, produzido em siderúrgicas. Pode-se atribuir a essa composição, materiais como níquel, enxofre, manganês, entre outros, a fim de alterar características e aprimorar propriedades (P. S. S. BASTOS, 2023). Os vergalhões de aço utilizados em estruturas de Concreto armado são classificados em:

- a) Barras – diâmetro nominal igual ou maior a 5 mm, fabricados por laminação a quente (CA-25 E CA-50);
- b) Fios – diâmetro nominal igual ou inferior a 10 mm, fabricados por trefilação ou laminação a frio (CA-60).

A capacidade de aderência do concreto no aço varia de acordo com a rugosidade de sua superfície, as barras e fios de aço podem ser lisas, nervuradas ou entalhadas. Como podemos ver na Figura 7, as barras devem ter gravadas no seu comprimento a identificação do fabricante, categoria do aço e diâmetro nominal (P. S. S. BASTOS, 2023). Quanto a sua dimensão longitudinal, barras de aço são geralmente comercializadas com até 12m de comprimento.

Figura 7 - Vergalhão Gerdau CA-50



(GERDAU, sem data)

A fissuração por retração pode ser reduzida com o uso da armadura de pele, que são barras de aço dispostas próximas a superfície externa da peça, garantindo assim uma maior resistência e durabilidade (P. S. S. BASTOS, 2023).

3.4. ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Nesse tópico serão discutidos os principais elementos estruturais construídos em Concreto Armado, esses são classificados de acordo com a geometria e a ordem de grandeza das três dimensões principais do elemento.

Os elementos são divididos em lineares, de superfície e tridimensionais. Os lineares são aqueles que tem a dimensão do comprimento três ou mais vezes maior que a largura, são esses vigas e pilares. Já os elementos de superfície têm a espessura relativamente pequena em comparação com as demais faces, são essas lajes e paredes. Por último, os elementos tridimensionais têm as três dimensões com a mesma ordem de grandeza, como blocos e sapatas em fundações (P. S. S. BASTOS, 2023).

3.4.1. LAJE

Lajes são elementos planos que servem principalmente como cobertura ou piso na construção. Esse elemento estrutural costuma receber ações verticais, sejam elas distribuídas por área (peso próprio, contrapiso, revestimento), linearmente (carga de parede) ou concentrada (pilar). Geralmente as ações aplicadas na laje são transmitidas para as vigas e eventualmente direto para pilares (BASTOS, 2023).

Laje maciça

São lajes com espessura totalmente preenchida de concreto e com armaduras de aço, geralmente moldadas na própria obra e utilizadas em edifícios de multipavimentos e em construções de grande porte (escolas, pontes, hospitais). As bordas desse tipo de laje podem ser apoiadas ou livres. A NBR 6118:2023 define as espessuras mínimas necessárias em cada caso. Na Figura 8, pode-se observar uma laje maciça durante sua execução (BASTOS, 2023).

Figura 8 - Execução de laje maciça



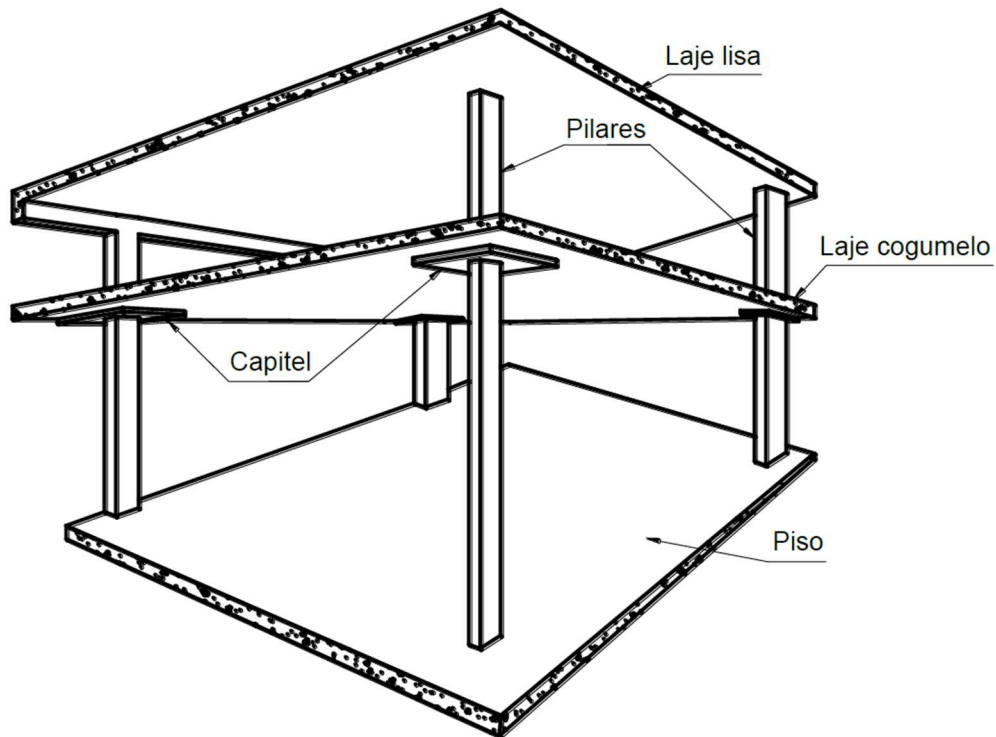
(GALVAMINAS, 2025)

Laje Lisa e Cogumelo

Antes de entender o que são lajes lisas e lajes cogumelo, precisamos ter o conhecimento sobre o conceito “Capitel”: elemento resultante do aumento da

espessura da laje ao redor dos pilares de apoio (BASTOS, 2023), como é possível ver na Figura 9.

Figura 9 - Lajes lisa e cogumelo



(P. S. S. BASTOS, 2023)

Lajes lisas não são apoiadas em capiteis, já as lajes-cogumelo tem a presença do elemento. Ambas são como lajes maciças, de concreto e armadura, porém as bordas não são apoiadas em vigas, a concentração das tensões aplicadas vai diretamente para o pilar de apoio. Apesar de serem usuais em variados tipos de edificações, essas lajes estão sujeitas a uma maior flecha de deformação vertical (BASTOS, 2023).

Laje Nervurada

Essas são lajes moldadas in loco ou com nervuras pré-moldadas, aplicadas na zona de tração para momentos positivos. As nervuras podem ser fabricadas usando moldes removíveis ou com material de enchimento (BASTOS, 2023), como observado na Figura 10.

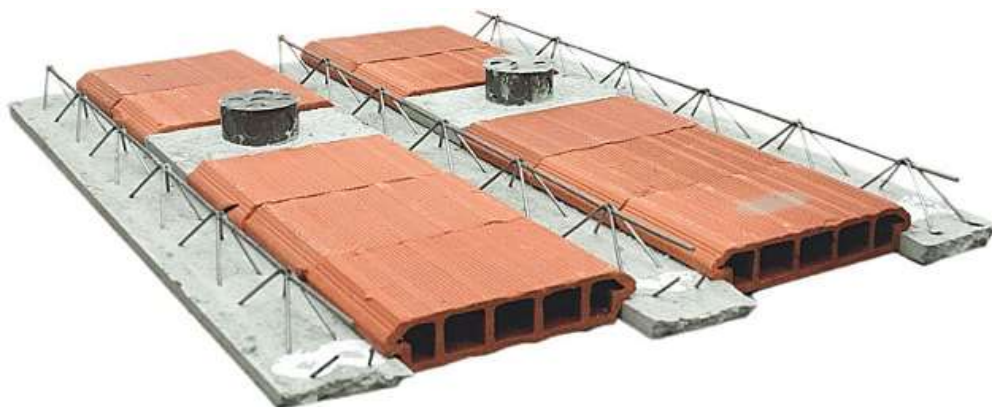
Figura 10 - Laje nervurada



(MAPA DA OBRA, 2019)

Um modelo utilizado com bastante frequência em construções recentes é a laje pré-fabricada com armadura treliçada, devido a fácil execução e boa resistência. Entre essas, é comum a utilização da laje treliçada com lajotas (Figura 11) ou EPS (BASTOS, 2023).

Figura 11 - Laje pré-fabricada do tipo treliçada com lajota

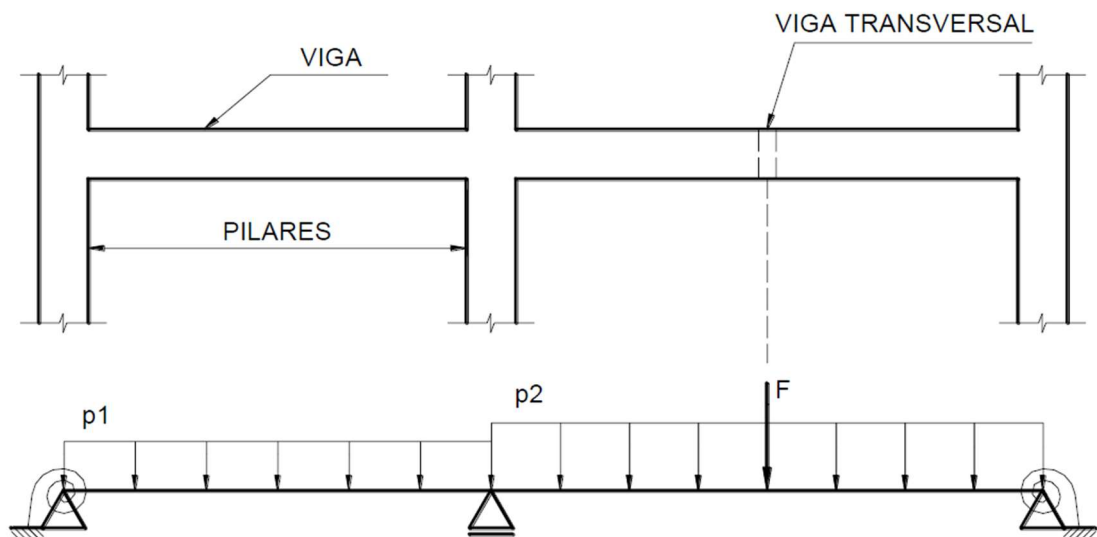


(ESCOLA ENGENHARIA, 2021)

3.4.2. VIGA

As vigas têm como principal função vencer vãos e transmitir cargas. A ação mais influente nesse elemento é a flexão, devido ao longo eixo longitudinal. Geralmente, os carregamentos provenientes de paredes e lajes são absorvidos pela viga e transmitidos aos pilares. Essa estrutura conta com armaduras longitudinais e transversais, tornando-se um dos principais elementos da estrutura de contraventamento do edifício (BASTOS, 2023). Na Figura 12, temos um exemplo de execução de vigas.

Figura 12 - Viga reta de concreto



(P. S. S. BASTOS, 2023)

3.4.3. PILAR

São elementos verticais, que recebem ações predominantemente de compressão, de vigas e lajes, transmitindo-as para a fundação da edificação. Pilares são o elemento mais importante para a estabilidade global de uma estrutura, por sua capacidade de resistência, garantindo segurança ao edifício (BASTOS, 2023). Na Figura 13, temos exemplo de pilares na construção civil.

Figura 13 - Pilares em concreto armado

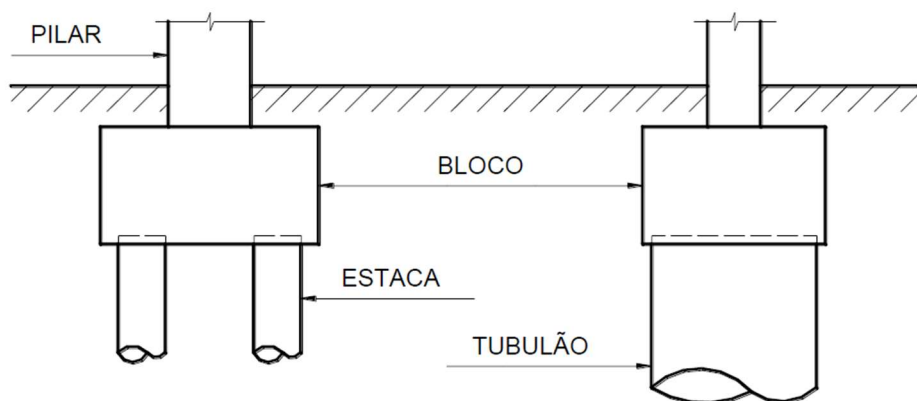


(MAPA DA OBRA, 2020)

3.4.4. FUNDAÇÃO

A fundação é o elemento estrutural responsável por receber os esforços do pilar e transmitir ao solo. O pilar pode estar ligado a blocos de fundação, que são “caixas” de concreto armado que transmitem os esforços dos pilares para as estacas ou tubulões. As ações são dissipadas ao solo ao longo comprimento das estacas/fuste do tubulão e pela ponta dos elementos (P. S. S. BASTOS, 2023). Na Figura 14, temos a representação de blocos de fundação ligados a estacas e tubulões.

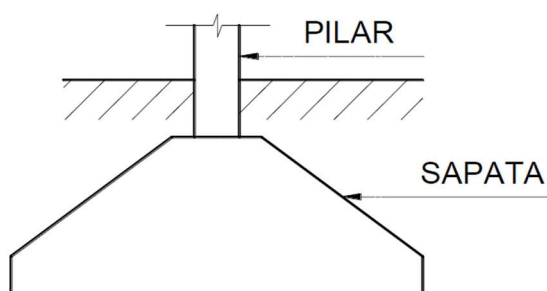
Figura 14 - Bloco sobre estaca e tubulão



(P. S. S. BASTOS, 2023)

A fundação também pode ser no estilo sapata, que transmite as ações que recebem dos pilares diretamente ao solo. Essas são classificadas em isoladas, associadas, corridas ou de divisa, de acordo com a necessidade da obra. A Figura 15 ilustra esse tipo de fundação bastante utilizada na construção civil.

Figura 15 - Sapata isolada



(P. S. S. BASTOS, 2023)

3.5. SOFTWARE TQS

O TQS é um software nacional amplamente utilizado na engenharia civil para o desenvolvimento de projetos estruturais de concreto armado, concreto protendido e alvenaria estrutural. A sigla TQS significa Tecnologia, Qualidade e Sistemas, representando a proposta do programa de integrar ferramentas computacionais com critérios normativos e práticas de projeto. O software permite a modelagem tridimensional da estrutura, a realização da análise estrutural, o dimensionamento dos elementos, de detalhamentos e plantas (TQS, sem data).

Atualmente, o TQS é uma das ferramentas mais utilizadas no mercado para a elaboração de projetos estruturais de edificações de múltiplos pavimentos. Sua utilização reduz tempo na elaboração de projeto, automatizando etapas importantes, como o cálculo de esforços, a verificação dos estados limites e o dimensionamento das armaduras. Além disso, o software possibilita a análise de diferentes modelos estruturais e alterações dos elementos de forma rápida e prática, auxiliando o engenheiro na avaliação do comportamento da estrutura e na tomada de decisões ao longo do desenvolvimento do projeto.

Apesar das vantagens, é importante destacar a importância do domínio teórico do profissional durante a utilização do TQS. O conhecimento de conceitos fundamentais e métodos analíticos é essencial para a correta interpretação dos resultados apresentados pelo programa. Dessa forma, o conhecimento da teoria permite ao profissional desenvolver uma visão mais crítica sobre os resultados obtidos, identificar possíveis inconsistências e garantir que o projeto estrutural atenda aos critérios de segurança e desempenho exigidos pelas normas técnicas vigentes.

3.6. NORMAS TÉCNICAS

Dentre as normas brasileiras regulamentadoras, as mais utilizadas para o desenvolvimento de projetos de estruturas em Concreto Armado são (UFPR, 2016; P. S. S. BASTOS, 2023):

- **ABNT NBR 6118:2023 - Projeto de Estruturas de Concreto;**
- ABNT NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- ABNT NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações;
- ABNT NBR 14931:2023 - Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras;
- ABNT NBR 7480:2022 - Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

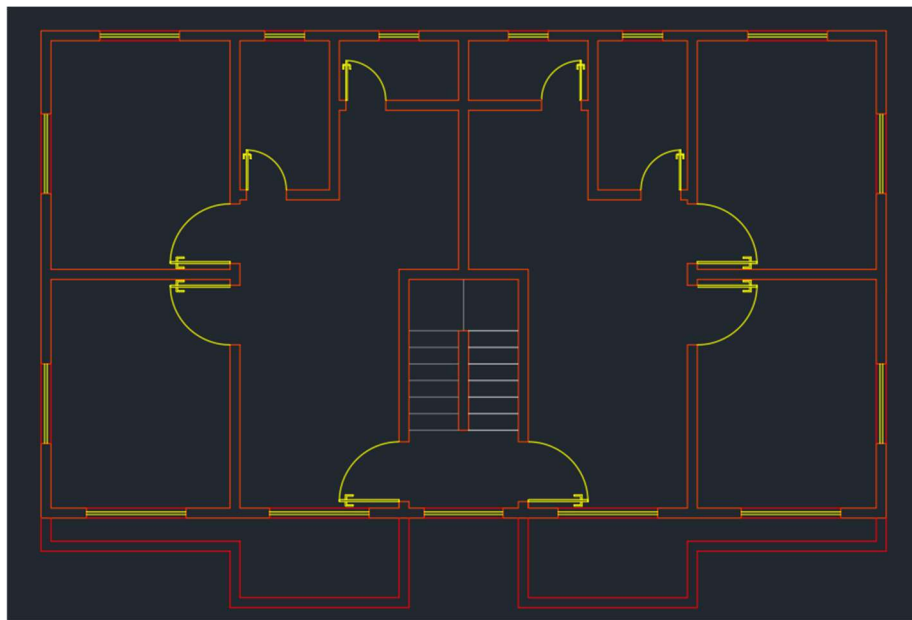
No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado como base o Curso de TQS ministrado pelo professor José Sérgio dos Santos, disponível em seu canal do Youtube.

O primeiro passo para se iniciar um projeto no TQS é preparar a planta arquitetônica. Na grande maioria das vezes, o engenheiro recebe a planta do arquiteto

no formato DWG, portanto é necessário o auxílio do AutoCAD para preparar a planta apenas com as informações essenciais.

De início, vamos limpar a planta, ocultando camadas excessivas que não serão utilizadas nessa etapa, como móveis e cotas. Deixamos apenas paredes, janelas, portas, paredes baixas e escadas. A partir dessa limpeza, criamos um novo arquivo DWG, copiando todos os elementos importantes e colando a planta limpa no ponto de origem [0;0] do novo arquivo. A Figura 16 exibe como deve ficar a planta apenas com as informações necessárias para a manipulação no TQS.

Figura 16 - Planta arquitetônica limpa



(Fonte: Próprio autor, 2025).

O programa TQS executa apenas arquivos no formato DXF, por isso é necessária a conversão. Com a planta limpa aberta no AutoCAD, podemos exportar o arquivo no formato DXF.

4.1. PARAMETRIZAÇÃO DO EDIFÍCIO NO TQS

Para criar um prédio no TQS vamos utilizar a aba “Sistemas”, selecionando o ícone de “Novo Edifício”, indicado na Figura 17. Nessa página que se abre, é possível ver a

lista com todos os projetos de edifícios existentes no computador, dessa forma, vamos dar um nome ao novo projeto e selecionar a criação “padrão”.

Figura 17 - Criação Novo Edifício TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Na página que se abre, podemos escolher alguns critérios iniciais para o novo edifício. Na aba “Gerais”, definimos informações de identificação como nome do edifício, nome do cliente, endereço da obra, norma que será usada. Em “Modelo” a versão TQS Estudante só disponibiliza o modelo IV, onde vigas e pilares são flexibilizados conforme critérios. Na página “Pavimentos” adicionamos o pavimento tipo e nomeamos, o pavimento de fundação já vem pré-definido e por enquanto deixamos o pé direito zerado.

Na aba “Materiais” podemos definir os principais parâmetros dos materiais do projeto, como a resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}) da obra; informar se a estrutura será em concreto armado ou protendido (a versão estudantil disponibiliza apenas análise em concreto armado); definir a classe da agressividade ambiental que influencia na cobertura do concreto (selecionado “II - Moderada – Urbana”); definir a classe do concreto para cada estrutura.

Em “Cobrimentos” definimos a espessura de cobrimento do concreto em relação ao aço, o que protege a integridade do material de acordo com a classe de agressividade ambiental. Os valores para cada elemento deste projeto foram ajustados da seguinte forma: **viga 3 cm; pilar 3 cm; laje 2,5 cm; fundação 4 cm.**

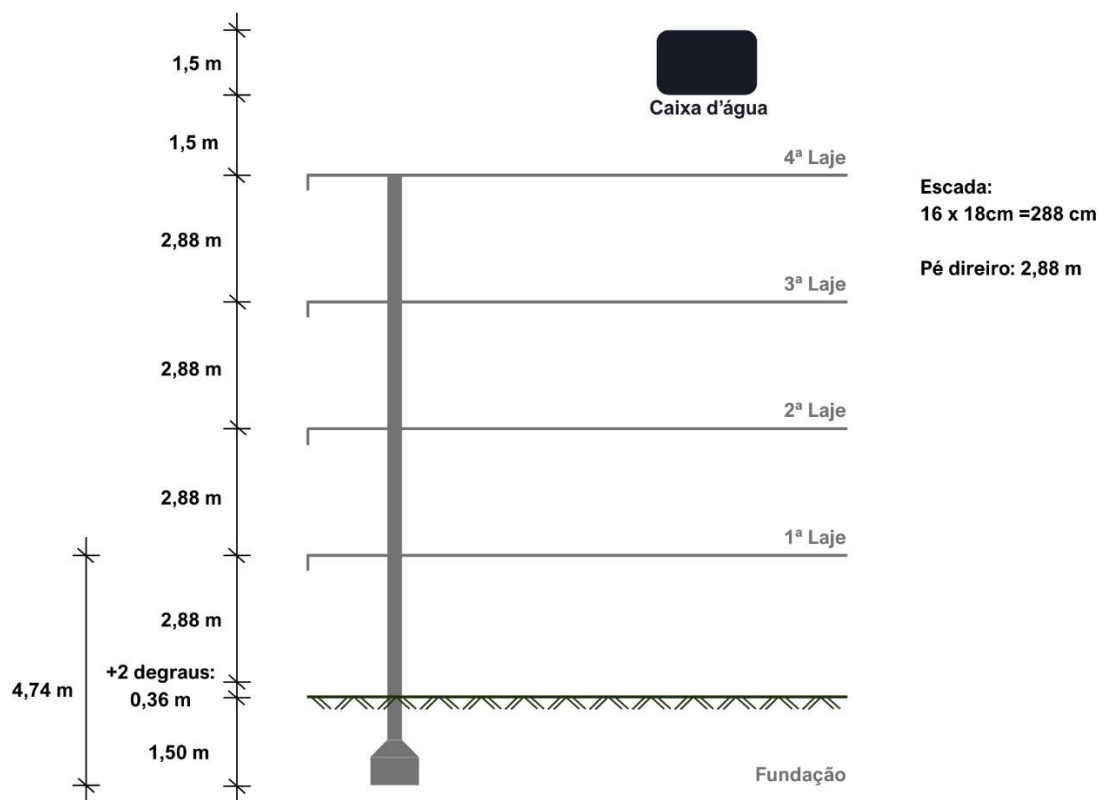
Posteriormente em “Cargas” é essencial inserir o valor do coeficiente de arrasto em relação ao vento, que influencia a análise estrutural. O cálculo deste coeficiente será apresentado posteriormente neste artigo no capítulo “4.4.6. AÇÃO DO VENTO”.

Além dessas, temos as abas de “Critérios” onde temos a estruturação das informações do TQS e “Gerenciamento onde podemos escolher a forma que o projeto será plotado (PDF, DWG, DXF). Por fim, criamos o edifício para iniciar a análise.

4.2. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Antes de iniciar a modelagem, é importante compreender de modo geral o esquema do edifício, dessa forma, foi feito um esboço com as principais dimensões do projeto (Figura 18). Foi adotado um pé direito de 2,88 m; profundidade total da fundação de 1,5 m; altura do topo da caixa d’água em relação a laje de cobertura de 3,0 m; a escada para cada pavimento com 16 degraus de 18 cm de altura, com exceção do primeiro pavimento com 18 degraus.

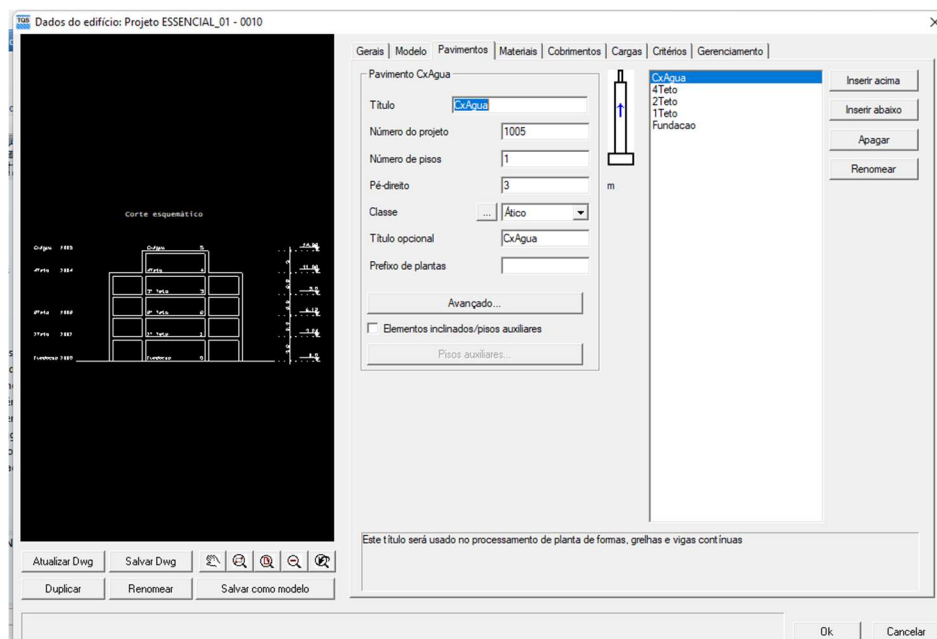
Figura 18 - Esquema edifício de múltiplos pavimentos



(Fonte: Próprio autor, 2026).

A partir das informações expostas no esboço, vamos começar a dar forma ao projeto no TQS. Na página “Edifícios”, selecionamos a função editar, que possibilita alterarmos as configurações anteriormente ajustadas. Na aba “Pavimento” adicionamos os pavimentos, os respectivos valores de pé direito e definimos a cota inicial do edifício. Por fim, clicamos em “atualizar DWG”, dessa forma podemos ver uma prévia como mostra a Figura 19.

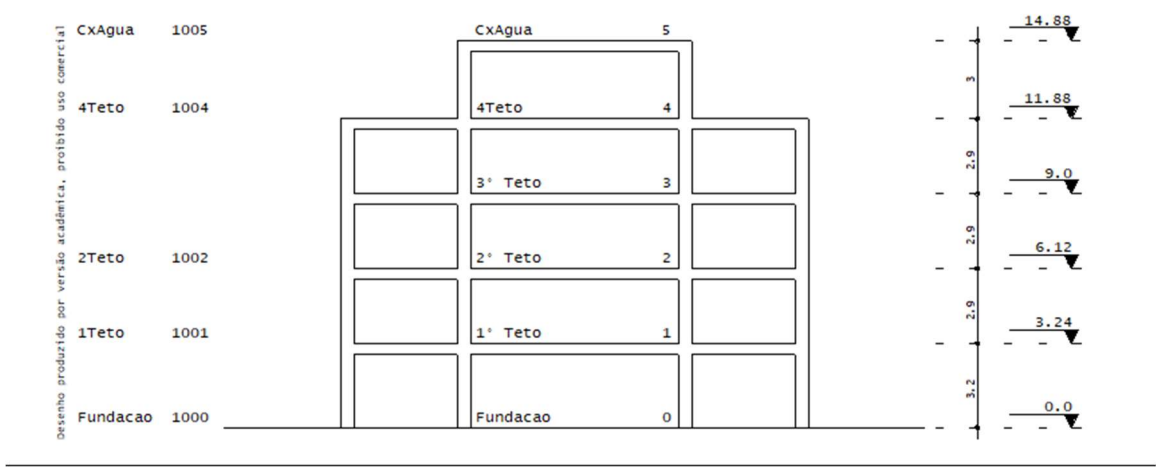
Figura 19 - Menu de edição do edifício no TQS



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Figura 20, pode-se observar melhor o DWG atualizado após a realização dos ajustes.

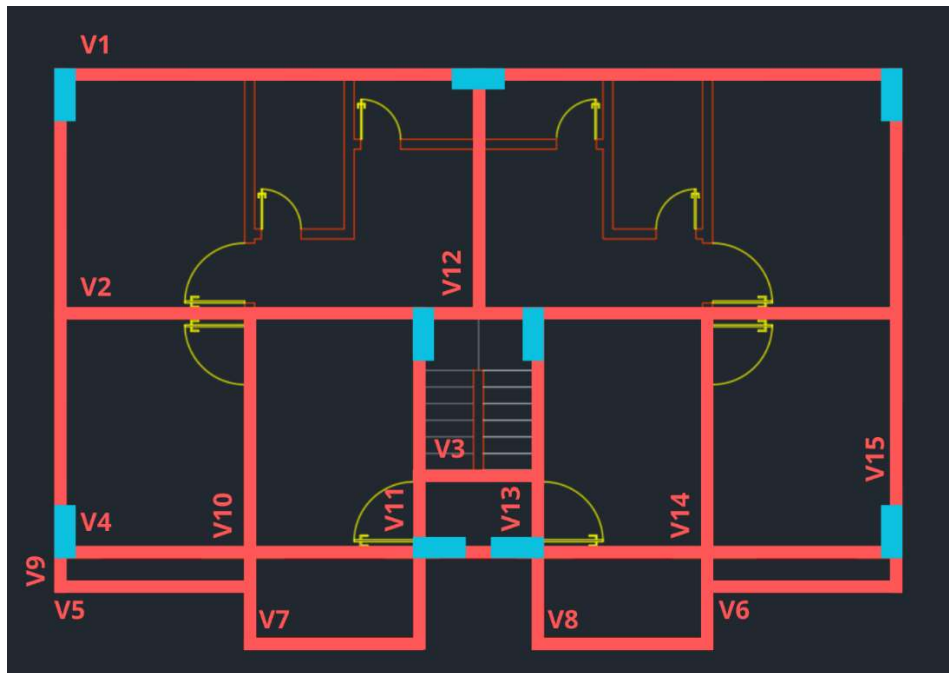
Figura 20 - Corte esquemático edifício TQS



(Fonte: TQS, 2025).

Após essa preparação, é preciso realizar a concepção estrutural, que corresponde à etapa inicial do projeto estrutural, na qual são definidas as principais características do sistema resistente da edificação. Nessa fase, o engenheiro estabelece o sistema estrutural a ser adotado, bem como a disposição dos elementos estruturais, como pilares, vigas e lajes, da melhor forma para resistir às ações e transmitir as cargas até as fundações de forma segura e eficiente. Na Figura 21, temos o rascunho da concepção estrutural escolhida para esse projeto.

Figura 21 - Concepção estrutural do edifício



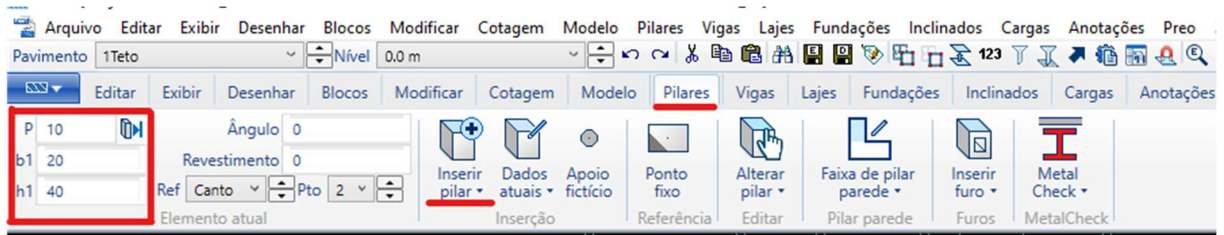
(Fonte: Próprio autor, 2025).

4.3. MODELAGEM DO EDIFÍCIO NO TQS

4.3.1. INSERÇÃO DOS PILARES

Para iniciar a inserção dos elementos estruturais na planta do projeto, o primeiro passo é abrir o editor “Modelo – Estrutural”, onde teremos todas as funções necessárias para a modelagem do edifício. Na Figura 22, temos a aba “Pilares” onde podemos definir as dimensões do pilar, sendo “b1” a base e “h1” a altura, além de escolher a numeração do pilar na caixa “P”, porém essa função pode ser ajustada depois, atualizando a numeração de forma automática. Com os valores definidos, podemos inserir os pilares clicando no botão com a descrição da função.

Figura 22 - Menu "Pilares" no TQS



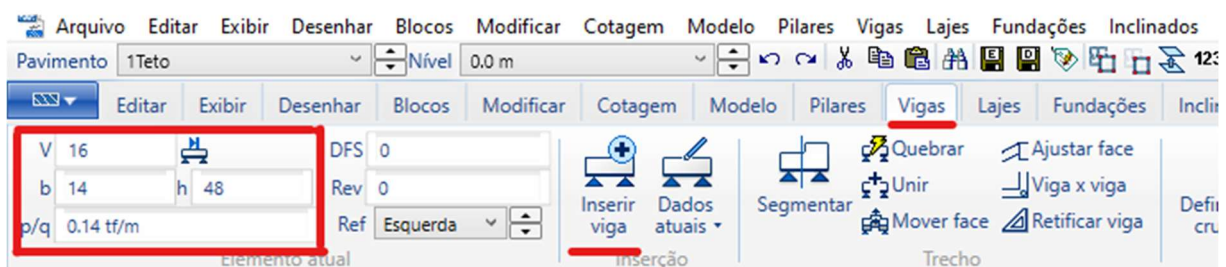
(Fonte: Próprio autor, 2025).

Ao fim da inserção dos pilares, podemos organizar a numeração dos pilares, de acordo com a norma, utilizando a função “Renumeração de elementos” que ordena os elementos de forma automática.

4.3.2. INSERÇÃO DAS VIGAS

Seguindo o mesmo raciocínio da inserção dos pilares, como apresentado na Figura 23, na aba “Vigas” definimos as dimensões do elemento e alocamos os elementos utilizando o botão “Inserir viga”. Por fim, utilizamos a função “Renumeração de elementos” para ordenar as vigas.

Figura 23 - Menu "Vigas" no TQS

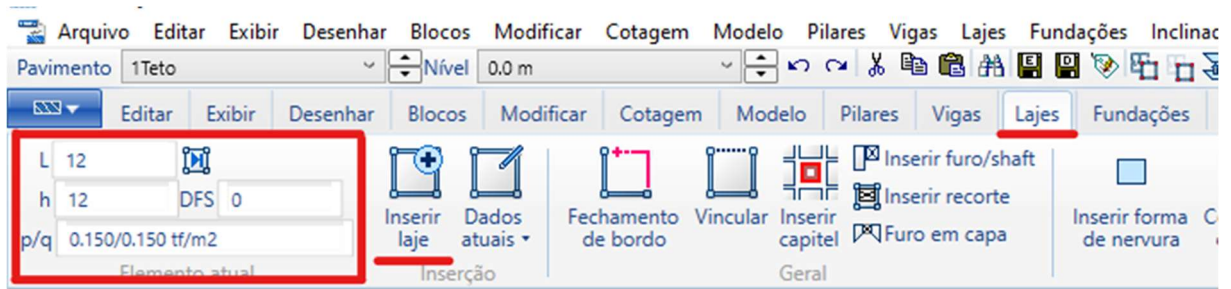


(Fonte: Próprio autor, 2025).

4.3.3. INSERÇÃO DAS LAJES

Para a modelagem das lajes, e forma similar às anteriores, na aba “Lajes” determinamos as dimensões e inserimos os elementos (Figura 24).

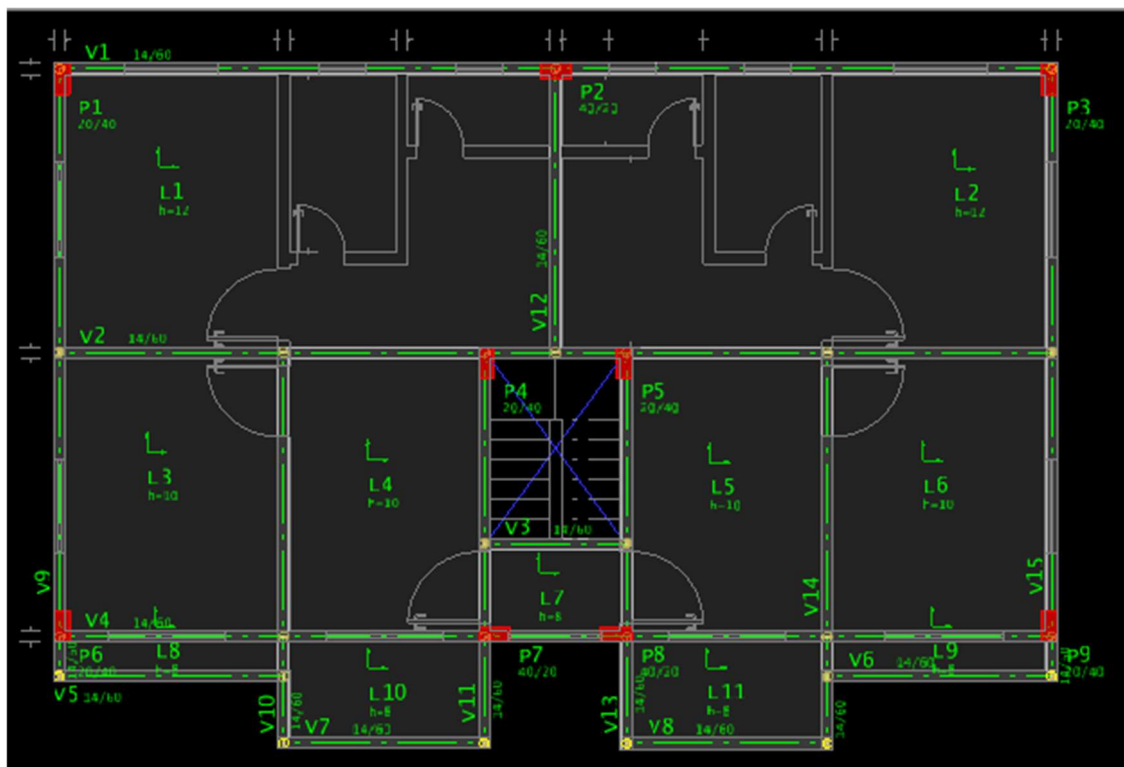
Figura 24 - Menu "Lajes" no TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

O tipo de laje definida para esse projeto será a maciça, com espessuras de 12 cm, 10 cm e 8 cm. A Figura 25, mostra a disposição final dos elementos na planta do pavimento-tipo.

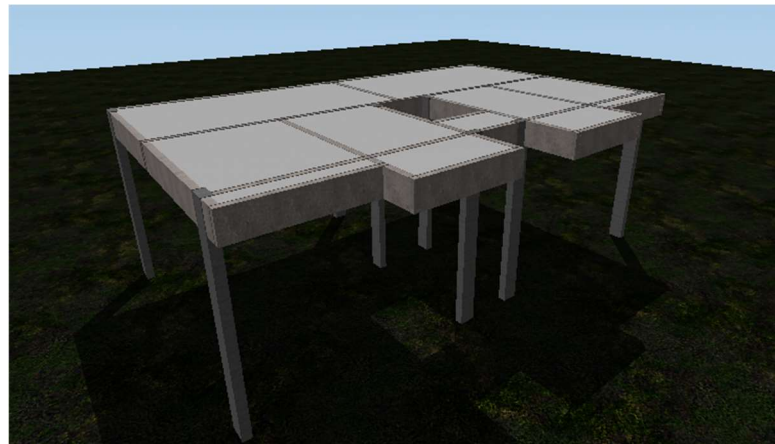
Figura 25 - Planta pavimento-tipo



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Nessa etapa também é possível visualizar o projeto tridimensional do edifício, como mostra a Figura 26.

Figura 26 - Visualização 3D do pavimento-tipo

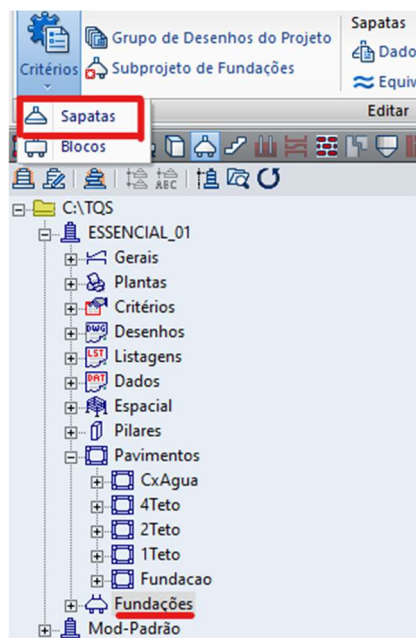


(Fonte: Próprio autor, 2025).

4.3.4. INSERÇÃO DAS FUNDAÇÕES

Para a modelagem das fundações, no diretório “Fundações” abrimos a aba “Critério” selecionando o tipo de fundação a ser projetada, conforme mostra a Figura 27. Para esse projeto vamos utilizar sapatas.

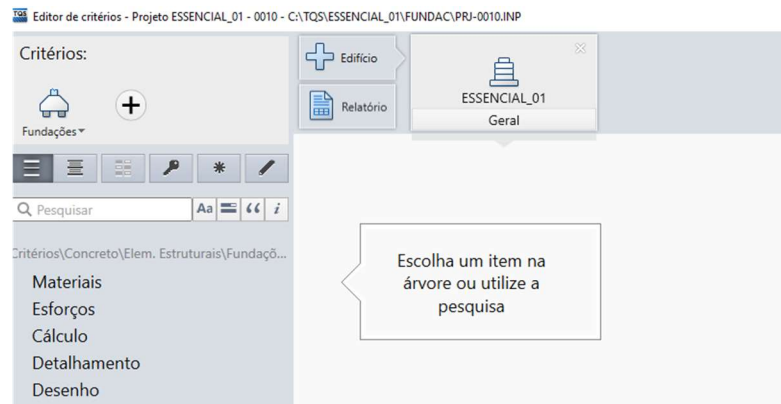
Figura 27 - Menu TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Na página que se abre (Figura 28) podemos ajustar os parâmetros referente as sapatas como materiais, tensões do solo, dimensões mínimas, detalhamento, entre outros.

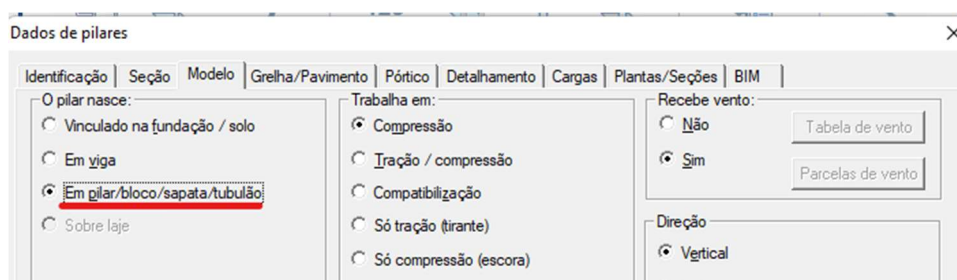
Figura 28 - Critérios Fundações TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Selecionando cada pilar no modo de edição da planta de fundação, selecionamos a característica em que o pilar nasce sobre outro pilar ou elemento de fundação, como mostrado na Figura 29. Dessa forma, será criada ligação rígida entre o CG deste pilar e aquele sobre o qual se apoia ou com o elemento de fundação.

Figura 29 - Dados de pilares TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Importante verificar se todos os pilares estão configurados desta forma antes da aplicação das fundações. Após a verificação, abrimos a janela de “Dados atuais” e clicamos na aba seção, assim podemos alterar os dados da fundação, como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Dados fundações

Edição de dados de fundação

Dados da fundação

Vigas apoiam na fundação ☐ Não ☒ Sim ?

Pilar fictício para cálculo ☒ Não ☐ Sim ?

Dimensões de pilar fictício X 0 cm Y 0 cm

Fundação em cálice ☒ Não ☐ Sim Editar

Rebaixo da face superior 0 cm

Contorno poligonal ☒ Não ☐ Sim Definir Ler

Sapata | Bloco | Tubulão

Topo

Colarinho ☐ Não ☒ Sim 5 cm

TX 0 cm TY 0 cm

EXCX 0 cm EXCY 0 cm

Sapata de divisa

Base

DIMX 60 cm DIMY 80 cm

Altura

HS 60 cm H0X 30 cm H0Y 30 cm

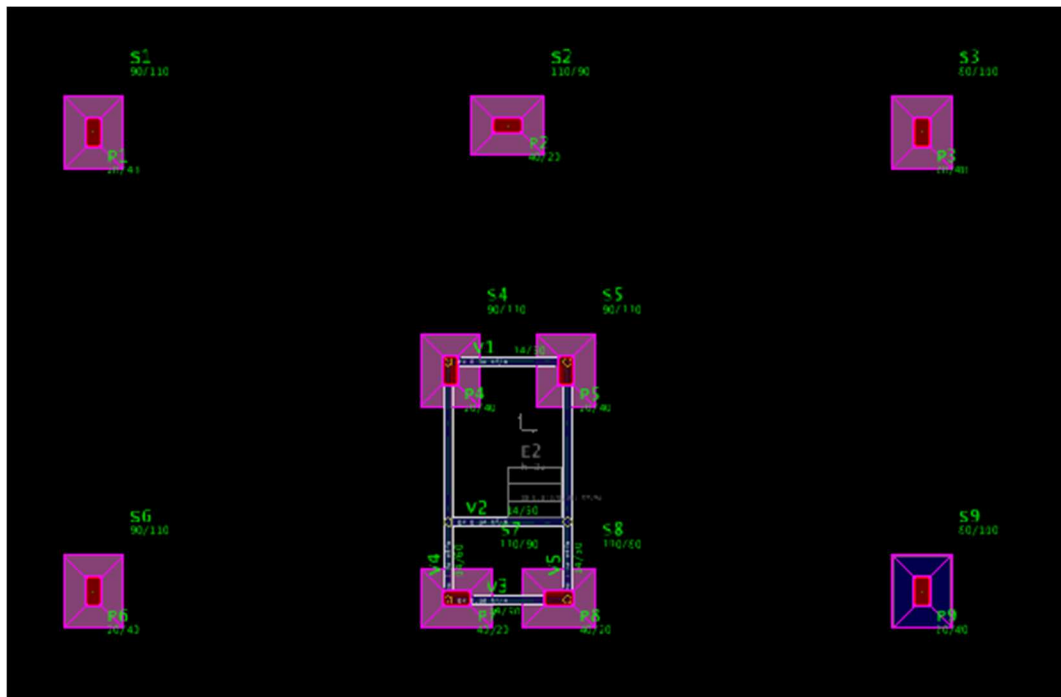
Altura Y do rodapé da sapata

OK Cancelar

(Fonte: Próprio autor, 2025).

Por fim, após a aplicação de todas as fundações, utilizamos a função “Renumeração de elementos” para ordená-las, a Figura 31 mostra a planta após os ajustes. Assim, podemos usar a função de pré-dimensionamento.

Figura 31 - Planta fundações



(Fonte: Próprio autor, 2025).

4.4. CÁLCULO DAS CARGAS SOBRE ELEMENTOS

4.4.1. CARGAS NAS LAJES

No TQS, a carga nas lajes é medida em tf/m^2 , geralmente distribuídas por toda a laje. Neste cálculo as ações que compõem a carga permanente (g) são: o peso próprio (pp); pavimentação e revestimento; e cargas de parede. Além desses, teremos também o cálculo da carga accidental (q).

Importante ressaltar que o programa calcula o peso próprio da laje, de acordo com a espessura e considerando o peso específico do concreto (γ) $2,5 \text{ tf}/\text{m}^3$. Usando como exemplo, o cálculo da laje L1 com 12 cm de espessura (h), temos:

$$PP_{L1} = \gamma_{\text{concreto}} * h_{L1}$$

$$PP_{L1} = 2,5 \text{ tf}/\text{m}^3 * 0,12 \text{ m} = 0,300 \text{ tf}/\text{m}^2$$

Para a ação da pavimentação e do revestimento, adotaremos uma carga padrão de $0,150 \text{ tf}/\text{m}^2$.

Já para a carga accidental, vamos consultar a *Tabela 10 - Valores característicos nominais das cargas variáveis* na NBR 6120:2019 para determinar as cargas para utilização nas edificações. A Tabela 1 traz o trecho que vamos utilizar para este trabalho. O projeto questão será residencial, dessa forma adotaremos uma carga de $0,150 \text{ tf/m}^2$.

Tabela 1 - Valores característicos nominais das cargas variáveis

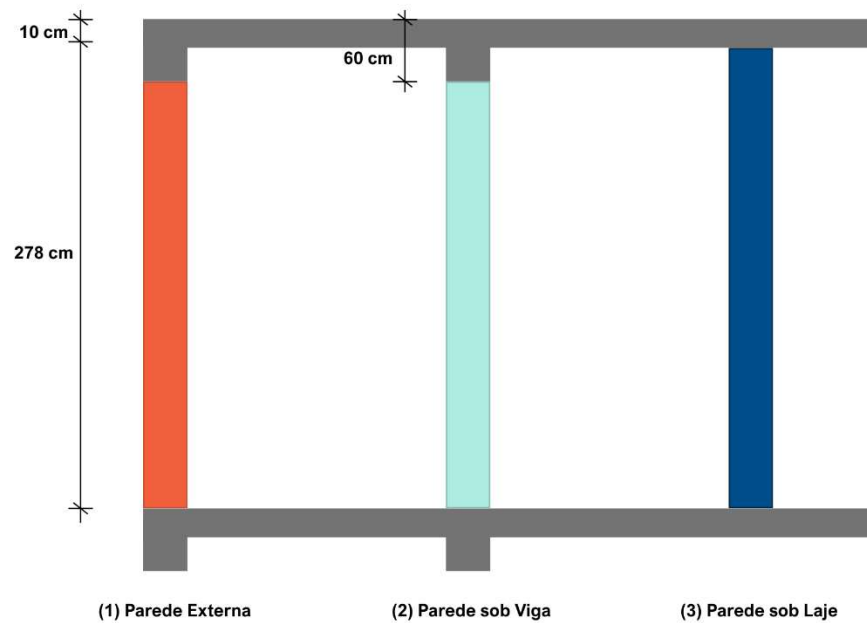
Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Cozinhas não residenciais ^a	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	3	—
	Câmara fria	5	—
Depósitos de uso geral ^a As cargas devem ser validadas caso a caso, porém com os valores mínimos indicados nesta Tabela.	Validar caso a caso, respeitando o valor mínimo indicado nesta Tabela	7,5 kN/m ² até 2,5 m de altura de estoque + 3 kN/m ² por metro de altura de estoque excedente ^p	q
	Locais sujeitos ao acúmulo de mercadorias, incluindo zonas de acesso Materiais de armazenagem (ver 6.9) Supermercados (ver item nesta Tabela)	7,5	q
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	—
	Sala, copa, cozinha	1,5	—
	Sanitários	1,5	—
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	—
	Quadras esportivas	5 ^a	—
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	—
	Áreas de uso comum	3 ^a	—
	Academia	3 ^a	—
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	—
	Sótão	2 ^a	—
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	—
	Corredores de uso comum	3	—
	Depósitos	3	—
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
	Jardins (ver item nesta Tabela)		

(Fonte: ABNT NBR 6120, 2019).

4.4.2. CARGAS DE PAREDES

A fim de compreender melhor o cálculo das cargas de paredes, foi elaborado o esboço da Figura 32. Neste caso, temos a carga de parede aplicada de três formas: (1) parede externa; (2) parede sob viga; (3) parede sob laje.

Figura 32 - Carga de paredes



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Considerando que a parede será feita de tijolo cerâmico, podemos adotar para o peso específico do material da parede $0,150 \text{ t/m}^2$. Com exceção da parede externa, que devido aos revestimentos extras, vamos adotar um peso específico de $0,250 \text{ t/m}^2$. Dessa forma, conseguimos calcular a carga da parede para cada situação.

a. Parede externa

$$PAR_{laje} = \gamma * h_p$$

$$PAR_{externa} = 0,250 \text{ t/m}^2 * 2,28 \text{ m}$$

$$PAR_{externa} \cong 0,57 \text{ t/m}$$

b. Parede sob viga

$$PAR_{laje} = \gamma * h_p$$

$$PAR_{viga} = 0,150 \text{ t/m}^2 * 2,28 \text{ m} \cong 0,34 \text{ t/m}$$

$$PAR_{viga} \cong 0,34 \text{ t/m}$$

c. Parede sob laje

$$PAR_{laje} = \dot{\gamma} * h_p$$

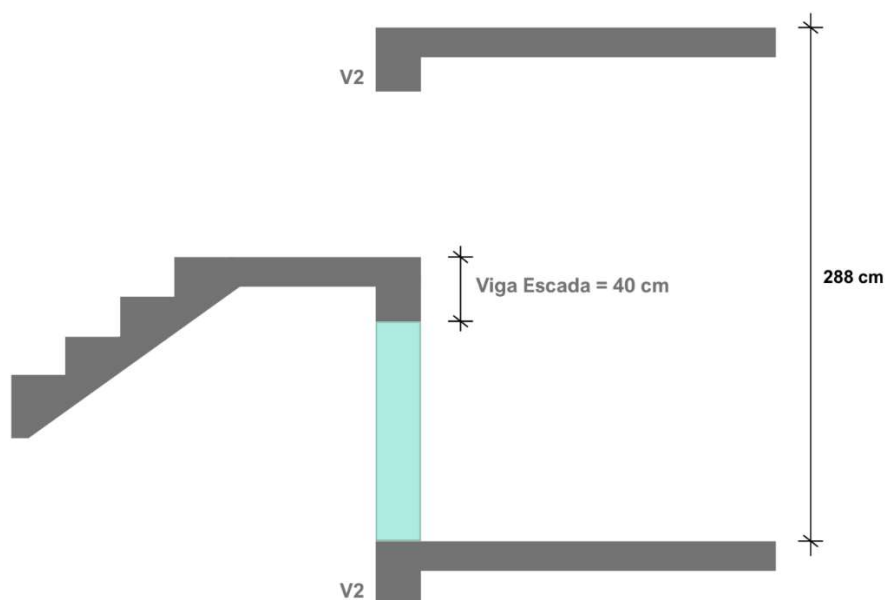
$$PAR_{laje} = 0,150 \text{ t/m}^2 * 2,78 \text{ m}$$

$$PAR_{laje} \cong 0,42 \text{ t/m}$$

4.4.3. CARGAS NAS VIGAS

Entre a vigas de cada pavimento, vamos adicionar uma intermediária, para apoio do patamar da escada, vamos chamá-la de Viga Escada com 40cm de altura, como ilustrado na Figura 33.

Figura 33 - Carga viga escada



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Dessa forma, calcula-se a carga da parede sob a viga da escada (parede em azul no esboço):

$$h_{parede\ escada} = \frac{288 - 40 - 60}{2} = 94\ cm$$

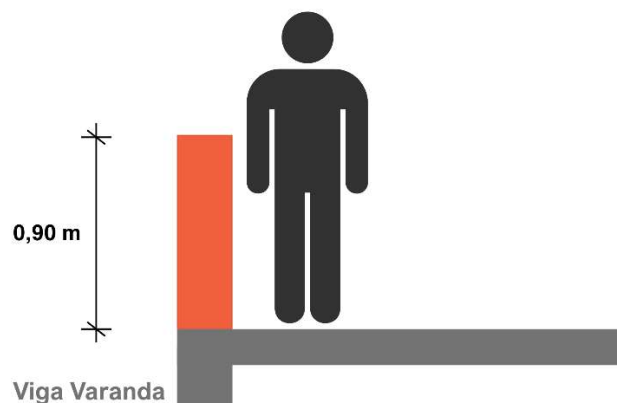
$$PAR_{ESCADA} = h_{parede\ escada} * \gamma$$

$$PAR_{ESCADA} = 0,94 * 0,150$$

$$\mathbf{PAR_{ESCADA} = 0,140\ t/m}$$

Outro local importante de se analisar é viga de borda da varanda, como ilustrado na Figura 34.

Figura 34 - Viga de borda da varanda



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Assim, para o cálculo da carga na viga da varanda, temos que:

$$PAR_{VARANDA} = h_{parede\ varanda} * \gamma$$

$$PAR_{VARANDA} = 0,90 * 0,250$$

$$\mathbf{PAR_{VARANDA} = 0,225t/m}$$

Para esse caso, vamos adotar uma carga acidental de 0,200 t/m dessa forma ficamos com a seguinte carga:

$$Carga_{varanda} = PAR_{VARANDA} + Carga\text{ acidental}$$

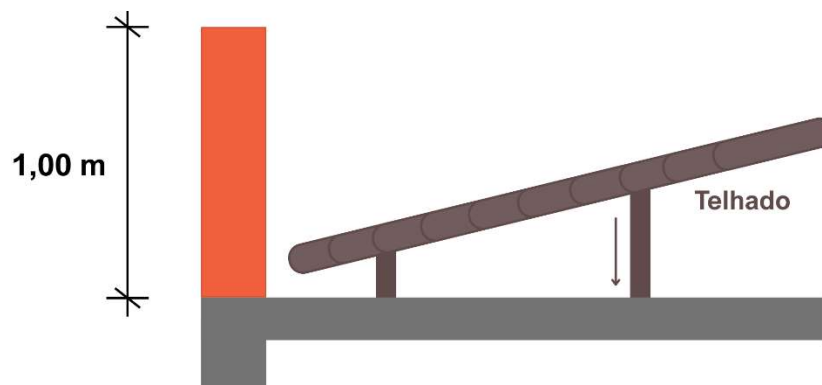
$$Carga_{varanda} = 0,225 + 0,200$$

$$Carga_{varanda} = 0,425\text{ t/m}$$

4.4.4. CARGAS DA COBERTURA

Na cobertura, temos o cálculo das cargas geradas pelo peitoril, aplicadas nas vigas de extremidade, além do peso da cobertura aplicada sob a laje de cobertura. Para compreender melhor, foi elaborado o esboço da Figura 35.

Figura 35 - Carga cobertura



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Cargas nas vigas de extremidade:

$$Carga_{Parede\ Cobertura} = PAR_{Cobertura} + Carga\text{ acidental}$$

$$Carga_{Parede\ Cobertura} = 0,250 + 0,200$$

$$Carga_{Parede\ Cobertura} = 0,450\text{ t/m}$$

Carga permanente na laje de cobertura:

$$g_{Cobertura} = (Pav + Rev) + Coberta$$

$$g_{Cobertura} = 0,100 + 0,100$$

$$g_{Cobertura} = 0,200 \text{ t/m}^2$$

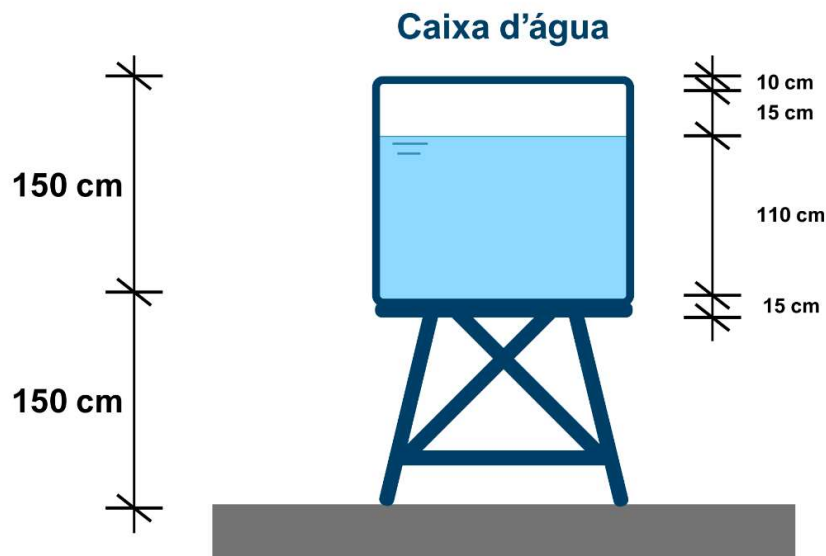
Carga accidental na laje de cobertura:

$$q = 0,050 \text{ t/m}^2$$

4.4.5. CARGAS CAIXA D'ÁGUA

Foi feito um esboço (Figura 36) com as medidas necessárias para entender o cálculo das ações geradas pela caixa d'água sob a cobertura.

Figura 36 - Carga caixa d'água



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Para definir a carga da caixa d'água, dividimos o cálculo em duas partes:

Tampa

O peso próprio é calculado pelo próprio programa. Para a ação da pavimentação e do revestimento, adotaremos uma carga padrão (g) de 0,150 tf/m². Para carga

acidental (q) vamos considerar $0,300 \text{ tf/m}^2$ devido a instalação de antenas acima da caixa d'água nos edifícios.

Fundo

Para a camada de impermeabilização vamos adicionar $0,150 \text{ tf/m}^2$. No cálculo do peso da água, considerando uma altura da coluna d'água de 110 cm, temos $1,100 \text{ tf/m}^2$. Somando, temos uma carga permanente (g) de $1,250 \text{ tf/m}^2$. Neste caso não temos carga acidental (q).

TQS

Para aplicação das cargas no TQS, vamos somar as cargas permanentes e acidentais da seguinte forma:

$$g = 0,150 \text{ tf/m}^2 + 1,250 \text{ tf/m}^2$$

$$\mathbf{g = 1,400 \text{ tf/m}^2}$$

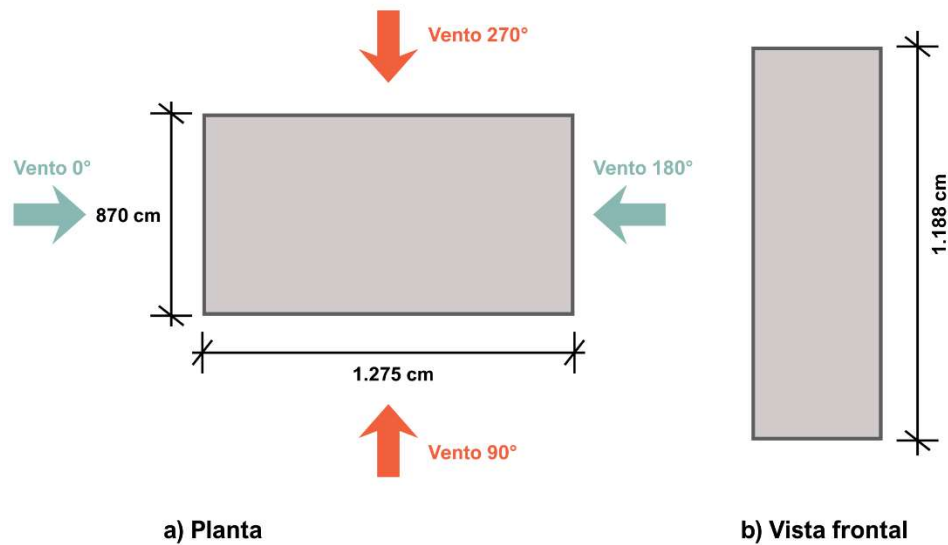
$$g = 0,300 \text{ tf/m}^2 + 0 \text{ tf/m}^2$$

$$\mathbf{q = 0,300 \text{ tf/m}^2}$$

4.4.6. AÇÃO DO VENTO

As forças devidas ao vento em edificações são parametrizadas segundo a norma ABNT NBR 6123:2023. O esquema da edificação em estudo foi apresentado na Figura 37, em planta e vista frontal. Primeiramente, antes de calcular o coeficiente de arrasto, precisamos definir as direções do vento – representadas na figura abaixo.

Figura 37 - Ação do vento



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Vento 90°

Sendo o lado L1 do edifício aquele que recebe a força do vento em 90°, temos o lado com 1.275 cm. Assim, temos o lado L2 com 870 cm e a altura H com 1.188 cm. Para utilizar o ábaco presente na norma, precisamos calcular as relações abaixo.

$$\frac{L1}{L2} = \frac{1.275}{870} = 1,47$$

$$\frac{H}{L1} = \frac{1.188}{1.275} = 1,07$$

Vento 0°

Sendo o lado L1 do edifício aquele que recebe a força do vento em 0°, temos o lado com 870 cm. Assim, temos o lado L2 com 1.275 cm e a altura H com 1.188 cm. Para utilizar o ábaco presente na norma, precisamos calcular as relações abaixo.

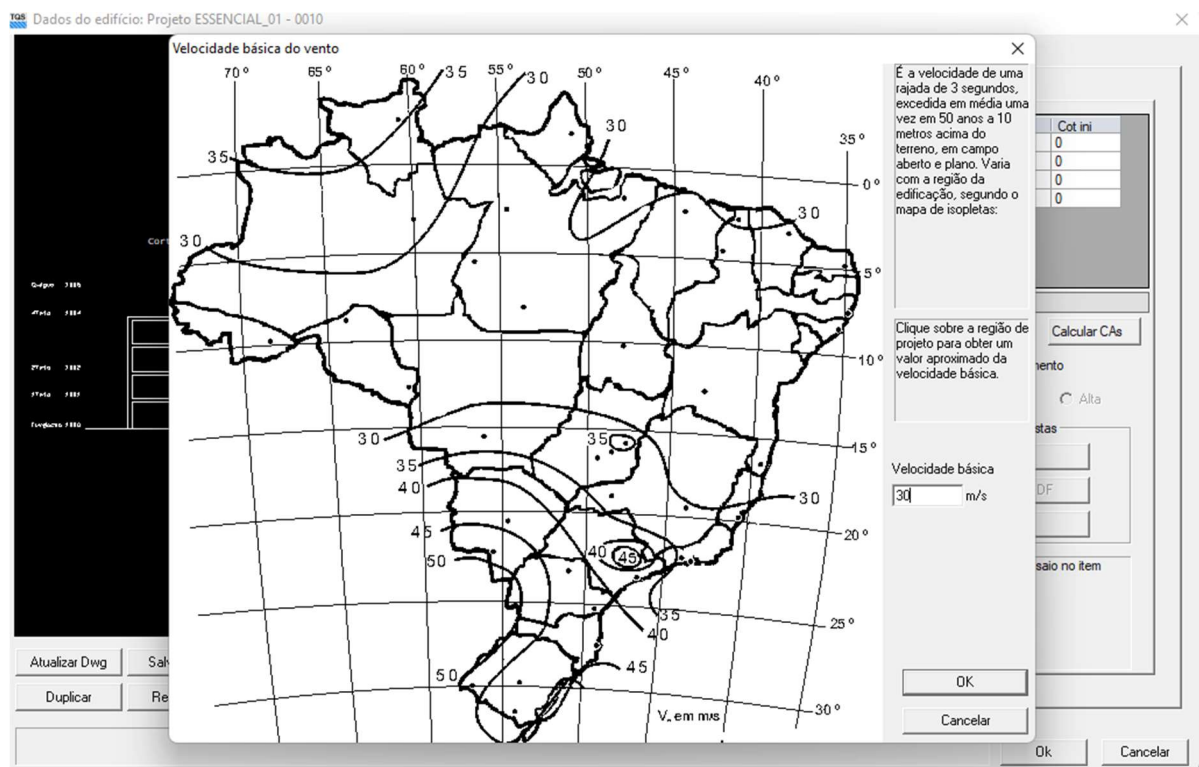
$$\frac{L1}{L2} = \frac{870}{1.275} = 0,68$$

$$\frac{H}{L1} = \frac{1.188}{870} = 1,37$$

TQS

Com os parâmetros definidos, entramos com os valores no programa. No projeto consideramos a localização do terreno no Ceará, com uma velocidade básica de 30 m/s, como mostra a Figura 38.

Figura 38 - Mapa velocidade básica do vento



(Fonte: Próprio autor, 2025).

A Figura 39 apresenta os demais parâmetros definidos no TQS.

Figura 39 - Coeficiente de Arrasto TQS

Verticais Vento Adicionais Adicionais-2 Combinações

V0 - Velocidade básica 30 m/s

S1 - Fator do terreno 1.00

S2 - Categoria de rugosidade III

S2 - Classe da edificação A

S3 - Fator estatístico 1.00

FV - Fator de vizinhança

☐ Excentricidade em todos os casos 15.0 %

☐ Casos de vento nas plantas de formas

☐ Cálculo automático de CA no processamento

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1	Não	0
2	270	1	Não	0
3	0	1	Não	0
4	180	1	Não	0

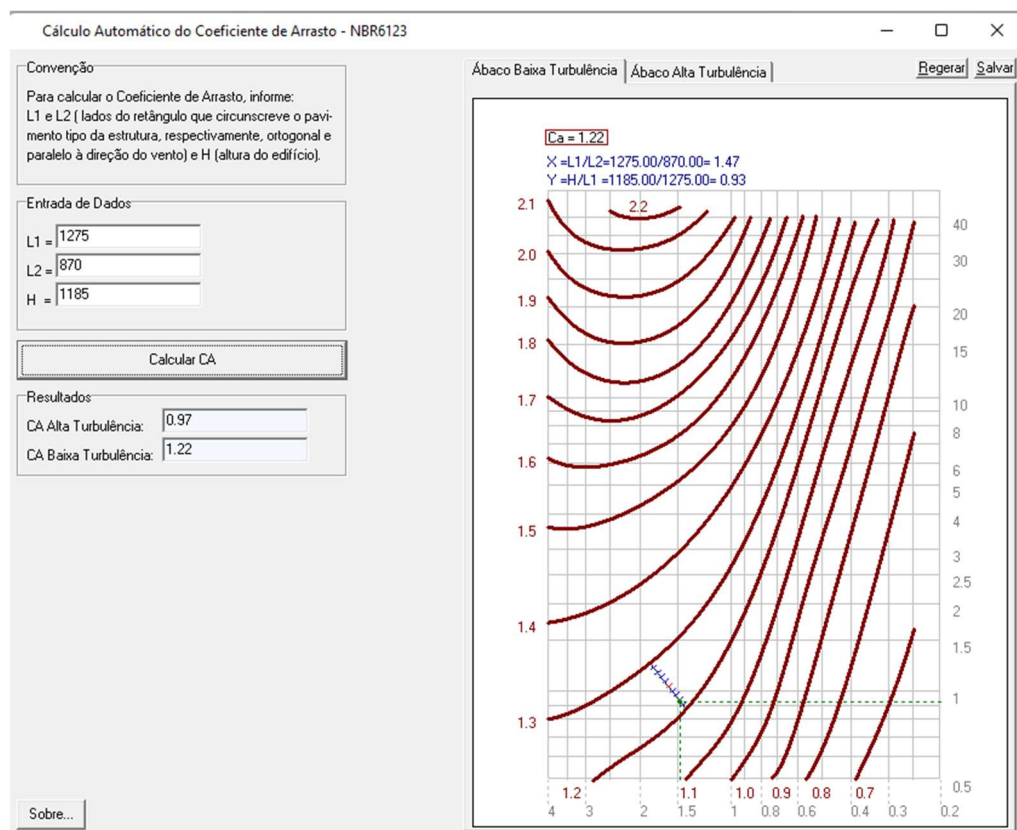
Inserir Apagar Calcular CAs

(Fonte: Próprio autor, 2025).

Por fim, utilizando o botão “Calcular CAs” os índices são inseridos no ábaco retornando o Coeficiente de arrasto para o vento em cada direção.

- Vento 90°

Figura 40 - CA para Ventos a 90°



(Fonte: Próprio autor, 2025).

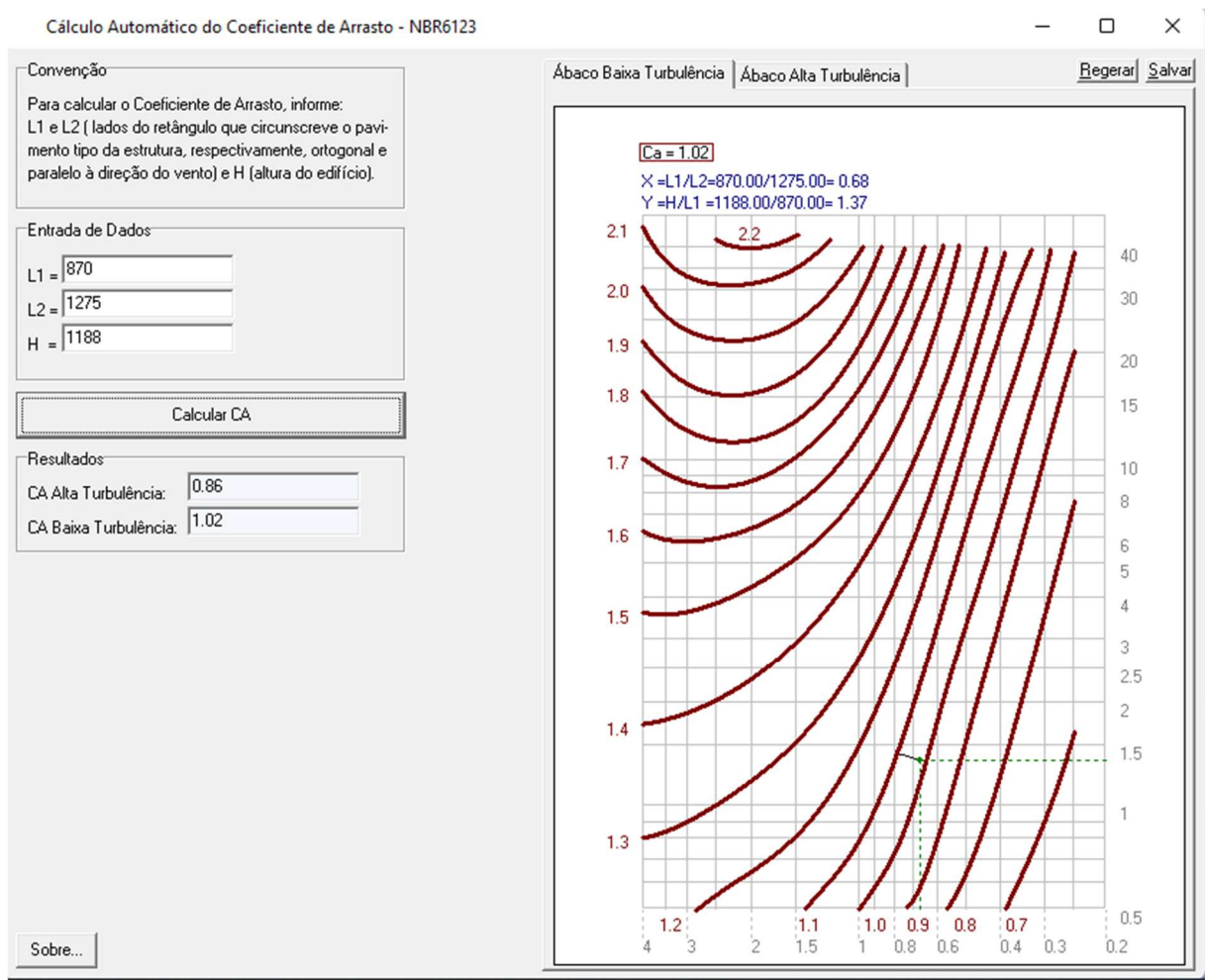
Simplificando os resultados, faremos uma média do CA e alta e baixa turbulência.

$$CA_{90^\circ} = \frac{0,97 + 1,22}{2}$$

$$CA_{90^\circ} = 1,1$$

- Vento 0°

Figura 41 - CA para Ventos a 0°



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Simplificando os resultados, faremos uma média do CA e alta e baixa turbulência.

$$CA_{0^\circ} = \frac{0,86 + 1,02}{2}$$

$$CA_{0^\circ} = 0,94$$

Por fim, os resultados são inseridos na tabela, conforme mostra a Figura 42.

Figura 42 - Tabela CA preenchida

Dados do edifício: Projeto ESSENCIAL_01 - 0010

Corte esquemático

Diagrama de corte esquemático de um edifício com 4 andares. As dimensões e níveis são indicados no lado direito: 1.º Andar (0 a 2,70m), 2.º Andar (2,70 a 5,40m), 3.º Andar (5,40 a 8,10m), 4.º Andar (8,10 a 10,80m). O total da altura é 10,80m.

Verticals | Vento | Adicionais | Adicionais-2 | Combinações

V0 - Velocidade básica: 30 m/s

S1 - Fator do terreno: 1,00

S2 - Categoria de rugosidade: III

S2 - Classe da edificação: A

S3 - Fator estatístico: 1,00

FV - Fator de vizinhança: 1,00

☐ Excentricidade em todos os casos: 15,0 %

☐ Casos de vento nas plantas de formas

Angulo de incidência de vento: 90°, 180°, 0°, 270°

Avançado...

	Angulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1,10	Não	0
2	270	1,10	Não	0
3	0	0,94	Não	0
4	180	0,94	Não	0

Coeficiente de arrasto nesta direção

Inserir | Apagar | Calcular CAs

☐ Cálculo automático de CA no processamento

Turbulência do vento: ☒ Baixa ☐ Alta

Tabelas de excentricidades e forças impostas

Excentricidades do caso selecionado

Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF

Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML

Gerar um caso de excentricidade positiva e outro negativa para cada caso de vento

Atualizar Dwg | Salvar Dwg | Duplicar | Renomear | Salvar como modelo

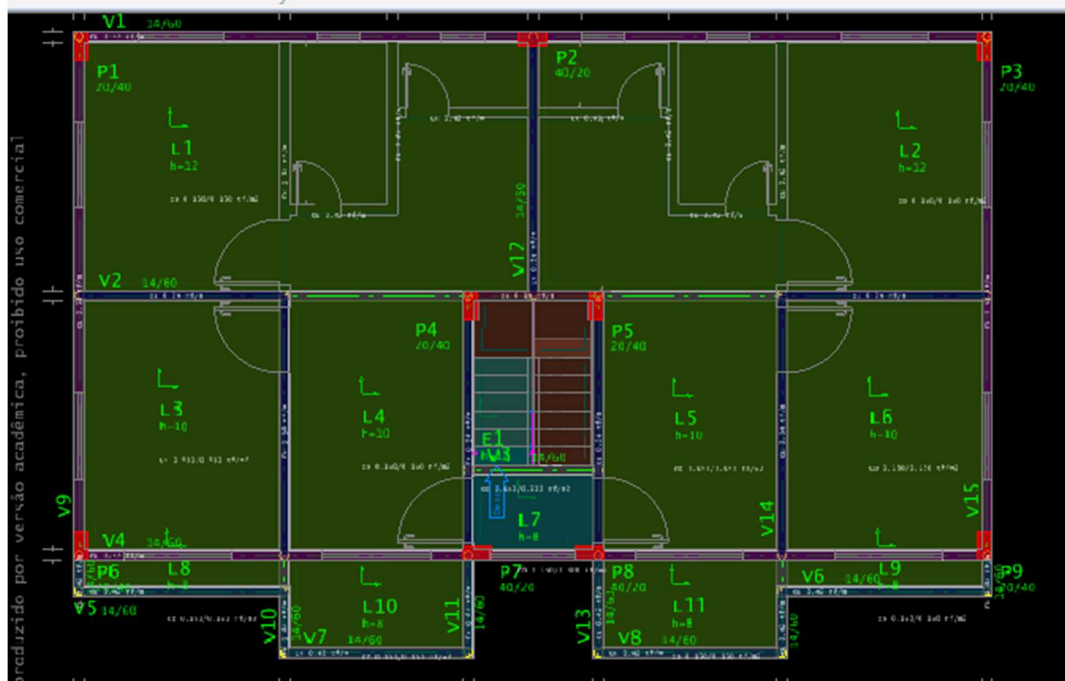
Ok | Cancelar

(Fonte: Próprio autor, 2025).

4.4.7. APLICAÇÃO DAS CARGAS NO TQS

Por fim, adicionamos todas as cargas aos elementos no TQS. Podemos ver na Figura 43, o pavimento tipo com todas as cargas aplicadas.

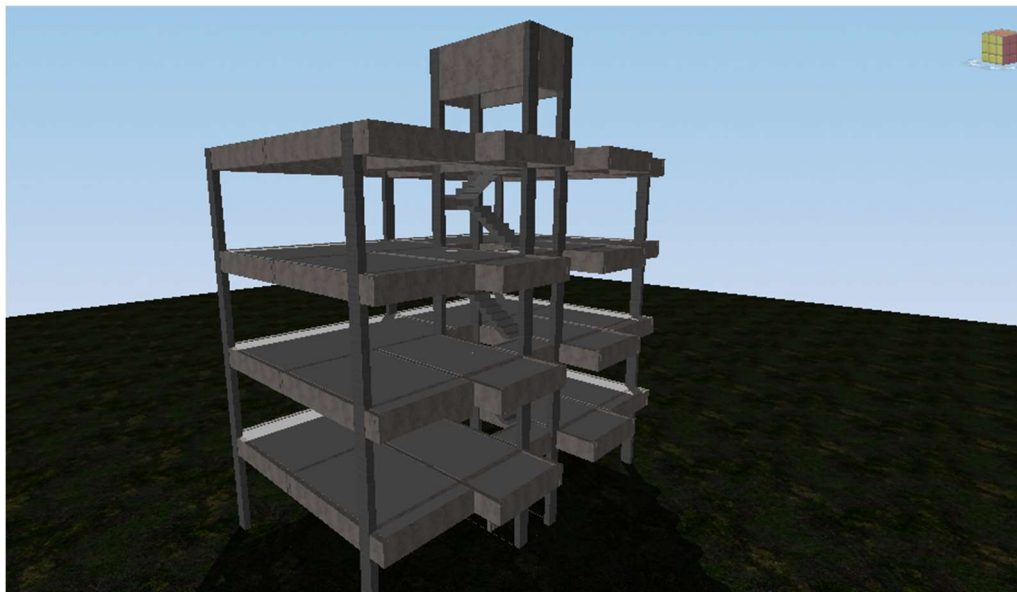
Figura 43 - Cargas aplicadas no TQS



(Fonte: Próprio autor, 2025).

Conseguimos agora, compreender todos os elementos do edifício na visualização 3D, Figura 44.

Figura 44 - Visualização 3D múltiplos andares



(Fonte: Próprio autor, 2025).

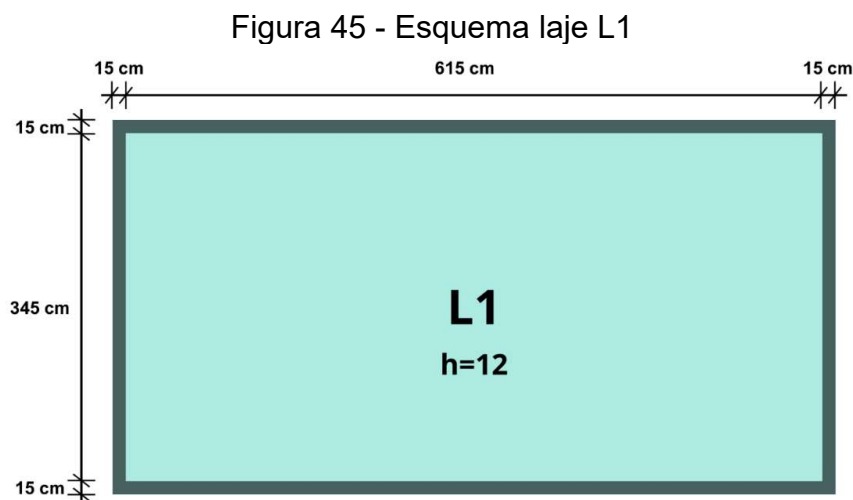
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CÁLCULO ANALÍTICO

Nesse tópico vamos dimensionar as lajes L1 e L3 para posteriormente compararmos com os resultados obtidos pelo programa TQS.

5.1.1. VÃO EFETIVO

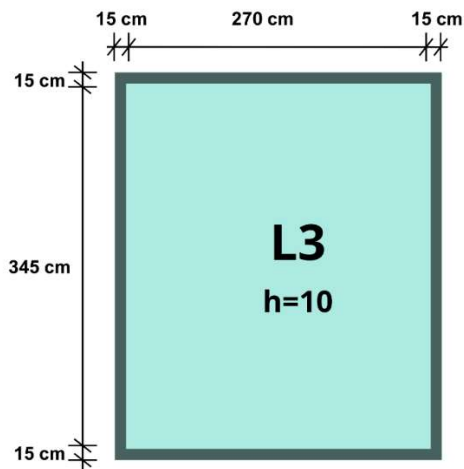
De início vamos calcular o vão efetivo das lajes, para isso precisamos conhecer as dimensões das lajes em estudo. Na Figura 45 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** temos uma representação da laje L1 e de suas respectivas dimensões.



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Na Figura 46 temos uma representação da laje L3 e de suas respectivas dimensões.

Figura 46 - Esquema laje L3



(Fonte: Próprio autor, 2026).

Vamos calcular o vão efetivo das lajes, sendo:

- ℓ_x : dimensão principal da laje (sempre é a menor dimensão);
- ℓ_y : dimensão secundária.

O vão efetivo é calculado utilizando a Equação (1):

$$\ell_{ef} = \ell_o + t_1/2 + t_2/2 \quad (1)$$

Dessa forma, foi calculado o vão efetivo para as lajes L1, L3 e as lajes que fazem divisa com essas. Os valores estão expostos na Tabela 2

Tabela 2 – Vão efetivo das lajes

Laje	ℓ_x (cm)	ℓ_y (cm)
L1	360	630
L2	360	630
L3	285	360
L4	255	360
L8	50	285

(Fonte: Próprio autor, 2026).

5.1.2. DIAGRAMA UNIFILAR

Em seguida, definiremos o diagrama unifilar, onde caracterizamos a vinculação ou condições de contorno das lajes. As lajes podem ser consideradas engastadas uma nas outras se atenderem a seguinte condição, da Equação (2):

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2 \quad (2)$$

Se a condição for **VERDADIRA** ambas as lajes serão **engastadas**;

Se a condição for **FALSA** a laje com menor ℓ_x será **engastada** e a laje de maior ℓ_x será **simplesmente apoiada**.

Sendo:

- $\ell_{x,A}$: a laje com maior ℓ_x
- $\ell_{x,B}$: a laje com menor ℓ_x

Definimos assim os vínculos das lajes L1 e L2 com as demais lajes.

- Vínculo L1 e L2:

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2$$

$$3,6^2 \leq 2 \times 3,6^2$$

$$12,96 \leq 25,92 \text{ (OK)}$$

Como a condição é verdadeira, ambas as lajes têm a borda engastada.

- Vínculo L1 e L3:

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2$$

$$3,6^2 \leq 2 \times 2,85^2$$

$$12,96 \leq 16,25 \text{ (OK)}$$

Como a condição é verdadeira, ambas as lajes têm a borda engastada.

- Vínculo L1 e L4:

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2$$

$$3,6^2 \leq 2 \times 2,55^2$$

$$12,96 \leq 13,01 \text{ (OK)}$$

Como a condição é verdadeira, ambas as lajes têm a borda engastada.

- Vínculo L3 e L4:

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2$$

$$2,85^2 \leq 2 \times 2,55^2$$

$$8,12 \leq 13,01 \text{ (OK)}$$

Como a condição é verdadeira, ambas as lajes têm a borda engastada.

- Vínculo L3 e L8:

$$\ell_{x,A}^2 \leq 2 * \ell_{x,B}^2$$

$$2,85^2 \leq 2 \times 0,50^2$$

$$8,12 \leq 0,50 \text{ (NÃO OK)}$$

Como a condição é falsa, a borda da laje L8 é engastada na laje L3, e a laje L3 é simplesmente apoiada.

Dessa forma, temos na Tabela 3 a definição das vinculações entre as lajes de acordo com o critério mencionado. Na última coluna foi definido o tipo de laje, de acordo com o critério de vinculação, que será posteriormente utilizada para consulta nas tabelas A-8 e A9 da apostila *Lajes de Concreto Armado* do Prof. Dr. Paulo Sérgio Bastos.

Tabela 3 - Vinculação entre as lajes

Laje	Vinculação	Conclusão do critério	Tipo de laje
L1	L1 - L2	Ambas as lajes engastadas	Tipo 3
	L1 - L3	Ambas as lajes engastadas	Tipo 3
	L1 - L4	Ambas as lajes engastadas	Tipo 3
L3	L3 – L1	Ambas as lajes engastadas	Tipo 3
	L3 – L4	Ambas as lajes engastadas	Tipo 3
	L3 – L8	L8 engastada L3 apoiada	Tipo 3

(Fonte: Próprio autor, 2026).

5.1.3. AÇÕES

Nesse tópico vamos calcular as ações permanentes e variáveis que envolvem o estudo do dimensionamento do edifício em questão.

- Carga permanente

Como visto anteriormente no tópico 4.4.1. o peso próprio das lajes varia em função de sua espessura. Para a ação da pavimentação e do revestimento, foi adotada uma carga padrão de $1,50 \text{ KN/m}^2$. Para o peso das paredes, utilizando a Tabela 11 da NBR 6120:2019, adotaremos $1,00 \text{ KN/ m}^2$

- Carga acidental

Já para a carga acidental, consultamos a Tabela 10 - Valores característicos nominais das cargas variáveis da NBR 6120:2019 para determinar as cargas para utilização nas edificações. O projeto questão será residencial, dessa forma adotamos uma carga de $1,50 \text{ KN/m}^2$. Importante observar que para lajes em balanço deve-se considerar uma carga acidental adicional de $4,0 \text{ KN/m}^2$.

A partir das informações que temos, foram calculadas as ações para cada laje. Os resultados estão tabelados na Tabela 4.

Tabela 4 - Ações nas lajes

Laje		L1	L2	L3	L4	L8
Características	Tipo	3	3	3	3	3
	ℓ_x	3,60	3,60	2,85	2,55	0,50
	ℓ_y	6,30	6,30	3,60	3,60	2,85
Ações (KN/m²)	Peso próprio	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5
	Revestimento	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Paredes	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Cargas permanentes (g)	5,5	5,5	5,0	5,0	5,0
	Cargas acidentais (q)	1,5	1,5	1,5	1,5	5,5
	Carga total (p)	7,0	7,0	6,5	6,5	10,5

(Fonte: Próprio autor, 2026).

5.1.4. MOMENTOS FLETORES

Para o cálculo dos momentos fletores, utilizaremos os coeficientes adimensionais (μ) correspondente a cada tipo de laje, estabelecidos nas tabelas A-8, A-9, A-10, A-11 e A-12 fornecidas na apostila *Lajes de Concreto Armado* do Prof. Dr. Paulo Sérgio Bastos.

Um dado importante que será utilizado no cálculo dos momentos é a relação entre o lado maior e o lado menor das lajes, que é dado pela Equação (3).

$$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x} \quad (3)$$

Por fim, temos a Equação (4), que será utilizada para calcular os momentos fletores das lajes.

$$M = \mu \frac{p * \ell_x^2}{100} \quad (4)$$

Assim, calculamos os momentos fletores para cada laje. Os resultados foram apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Momentos fletores das lajes

Laje		L1	L2	L3	L4	L8
Características	Tipo	3	3	3	3	3
	ℓ_x	3,60	3,60	2,85	2,55	0,50
	ℓ_y	6,30	6,30	3,60	3,60	2,85
	λ	1,75	1,75	1,26	1,41	5,70
Ações (KN/m²)	Carga total (p)	7,0	7,0	6,5	6,5	10,5
Coefficientes adimensionais	μ_x	5,31	5,31	3,86	4,42	7,03
	μ'_x	11,30	11,30	9,03	9,93	12,50
	μ_y	1,85	1,85	2,56	2,39	1,60
	μ'_y	8,16	8,16	7,72	7,94	8,20
Momentos fletores (KN.m/m)	m_x	4,82	4,82	2,04	1,87	0,18
	m'_x	10,25	10,25	4,77	4,20	0,33
	m_y	1,68	1,68	1,35	1,01	0,04
	m'_y	7,40	7,40	4,08	3,36	0,22

(Fonte: Próprio autor, 2026).

5.1.5. COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS

Nesse tópico vamos realizar a compatibilização dos momentos. Geralmente, quando se analisa a laje isolada, os momentos fletores da borda comum a duas lajes costuma ser diferente, por isso a importância da compatibilização dos valores.

Para os momentos negativos, vamos adotar pelo maior valor entre as opções:

- $(m_1 + m_2)/2$;
- $\text{maior}(m_1; m_2) * 0,8$.

Para os momentos positivos, a correção é realizada apenas quando resultar em acréscimo do momento fletor.

Importante ressaltar que, quando um dos momentos na borda engastada for nulo, não se deve realizar compatibilização.

• Corte L1 – L2

Os momentos para L1 e L2 são iguais, devido a simetria da planta. Portanto, não será necessária a compatibilização dos momentos neste trecho.

• Corte L1 – L3

Momento negativo:

$(m_1 + m_2)/2$		$\text{maior}(m_1; m_2) * 0,8$
$(10,25 + 4,08)/2$		$\text{maior}(10,25; 4,08) * 0,8$
$7,16$		$8,2 \text{ (maior)}$

$$m_{neg,comp} = 8,2 \text{ KN.m/m}$$

Momento positivo:

$$\Delta m = 10,25 - 4,08$$

$$\Delta m = 6,17 \text{ KN.m/m}$$

$$\Delta m_{cor} = m_{pos} + \frac{\Delta m}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 1,35 + \frac{6,17}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 4,44 \text{ KN.m/m}$$

- Corte L1 – L4

Momento negativo:

$(m_1 + m_2)/2$		$maior(m_1; m_2) * 0,8$
$(10,25 + 3,36)/2$		$maior(10,25; 3,36) * 0,8$
6,81		8,2 (maior)

$$m_{neg,comp} = 8,2 \text{ KN.m/m}$$

Momento positivo:

$$\Delta m = 10,25 - 3,36$$

$$\Delta m = 6,89 \text{ KN.m/m}$$

$$\Delta m_{cor} = m_{pos} + \frac{\Delta m}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 1,01 + \frac{6,89}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 4,46 \text{ KN.m/m}$$

- **Corte L3 – L4**

Momento negativo:

$(m_1 + m_2)/2$ $(4,77 + 4,20)/2$ $4,49$ (maior)	$maior(m_1; m_2) * 0,8$ $maior(4,77; 4,20) * 0,8$ $3,82$
---	--

$$m_{neg,comp} = 4,49 \text{ KN.m/m}$$

Momento positivo:

$$\Delta m = 4,77 - 4,20$$

$$\Delta m = 0,57 \text{ KN.m/m}$$

$$\Delta m_{cor} = m_{pos} + \frac{\Delta m}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 1,87 + \frac{0,57}{2}$$

$$\Delta m_{cor} = 2,16 \text{ KN.m/m}$$

- **Corte L3 – L8**

A compatibilização não é realizada por um dos momentos ser nulo.

5.1.6. ARMADURA MÍNIMA

Os valores mínimos para armadura de laje são definidos pela *Tabela 19.1* e *Tabela 17.3* da *NBR 6118:2023*, de acordo com a resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}). Neste projeto, consideramos as seguintes propriedades dos materiais:

- f_{ck} do concreto = 25 MPa (Resistência característica do concreto à compressão)

Temos a condição da Equação (5) para a taxa de armadura mínima, obtida pela *Tabela 19.1 da NBR 6118:2023*.

$$\rho_s \geq \rho_{\min} \quad (5)$$

Para um f_{ck} de 25 Mpa, o valor da taxa de armadura mínima negativa obtido pela *Tabela 17.3 da NBR 6118:2023* é de 0,15%. Supondo vigas com largura de 100 cm (b_w) e utilizando a Equação (6) é possível calcular o valor da armadura mínima.

$$\rho_{\min} = \frac{A_s}{b_w \cdot h} = 0,15\%$$

$$A_{s1,\min} = 0,15 \cdot h \quad (6)$$

Dessa forma, calcula-se a armadura mínima para as lajes L1 e L3.

Laje L1

- Armadura mínima

$$A_{s1,\min} = 0,15 \cdot 12$$

$$A_{s1,\min} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Laje L3

- Armadura mínima

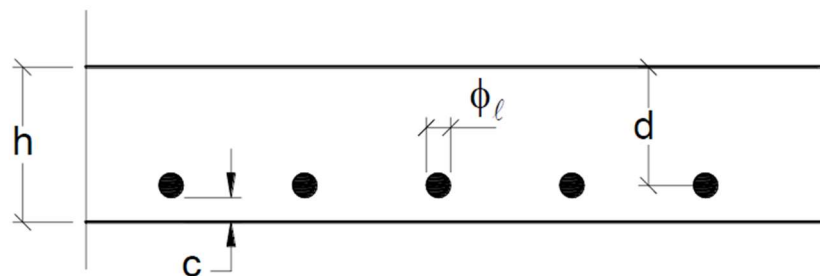
$$A_{s1,\min} = 0,15 \cdot 10$$

$$A_{s1,min} = 1,50 \text{ cm}^2/m$$

5.1.7. ARMADURA NEGATIVA

De início, precisamos estimar a posição da armadura na laje, definindo sua altura útil (d), como mostra a Figura 47.

Figura 47 - Altura útil d para armadura de flexão positiva em laje maciça



(P. S. dos S. BASTOS, 2023)

Para o cálculo da altura útil, vamos utilizar a Equação (7).

$$d = h - c - \frac{\phi}{2} \quad (7)$$

Sendo:

- d : altura útil
- h : espessura da laje
- c : cobrimento
- ϕ : diâmetro da barra de aço

A espessura da laje L1 é de 12 cm e da laje L3 de 10 cm. Sabe-se também que o cobrimento utilizado neste projeto para as lajes é de 2,5 cm. Adotando inicialmente um diâmetro de 10 mm para as barras de aço, conseguimos estimar a altura útil das lajes.

Com a altura útil definida e o momento fletor calculado, calcula-se o coeficiente K_c utilizando a Equação (8).

$$K_c = \frac{b_w \cdot d^2}{M_d} \quad (8)$$

Utilizando a tabela A-25 em anexo na apostila *Lajes de Concreto Armado* do Prof. Dr. Paulo Sérgio Bastos determinam-se os coeficientes β_x e K_s e o domínio em que a laje está. A partir do coeficiente $\beta_x = x/d$, se determina a posição x da linha neutra

Se atendido a todos os critérios, calcula-se por fim a área de armadura utilizando a Equação (9).

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d} \quad (9)$$

Assim sendo, podemos encontrar o diâmetro e o espaçamento entre as barras para a área de armadura efetiva correspondente na tabela A-26 da apostila *Lajes de Concreto Armado*.

Seguindo a sequência explicada acima, foram calculadas as armaduras negativas para cada vínculo.

Vínculo L1 - L2

a. Altura útil, para uma laje com 12 cm de espessura:

$$d_{sup} = 12 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{sup} = 9,0 \text{ cm}$$

b. Valor do coeficiente K_c :

$$K_c = \frac{100 \cdot 9,0^2}{1,4 \cdot 740}$$

$$K_c = 7,82$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,11$;
- $K_s = 0,024$;
- Domínio 2.

c. Área de aço para este trecho:

$$A_s = 0,024 \frac{1,4 \cdot 740}{9,0}$$

$$A_s = 2,76 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (OK!)}$$

d. Armadura efetiva e barras de aço:

$$\text{Ø}6,3 \text{ mm c/ } 11 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 2,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Vínculo L1 – L3

a. Altura útil, para uma laje com 10 cm de espessura:

$$d_{sup} = 10 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{sup} = 7,0 \text{ cm}$$

b. Valor do coeficiente K_c :

$$K_c = \frac{100 \cdot 7,0^2}{1,4 \cdot 820}$$

$$K_c = 4,27$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,21$;
- $K_s = 0,025$;
- Domínio 2.

c. Área de aço para este trecho:

$$A_s = 0,025 \frac{1,4 \cdot 820}{7,0}$$

$$A_s = 4,10 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (OK!)}$$

d. Armadura efetiva e barras de aço:

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 7,5 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 4,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Vínculo L1 – L4

a. Altura útil, para uma laje com 10 cm de espessura:

$$d_{sup} = 10 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{sup} = 7,0 \text{ cm}$$

b. Valor do coeficiente K_c :

$$K_c = \frac{100 \cdot 7,0^2}{1,4 \cdot 820}$$

$$K_c = 4,27$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,21$;
- $K_s = 0,025$;
- Domínio 2.

c. Área de aço para este trecho:

$$A_s = 0,025 \frac{1,4 \cdot 820}{7,0}$$

$$A_s = 4,10 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (OK!)}$$

d. Armadura efetiva e barras de aço:

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 7,5 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 4,20 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Vínculo L3 – L4

a. Altura útil, para uma laje com 10 cm de espessura:

$$d_{sup} = 10 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{sup} = 7,0 \text{ cm}$$

b. Valor do coeficiente K_c :

$$K_c = \frac{100 \cdot 7,0^2}{1,4 \cdot 449}$$

$$K_c = 7,80$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,11$;
- $K_s = 0,024$;
- Domínio 2.

c. Área de aço para este trecho:

$$A_s = 0,024 \frac{1,4 \cdot 449}{7,0}$$

$$A_s = 2,16 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (OK!)}$$

d. Armadura efetiva e barras de aço:

$$\text{Ø}6,3 \text{ mm c/ } 14 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 2,25 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Vínculo L3 – L8

a. Altura útil, para uma laje com 10 cm de espessura:

$$d_{sup} = 10 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{sup} = 7,0 \text{ cm}$$

b. Valor do coeficiente K_c :

$$K_c = \frac{100 \cdot 7,0^2}{1,4 \cdot 33}$$

$$K_c = 106,06$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,01$;
- $K_s = 0,023$;
- Domínio 2.

c. Área de aço para este trecho:

$$A_s = 0,023 \frac{1,4 \cdot 33}{7,0}$$

$$A_s = 0,15 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (NÃO OK!)}$$

$$\therefore A_s = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

d. Armadura efetiva e barras de aço:

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 20 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 1,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.1.8. ARMADURA POSITIVA

Primeiramente verificamos a relação entre o comprimento do elemento e suas dimensões transversais (λ) para definir se a laje é armada em uma ou duas direções. Similar ao tópico anterior, vamos calcular a altura útil inferior e em seguida calcular as armaduras na posição vertical e horizontal. Vamos adotar inicialmente um diâmetro de 10 mm para as barras de aço, conseguimos estimar a altura útil das lajes.

Laje L1

a. Relação λ :

$$\lambda = 1,75 < 2,0 \text{ (laje armada em duas direções)}$$

b. Armadura mínima:

$$A_{s2,mín} = 1,80 \text{ cm}^2/m$$

c. Altura útil, para uma laje com 12 cm de espessura:

$$d_{inf} = 12 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{inf} = 9 \text{ cm}$$

d. Armadura direção X:

$$K_c = \frac{100 \cdot 9^2}{1,4 \cdot 482}$$

$$K_c = 12,00$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,07$;
- $K_s = 0,024$;
- Domínio 2

$$A_s = 0,024 \frac{1,4 \cdot 482}{9}$$

$$A_s = 1,81 \text{ cm}^2/m > A_{s1,mín} = 1,80 \text{ cm}^2/m \text{ (OK!)}$$

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 17 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 1,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

e. Armadura direção Y:

$$K_c = \frac{100 \cdot 9^2}{1,4 \cdot 168}$$

$$K_c = 34,44$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,02$;
- $K_s = 0,023$;
- Domínio 2

$$A_s = 0,023 \frac{1,4 \cdot 168}{9}$$

$$A_s = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,min} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (NÃO OK!)}$$

$$\therefore A_s = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 17,5 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Laje L3

a. Relação λ :

$$\lambda = 1,26 < 2,0 \text{ (laje armada em duas direções)}$$

b. Armadura mínima:

$$A_{s2,mín} = 1,80 \text{ cm}^2/m$$

c. Altura útil, para uma laje com 10 cm de espessura:

$$d_{inf} = 10 - 2,5 - \frac{1}{2}$$

$$d_{inf} = 7 \text{ cm}$$

d. Armadura direção X:

$$K_c = \frac{100 \cdot 7^2}{1,4 \cdot 204}$$

$$K_c = 17,15$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,04$;
- $K_s = 0,023$;
- Domínio 2

$$A_s = 0,023 \frac{1,4 \cdot 204}{7}$$

$$A_s = 0,94 \text{ cm}^2/m > A_{s1,mín} = 1,80 \text{ cm}^2/m \text{ (NÃO OK!)}$$

$$\therefore A_s = 1,80 \text{ cm}^2/m$$

$$\text{Ø}6,3 \text{ mm c/ } 17,5 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 1,80 \text{ cm}^2/m$$

e. Armadura direção Y:

$$K_c = \frac{100 \cdot 7^2}{1,4 \cdot 444}$$

$$K_c = 7,88$$

Consultando a Tabela A-25, determinamos as seguintes informações:

- $\beta_x = 0,10$;
- $K_s = 0,024$;
- Domínio 2

$$A_s = 0,024 \frac{1,4 \cdot 444}{7}$$

$$A_s = 2,10 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{s1,\text{mín}} = 1,80 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ (OK!)}$$

$$\emptyset 6,3 \text{ mm c/ } 15 \text{ cm}$$

$$A_{s,ef} = 2,10 \text{ cm}^2/\text{m}$$

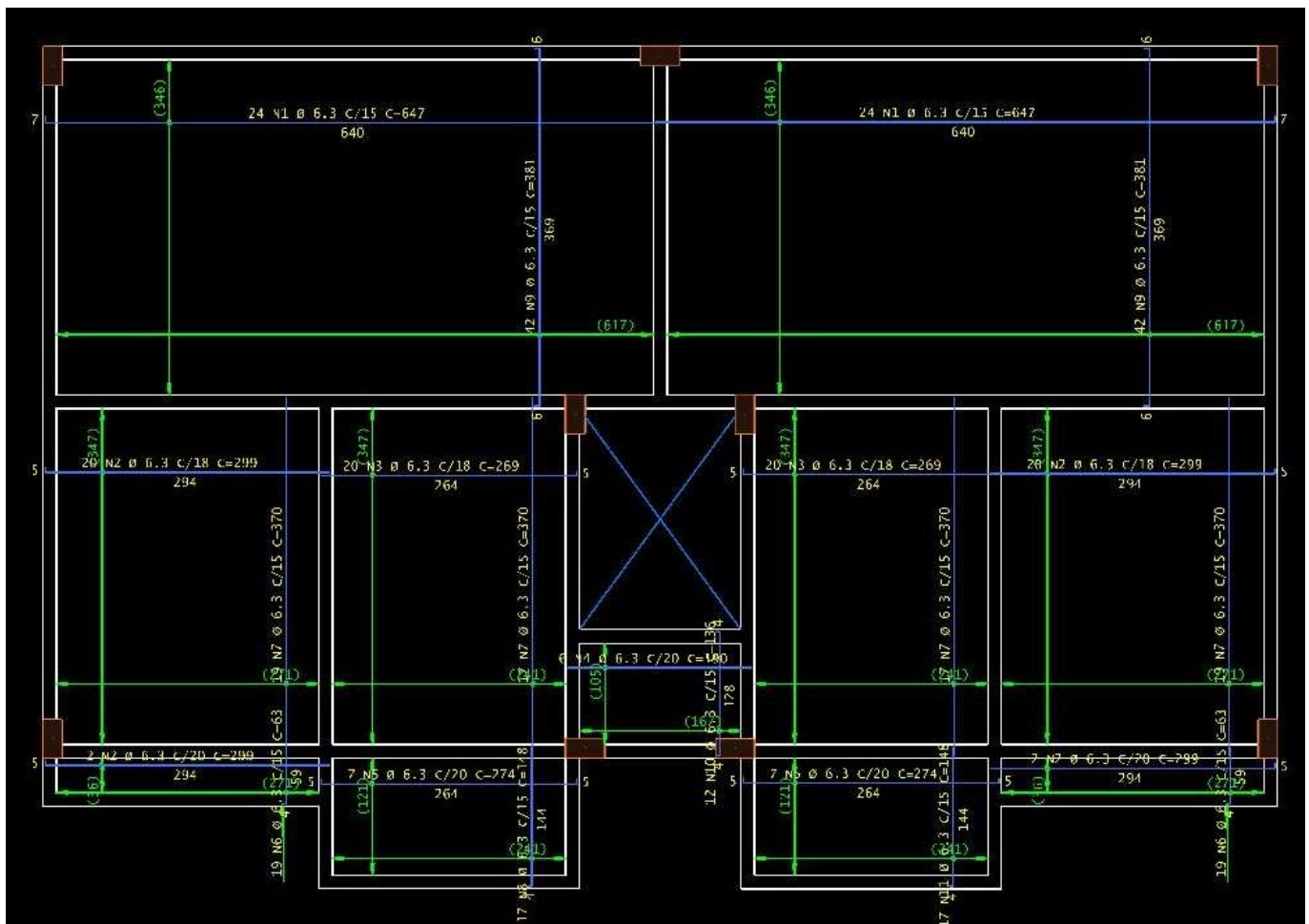
5.2. RESULTADOS TQS

Por fim, após a modelagem da planta e o desenvolvimento do detalhamento das armaduras apresentado no tópico 4, foram geradas as plantas de armaduras positivas e negativas para cada pavimento. Segue abaixo, na Figura 48 a planta de armaduras positivas gerada pelo software TQS.

Para viabilizar uma comparação mais consistente entre os resultados obtidos analiticamente e aqueles fornecidos pelo software TQS, foi adotada uma simplificação na representação dos carregamentos das alvenarias sobre as lajes. Em vez de modelar as cargas linearmente ao longo do contorno das paredes, conforme sua posição real na estrutura, considerou-se uma carga uniformemente distribuída de 1,0 kN/m² em toda a área da laje. Essa simplificação foi adotada com o objetivo de reduzir as diferenças decorrentes das distintas formas de representação dos carregamentos, permitindo uma análise comparativa mais direta entre os métodos avaliados.

Ressalta-se que essa simplificação não tem como objetivo reproduzir com exatidão a distribuição real das cargas de alvenaria, mas sim estabelecer condições de modelagem compatíveis para a comparação entre os resultados analíticos e computacionais.

Figura 48 - Planta armaduras positivas



(Fonte: Próprio autor, 2026).

As plantas em questão são do pavimento tipo 1. As áreas de aço foram fornecidas pelo software e serão apresentadas tabeladas no próximo tópico.

Na sequência, temos na Figura 49 a planta das armaduras negativas calculada no software TQS.

diferença entre os métodos, permitindo avaliar a proximidade dos resultados e identificar as variações decorrentes das simplificações adotadas nos cálculos analíticos e dos critérios considerados pelo software na análise estrutural.

Tabela 6 - Resultados TQS e cálculo analítico

		ANALÍTICO		TQS		
	Armadura	Opção Adotada Barras	$A_{s,ef}$ [cm ²]	Opção Adotada Barras	$A_{s,ef}$ [cm ²]	Diferença %
Laje 1	Positiva na direção X	6,3mm Φ c/ 17	1,85	6,3mm Φ c/ 15	2,10	+13,51
	Positiva na direção Y	6,3mm Φ c/ 17,5	1,80	6,3mm Φ c/ 15	2,10	+16,67
	Negativa L1-L2	6,3mm Φ c/ 11	2,86	6,3mm Φ c/ 12,5	2,52	-11,89
	Negativa L1-L3	6,3mm Φ c/ 7,5	4,20	6,3mm Φ c/ 11	2,86	-31,90
	Negativa L1-L4	6,3mm Φ c/ 7,5	4,20	6,3mm Φ c/ 10	3,15	-25,00
Laje 3	Positiva na direção X	6,3mm Φ c/ 17,5	1,80	6,3mm Φ c/ 18	1,75	-2,78
	Positiva na direção Y	6,3mm Φ c/ 15	2,10	6,3mm Φ c/ 15	2,10	0,00
	Negativa L3-L1	6,3mm Φ c/ 7,5	4,20	6,3mm Φ c/ 11	2,86	-31,90
	Negativa L3-L4	6,3mm Φ c/ 14	2,25	6,3mm Φ c/ 15	2,10	-6,67
	Negativa L3-L8	6,3mm Φ c/ 20	1,58	6,3mm Φ c/ 19	1,66	+5,06

(Fonte: Próprio autor, 2026).

5.4. DISCUSSÕES

A comparação entre os resultados obtidos pelos cálculos analíticos e aqueles fornecidos pelo software TQS mostrou uma boa concordância entre os valores analisados, especialmente após a adequação da forma de representação dos carregamentos das alvenarias. Inicialmente, foram observadas diferenças mais significativas entre os resultados, porém verificou-se que grande parte dessas

discrepâncias estava relacionada aos diferentes critérios de modelagem adotados em cada método.

Para tornar a comparação mais compatível, foi adotada uma simplificação na representação dos carregamentos das alvenarias sobre as lajes. Em vez de considerar as cargas distribuídas apenas ao longo do contorno das paredes, foi utilizada uma carga uniformemente distribuída de $1,0 \text{ kN/m}^2$ em toda a área da laje. Com essa adaptação, os resultados analíticos e computacionais passaram a apresentar valores bastante próximos, evidenciando a influência que a modelagem dos carregamentos exerce sobre a resposta estrutural.

As maiores diferenças ocorreram nas armaduras negativas, especialmente nos vínculos L1–L3 e L1–L4, onde a variação entre os métodos chegou a aproximadamente 31,90% e 25,00%, respectivamente. Essas diferenças estão diretamente relacionadas a maior sensibilidade dos momentos negativos às condições de contorno e às hipóteses de modelagem adotadas.

Diferentemente dos momentos positivos, que ocorrem na região central do vão e dependem principalmente da carga distribuída e do vão efetivo, os momentos negativos concentram-se nas bordas entre lajes, que são os pontos de maior sensibilidade às variações nas condições de vinculação. Qualquer diferença entre as hipóteses adotadas no método analítico e o modelo utilizado pelo TQS se reflete de forma mais intensa nessas regiões, justificando as maiores divergências observadas nas armaduras negativas em comparação às positivas.

Os resultados também evidenciaram que a forma de aplicação das cargas pode influenciar significativamente os esforços e deslocamentos obtidos. Enquanto o cálculo analítico exige a adoção de simplificações para viabilizar o desenvolvimento das equações, o software realiza a análise considerando um modelo estrutural mais detalhado, permitindo uma representação mais refinada da distribuição dos esforços na laje.

Dessa forma, as diferenças observadas entre os resultados não indicam inconsistências entre os métodos, mas refletem principalmente as particularidades das hipóteses de modelagem adotadas em cada análise. A aproximação dos valores

após a compatibilização dos carregamentos reforça essa interpretação e demonstra a importância da definição adequada dos critérios utilizados na modelagem estrutural.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo analisar e comparar os resultados obtidos por meio de cálculos analíticos e aqueles fornecidos pelo software TQS para a avaliação do comportamento estrutural de lajes de concreto armado. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar que ambos os métodos apresentaram resultados compatíveis, demonstrando a consistência das análises realizadas.

Para viabilizar uma comparação mais direta entre os métodos, foi adotada uma simplificação na representação dos carregamentos das alvenarias no modelo do TQS. Em vez de aplicar as cargas linearmente ao longo do contorno das paredes, conforme sua posição real na estrutura, utilizou-se uma carga uniformemente distribuída de $1,0 \text{ kN/m}^2$ em toda a área da laje, reproduzindo a mesma hipótese adotada no método analítico.

Ressalta-se, no entanto, que essa simplificação foi adotada exclusivamente com o objetivo de compatibilizar as condições de carregamento entre os dois métodos, permitindo uma análise comparativa mais justa e consistente. Na prática profissional, a forma mais adequada de representar as cargas de alvenaria no TQS é por meio de cargas lineares distribuídas ao longo do contorno das paredes, conforme sua posição real na planta, o que proporciona uma distribuição de esforços mais fiel ao comportamento real da estrutura e resulta em um dimensionamento mais preciso.

A realização dos cálculos analíticos permitiu compreender de forma mais aprofundada os conceitos teóricos envolvidos na análise de lajes, bem como os efeitos das cargas, das condições de contorno e das hipóteses simplificadoras adotadas. Paralelamente, a utilização do software TQS possibilitou visualizar como ferramentas computacionais são capazes de realizar análises mais abrangentes e detalhadas, considerando fatores que dificilmente seriam avaliados manualmente em projetos reais.

Dessa forma, conclui-se que os softwares de cálculo estrutural constituem ferramentas fundamentais para a prática profissional da Engenharia Civil, proporcionando maior agilidade e precisão nas análises. No entanto, sua utilização deve estar sempre associada ao conhecimento técnico do engenheiro, que é responsável por definir corretamente os critérios de modelagem, interpretar os resultados obtidos e verificar sua coerência com o comportamento esperado da estrutura.

Por fim, os objetivos propostos para este trabalho foram alcançados, uma vez que foi possível comparar os resultados analíticos e computacionais, identificar as principais causas das diferenças observadas e compreender a importância da modelagem estrutural na obtenção de resultados confiáveis. O estudo também contribuiu para consolidar os conhecimentos adquiridos ao longo da graduação, reforçando a integração entre os fundamentos teóricos e as ferramentas computacionais utilizadas na engenharia estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2023) *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/910892571/734557795-Nbr-6118-Projeto-de-Estruturas-de-Concreto-Edicao-2023> (Acessado: 7 de março de 2026).
- ArchDaily (2022) *O que é e como funciona o concreto armado?* Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/975732/o-que-e-e-como-funciona-o-concreto-armado> (Acessado: 7 de março de 2026).
- BASTOS, P.S. dos S. (2023) “LAJES DE CONCRETO ARMADO”, *UNESP, Departamento de Engenharia Civil*. Bauru. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf> (Acessado: 7 de março de 2026).
- BASTOS, P.S.S. (2023) “FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO”, *UNESP, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental*. Bauru.
- ENGENHARIA 360 (2021) *O que significam as siglas do cimento?* Disponível em: <https://engenharia360.com/significado-das-siglas-do-cimento/> (Acessado: 7 de março de 2026).
- ESCOLA ENGENHARIA (2021) *Laje Pré-Moldada: O que é, principais tipos e vantagens*. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/laje-pre-moldada/> (Acessado: 7 de março de 2026).
- GALVAMINAS (2025) *Tipos de laje e suas vantagens*. Disponível em: <https://galvaminas.com.br/tipos-de-laje-e-suas-vantagens/> (Acessado: 7 de março de 2026).
- GERDAU (sem data) *Vergalhão: Confirma diversos tipos e aplicações*. Disponível em: <https://wasazrprd01.azurewebsites.net/produtos/vergalhao-gerdau> (Acessado: 7 de março de 2026).
- JUNIOR, T.F.D.S. (sem data) *ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO*.
- MAPA DA OBRA (2019) *Laje nervurada: conheça os cuidados com a execução*. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/laje-nervurada/> (Acessado: 7 de março de 2026).
- MAPA DA OBRA (2020) *A importância e os cuidados de execução dos pilares de concreto*. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/pilares-de-concreto/> (Acessado: 7 de março de 2026).
- TQS (sem data) *Softwares para engenharia de estruturas e geotecnia - TQS*. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/> (Acessado: 7 de março de 2026).

UFPR (2016) *Concreto armado*. Disponível em: <https://estruturas.ufpr.br/wp-content/uploads/2016/03/Capitulo11.pdf> (Acessado: 7 de março de 2026).