

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANA CLARA CASEIRO DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO
ARMADO, COM UTILIZAÇÃO DO TQS, TENDO COMO PREMISSA A
ECONOMICIDADE DE MATERIAIS**

Ilha Solteira - SP

2025



ANA CLARA CASEIRO DOS SANTOS

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS SISTEMAS ESTRUTURAIS DE CONCRETO
ARMADO, COM UTILIZAÇÃO DO TQS, TENDO COMO PREMISSA A
ECONOMICIDADE DE MATERIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada à Universidade Estadual
Paulista (UNESP), FEIS, Ilha Solteira, para
obtenção do título de Grau acadêmico
Bacharela em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia e
Tecnologia

Orientador: Prof. Dr. Rogério de Oliveira
Rodrigues

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- S237c Santos, Ana Clara Caseiro dos.
Comparação entre dois sistemas estruturais de concreto armado, com utilização do TQS, tendo como premissa a economicidade de materiais / Ana Clara Caseiro Dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2025
51 f. : il.
- Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2025
- Orientador: Rogério de Oliveira Rodrigues
- Inclui bibliografia
1. Comparação. 2. Economia de materiais. 3. Software TQS.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Ana Clara Caseiro dos Santos

Titulo: Comparação entre dois Sistemas Estruturais de Concreto Armado, com utilização do TQS, tendo como premissa a Economicidade de Materiais

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO DE OLIVEIRA RODRIGUES**
Data: 30/04/2025 10:04:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rogério de Oliveira Rodrigues

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ALEX MICAEL DANTAS DE SOUSA**
Data: 30/04/2025 10:09:48-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alex Micael Dantas de Sousa

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **GEAN PEREIRA DA SILVA JUNIOR**
Data: 30/04/2025 11:10:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. MSc. Gean Pereira da Silva Junior

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

25/04/2025

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Este estudo promove avanços científicos e tecnológicos na Engenharia Civil, contribuindo para a segurança das edificações e incentivando práticas inovadoras e sustentáveis. Do ponto de vista econômico, pode resultar em economia de recursos e redução de custos na construção, ao mesmo tempo que proporciona importantes oportunidades de aprendizado e crescimento profissional no âmbito educacional e cultural.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This study promotes scientific and technological advances in Civil Engineering, contributing to the safety of buildings and encouraging innovative and sustainable practices. From an economic point of view, it can result in resource savings and cost reduction in construction, while providing important opportunities for learning and professional growth in the educational and cultural fields.

Dedico este trabalho à minha família e, em especial,
à minha avó, cuja sabedoria e generosidade me
ensinaram a buscar constantemente ser uma pessoa
melhor, mesmo diante dos desafios.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Lilian Renata Caseiro dos Santos e Valdevino Bastos dos Santos, a minha irmã, Ana Laura Caseiro dos Santos, ao meu cunhado, João Felipe Gromboni, e aos meus avós, Leonardo Caseiro, Maria Silvéria Avante Caseiro (in memoriam), Nair Florentino dos Santos Bastos e Clemente Pinto Bastos por nunca deixarem de me apoiar em todas as etapas.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes na minha jornada me apoiando, ajudando e me dando forças para sempre seguir em frente.

Agradeço aos grupos extracurriculares que participaram positivamente na minha formação, em especial ao grupo PET Engenharia Civil e a Empresa Júnior Alicerce que ajudaram a me desenvolver no decorrer da faculdade.

E a todos os professores que estiveram presentes durante a minha formação, em especial ao meu orientador, Professor Rogério de Oliveira Rodrigues, que sempre foi o meu maior exemplo como professor e ser humano.

RESUMO

A construção civil é uma das atividades mais antigas e essenciais para a humanidade, tendo sido crucial para o progresso das sociedades ao longo da história. Recentemente, no Brasil, tornou-se imprescindível buscar maneiras de reduzir os custos na elaboração de projetos, ao mesmo tempo em que cresce a necessidade de compreender problemas recorrentes em estruturas de concreto armado, como as patologias. De tal modo, unindo as duas problemáticas, economia e análise, o objetivo da pesquisa é a comparação entre dois sistemas estruturais de concreto armado, com e sem a utilização de pilares centrais, para identificar qual sistema estrutural apresenta o menor consumo de materiais, considerando que os elementos similares dos dois sistemas terão aproximadamente a mesma taxa de armadura. A modelagem dos edifícios foi conduzida por meio do software TQS, utilizando uma estrutura previamente definida para fins de pesquisa, e obedecendo às normas ABNT NBR 6118 (2014), que trata do projeto de estruturas de concreto, e NBR 6120 (2019), que aborda as cargas para o cálculo de edificações. Durante o processo, a economia de materiais foi analisada, com base nos relatórios gerados pelo próprio software. Esses relatórios forneceram informações precisas sobre cada componente estrutural do modelo, como lajes, vigas e pilares, permitindo avaliar o consumo de materiais e identificar possíveis otimizações para reduzir custos e aumentar a eficiência estrutural, sem comprometer a segurança e a qualidade da obra. Os resultados obtidos demonstraram uma vantagem financeira significativa no uso de pilares centrais no edifício de 2 pavimentos, em função da quantidade de armadura utilizada em cada estrutura. As estruturas comparadas apresentavam parâmetros semelhantes para vigas e pilares, o que garantiu uma análise mais precisa e confiável dos custos envolvidos.

Palavras-chave: Comparação. Economia de Materiais. Software TQS.

ABSTRACT

Civil construction is one of the oldest and most essential activities for humanity, having been crucial to the progress of societies throughout history. Recently, in Brazil, it has become essential to find ways to reduce costs in project development, while at the same time there is a growing need to understand recurring problems in reinforced concrete structures, such as pathologies. Thus, combining the two issues, economics and analysis, the objective of the research is to compare two reinforced concrete structural systems, with and without the use of central pillars, to identify which structural system presents the lowest material consumption, considering that similar elements of both systems will have approximately the same reinforcement ratio. The modeling of the buildings was conducted using the TQS software, using a structure previously defined for research purposes, and complying with the standards ABNT NBR 6118 (2014), which deals with the design of concrete structures, and NBR 6120 (2019), which addresses loads for calculating buildings. During the process, material savings were analyzed based on reports generated by the software itself. These reports provided precise information on each structural component of the model, such as slabs, beams and columns, allowing the evaluation of material consumption and the identification of possible optimizations to reduce costs and increase structural efficiency, without compromising the safety and quality of the work. The results obtained demonstrated a significant financial advantage in using central columns in the 2-story building, depending on the amount of reinforcement used in each structure. The structures compared presented similar parameters for beams and columns, which ensured a more precise and reliable analysis of the costs involved.

Keywords: Comparison. Materials Economy. TQS Software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Materiais Básicos do Concreto.....	18
Figura 2 – Fases do Concreto.	19
Figura 3 – Comportamento de uma Viga de Concreto Simplesmente Apoiada.	19
Figura 4 – Planta de Fôrma com duas Lajes Maciças.....	23
Figura 5 – Laje Maciça.	24
Figura 6 – Lajes Nervuradas.	25
Figura 7 – Laje Cogumelo e Laje Lisa.....	25
Figura 8 – Laje Pré-Fabricada do tipo Treliçada.	26
Figura 9 – Caminhamento das Cargas Verticais no Sistema Estrutural Individualizado com Laje Maciça.	27
Figura 10 – Tipos de Pilares.....	28
Figura 11 – Sapata Isolada.	30
Figura 12 – Sapata Corrida.	30
Figura 13 – Plantas Arquitetônicas.....	31
Figura 14 – Criação de um ‘Novo Edifício’.	32
Figura 15 – Parâmetros na aba ‘Pavimentos’.....	33
Figura 16 – Parâmetros na aba ‘Materiais’.....	34
Figura 17 – Parâmetros na aba ‘Cobrimentos’.	35
Figura 18 – Parâmetros na aba ‘Cargas - Vento’.	36
Figura 19 – Configuração do Lançamento de Pilares.	37
Figura 20 – Desenho Final dos Pilares.	38
Figura 21 – Configuração do Lançamento de Vigas.	39
Figura 22 – Desenho Final das Vigas.	39
Figura 23 – Configuração do Lançamento das Lajes.	40
Figura 24 – Vinculação nas Lajes.	40
Figura 25 – Desenho Final das Lajes.....	41
Figura 26 – Configuração do Lançamento das Sapatas.	42
Figura 27 – Dados de Fundação.....	42
Figura 28 – Edição ‘Dados de Fundação’.	43
Figura 29 – Desenho Final das Sapatas.	44
Figura 30 – Relatório Geral dos Pilares da Planta com Pilares Centrais.	45
Figura 31 – Relatório Geral dos Pilares da Planta sem Pilares Centrais.	46

Figura 32 – Relatório Geral das Vigas do Pavimento 1 da Planta com Pilares Centrais.
.....47

Figura 33 – Relatório Geral das Vigas do Pavimento 1 da Planta sem Pilares Centrais.
.....47

Figura 34 – Relatório Geral das Vigas da Cobertura da Planta com Pilares Centrais.
.....48

Figura 35 – Relatório Geral das Vigas da Cobertura da Planta sem Pilares Centrais.
.....48

Figura 36 – Resumo do Consumo e Taxas da Planta com Pilares Centrais.49

Figura 37 – Resumo do Consumo e Taxas da Planta sem Pilares Centrais.49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação das Dimensões dos Pilares.....	46
Tabela 2 – Comparação das Dimensões das Vigas.....	48
Tabela 3 – Comparação entre os Consumos.....	50

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{ck}	Resistência Característica do Concreto à Compressão
S	Fator de Topografia e Rugosidade
b_1	Base do Pilar
h_1	Altura do Pilar
ρ	Taxa de Armadura
ρ_s	Taxa Geométrica de Armadura Longitudinal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	DESENVOLVIMENTO	18
2.1	PROPOSIÇÃO	18
2.2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.2.1	Concreto armado.....	18
2.2.2	Armadura de aço	20
2.2.3	TQS.....	21
2.2.4	Sistema estrutural	22
2.2.4.1	Lajes.....	22
2.2.4.2	Vigas	26
2.2.4.3	Pilares	27
2.2.4.4	Fundações.....	29
2.3	MATERIAL E MÉTODO	30
2.3.1	Planta arquitetônica	30
2.3.2	Criação do edifício no TQS.....	32
2.3.3	Concepção Estrutural	36
2.3.3.1	Inserção dos Pilares	37
2.3.3.2	Inserção das Vigas	38
2.3.3.3	Inserção das Lajes	40
2.3.3.4	Inserção das Fundações	41
2.3.4	Detalhamento dos Elementos Estruturais	44
3	RESULTADOS.....	45
3.1	TAXAS DE ARMADURA	45
3.2	QUANTITATIVO DE AÇO	49
3.3	DISCUSSÃO	50
4	CONCLUSÃO	51
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas e essenciais para a humanidade e, recentemente, tornou-se imprescindível buscar maneiras de reduzir os custos na elaboração de projetos. Trata-se de um setor amplo, que abrange desde obras de pequeno porte até grandes empreendimentos comerciais, industriais e intervenções em infraestrutura urbana e rural, como estradas, pontes, barragens e sistemas de saneamento.

O processo construtivo envolve diversas etapas, desde a concepção do projeto até a execução e posterior manutenção das edificações. Envolve também uma equipe composta por engenheiros civis, arquitetos, técnicos, mestres de obras e profissionais operacionais, cuja atuação integrada é essencial para garantir a qualidade, a segurança, a durabilidade e a viabilidade econômica das construções.

A busca por economicidade é um dos principais fatores que orientam decisões dentro da construção civil, especialmente em um cenário onde os custos com materiais, mão de obra e prazos de execução exercem grande influência sobre a viabilidade de uma obra. A relação entre construção civil e economia não se limita ao impacto econômico do setor, mas também se manifesta diretamente no planejamento e execução de projetos, onde a finalidade é alcançar soluções técnicas que ofereçam o melhor custo-benefício possível.

Nesse contexto, a escolha do sistema estrutural exerce influência direta sobre o custo e o desempenho de uma edificação. Decisões tomadas na fase de projeto, como a adoção de determinado sistema estrutural, impactam significativamente o consumo de materiais, o tempo de execução e os resíduos gerados durante a obra. Comparar diferentes sistemas estruturais permite identificar a alternativa mais econômica em termos de volume de insumos utilizados, sem comprometer a segurança e a funcionalidade da estrutura. Além disso, essa análise contribui para uma tomada de decisão mais consciente e alinhada aos princípios da construção sustentável.

O objetivo desta pesquisa é comparar dois sistemas estruturais para identificar qual apresenta o menor consumo de materiais, especialmente o aço, utilizando o software TQS. A análise considera as cargas permanentes mínimas e as forças decorrentes do vento, sem comprometer a estabilidade da estrutura. Assim, busca-se

contribuir para a redução de custos, garantindo, ao mesmo tempo, a qualidade e a segurança exigidas no projeto estrutural.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 PROPOSIÇÃO

A construção civil é uma das atividades mais antigas e fundamentais para a humanidade e, nos últimos anos, a busca por soluções que reduzam os custos dos projetos tornou-se indispensável. Nesse cenário, esta pesquisa tem como objetivo comparar dois sistemas estruturais para determinar qual deles consome menos materiais, utilizando o software TQS. A análise leva em conta as cargas permanentes mínimas e as forças devidas ao vento, garantindo que a estabilidade das estruturas não seja comprometida e auxiliando na redução de custos sem abrir mão da qualidade exigida em projetos estruturais eficientes.

2.2 REVISÃO DE LITERATURA

2.2.1 Concreto armado

O concreto é um material composto constituído por cimento Portland, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (pedra ou brita) e, também pode conter adições e aditivos químicos, com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas. O concreto é obtido por um cuidadoso proporcionamento, que define a quantidade de cada um dos diferentes materiais, a fim de proporcionar ao concreto diversas características desejadas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido (BASTOS, 2023). Tanto os materiais básicos do concreto quanto as fases são demonstrados nas Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Materiais Básicos do Concreto.



Fonte: BASTOS (2023, p. 12).

Legenda: Fotos dos materiais básicos constituintes na fabricação do concreto. Respectivamente da esquerda para a direita, trata-se do cimento Portland, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita).

Figura 2 – Fases do Concreto.

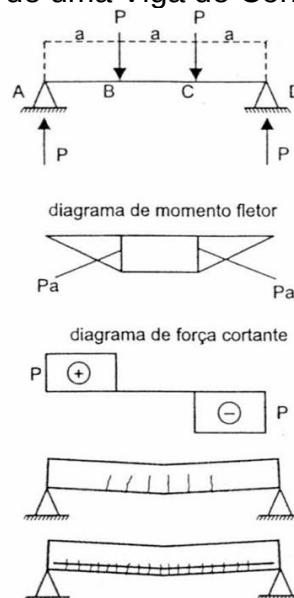


Fonte: BASTOS (2023, p. 12).

Legenda: Fotos das fases do concreto durante a sua fabricação. Respectivamente da esquerda para a direita, trata-se da pasta, argamassa e o concreto simples.

Para a utilização estrutural, o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois, enquanto apresenta boa resistência à compressão, pouco resiste à tração (cerca de 1/10 da resistência à compressão), embora esse tipo de solicitação quase sempre esteja presente nas estruturas de construções usuais. Consequentemente, para aumentar a resistência da viga, é importante associar o concreto a um material que tenha boa resistência à tração e seja mais deformável, sendo mais comum a utilização do aço, que deve então ser colocado longitudinalmente na região tracionada da peça (CARVALHO, 2001). O comportamento de uma viga com e sem a utilização de algum material para aumentar a resistência é demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Comportamento de uma Viga de Concreto Simplesmente Apoiada.



Fonte: CARVALHO; FIGUEIREDO (2001, p. 18).

Legenda: Representação de uma viga simplesmente apoiada em concreto, destacando a flexão pura aplicada no trecho central e a tensões normais de tração aplicadas nas laterais. A imagem mostra fissuras causadas por esforços em vigas sem a resistência necessária, a utilização do aço.

Dessa maneira, os dois materiais, concreto e aço, deverão trabalhar solidariamente, e isso é possível em decorrência das forças de aderência entre a superfície do aço e o concreto, pois as barras de aço tracionadas (armadura tracionada) só funcionam quando, pela deformação do concreto que as envolve, começam a ser alongadas, o que caracteriza as armaduras passivas. É a aderência que faz com que o concreto armado se comporte como material estrutural (CARVALHO, 2001).

Além dos aspectos econômicos e estéticos, uma estrutura de concreto armado deve ser projetada para atender aos seguintes requisitos de qualidade:

- **Segurança:** dentro de um nível de segurança pré-estabelecido, a estrutura deve suportar as ações que lhe são impostas durante a sua vida útil (incluindo a fase construtiva), sem a ocorrência de ruptura ou perda do equilíbrio estático;
- **Bom desempenho em serviço:** nas condições normais de utilização, as deformações da estrutura devem ser suficientemente pequenas para não provocar danos inaceitáveis em elementos não estruturais, não afetar o seu uso ou a sua aparência, nem causar desconforto aos usuários; o grau de fissuração não deve afetar o uso ou a aparência da estrutura, nem prejudicar a proteção da armadura;
- **Durabilidade:** a estrutura deve se manter em bom estado de conservação sob as influências ambientais previstas, sem necessidade de reparos de alto custo ao longo de sua vida útil (ARAÚJO, 2010).

2.2.2 Armadura de aço

O aço é um material metálico produzido em usinas siderúrgicas, constituído de ferro com adição de até 2% de carbono. A adição de outros materiais, como manganês, níquel, enxofre, silício e entre outros, proporciona a obtenção de características específicas diferentes em função do tipo de aplicação. Os aços para Concreto Armado são fabricados com teores de carbono entre 0,4 e 0,6 % (MORAIS; REGO, 2005).

As características mecânicas mais importantes para a definição de um aço, obtidas em ensaios de tração são: resistência característica do escoamento, limite de resistência e alongamento na ruptura. A resistência característica de escoamento do aço à tração é a máxima tensão que a barra ou o fio devem suportar, pois, a partir

dela, o aço passa a sofrer deformações permanentes, ou seja, até este valor de tensão, ao se interromper o ensaio de tração de uma amostra, esta voltará ao seu tamanho inicial, não apresentando nenhum tipo de deformação permanente. Já o limite de resistência, é a força máxima suportada pelo material e, com a qual, ele se rompe, ou seja, é o ponto máximo de resistência da barra, sendo seu valor obtido pela leitura direta na máquina de tração. E por último, o alongamento na ruptura é o aumento do comprimento do corpo de prova correspondente à ruptura, expresso em porcentagem (CARVALHO, 2001).

As quantidades mínima e máxima da armadura de flexão em uma seção devem ser previstas. A armadura mínima deve ser colocada para evitar rupturas bruscas (frágeis) na seção, pois o aço faz com que ela apresente deformação razoável antes de entrar em ruína, também é útil para absorver pequenos esforços não considerados no cálculo. A especificação de valores máximos decorre da necessidade de assegurar condições de ductilidade e de respeitar o campo de validade dos ensaios que deram origem às prescrições de funcionamento do conjunto aço-concreto (CARVALHO, 2001).

2.2.3 TQS

Com a crescente evolução no meio tecnológico, houve um ganho de produtividade muito grande para projetar estruturas. Essa otimização se deve principalmente à informática, que possibilitou o acesso à informação de forma muito mais rápida e gerou a criação de máquinas computacionais com elevada capacidade de processamento. Juntamente com a evolução computacional, foram surgindo softwares estruturais capazes de apresentar dados fundamentais para análise estrutural e gerar o dimensionamento. Dessa forma, as régua de cálculo, ábacos, calculadoras programáveis e pranchetas caíram em desuso, dando espaço a computadores sofisticados capazes de fazer análises e detalhamentos de forma mais rápida, precisa e com uma capacidade de armazenamento muito melhor em termos de organização e espaço, permitindo que o projetista otimize muito mais o seu tempo (KIMURA, 2018).

O TQS é um software destinado à elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado. É composto por um conjunto de sistemas que, de forma totalmente integrada e automatizada, fornecem recursos necessários para a

concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos, até a emissão de plantas. O TQS torna a elaboração de projetos estruturais um processo altamente produtivo e tem impacto direto na qualidade dos mesmos. Permitem o pleno atendimento aos requisitos das normas técnicas ABNT e a compatibilização do modelo estrutural dentro de um processo BIM (TQS, 2024).

2.2.4 Sistema estrutural

Elementos estruturais são peças que compõem uma estrutura geralmente com uma ou duas dimensões preponderantes sobre as demais (vigas, lajes, pilares etc.). O modo como são arranjados pode ser chamado de sistema estrutural. Alguns comportamentos são dependentes apenas desse arranjo, não influenciando o material com que são feitos os elementos. Uma viga biapoiada, com seção transversal na forma de I, pode ser executada tanto em aço quanto em concreto armado (CARVALHO, 2001).

A interpretação e a análise do comportamento real de uma estrutura são, geralmente, complexas e difíceis, e nem sempre possíveis. Por essa razão, é importante considerar que, para montar modelos físicos e matemáticos na análise de construções de concreto armado, é preciso usar a técnica da discretização, que consiste em desmembrar a estrutura em elementos cujos comportamentos, já conhecidos e de fácil estudo, possam ser admitidos. Essa técnica possibilita que se consiga, da maneira mais simples possível, analisar uma estrutura com resultados satisfatórios. Com o advento dos microcomputadores e dos programas sofisticados de cálculo estrutural, em muitos casos é possível um estudo global, sem o uso da discretização. Entretanto, é importante compreender profundamente o funcionamento e o comportamento de cada um dos elementos que formam o conjunto estrutural (CARVALHO, 2001).

2.2.4.1 Lajes

Laje é um elemento plano, bidimensional, cuja função principal é servir de piso ou cobertura nas edificações, e que se destina geralmente a receber as ações verticais aplicadas, provenientes da utilização da laje em função de sua finalidade

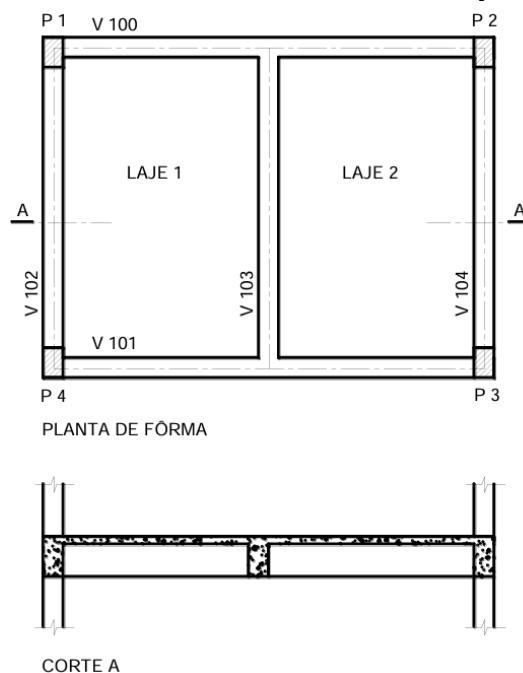
arquitetônica, como de pessoas, móveis, pisos, paredes, e de outros mais variados tipos de carga que podem existir (BASTOS, 2023).

As ações perpendiculares ao plano da laje podem ser separadas em:

- Distribuída na área: peso próprio, contrapiso, revestimento na borda inferior e entre outros;
- Distribuída linearmente: carga de parede apoiada na laje;
- Concentrada: pilar apoiado na laje.

As ações são geralmente transmitidas para as vigas de apoio nas bordas da laje, como mostrado na Figura 4, mas, eventualmente, também podem ser transmitidas diretamente aos pilares. As lajes existem em variados tipos, como maciças, nervuradas, lisas, pré-moldadas e outros tipos (BASTOS, 2023).

Figura 4 – Planta de Fôrma com duas Lajes Maciças.

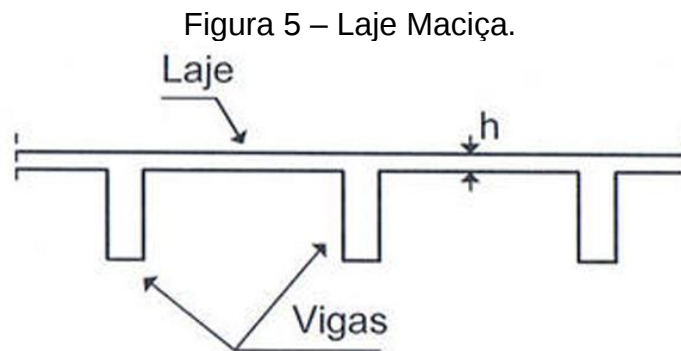


Fonte: BASTOS (2023, p. 74).

Legenda: Representação de duas lajes maciças com os elementos estruturais pilares e vigas. Na imagem superior, há a representação de todos os elementos citados e, na imagem inferior, mostra a representação do corte realizado.

As lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo esse o tipo de laje predominante nos edifícios residenciais onde os vãos são relativamente pequenos (ARAÚJO, 2010). São comuns em edifícios de pavimentos e em construções de grande porte, como escolas, indústrias, hospitais, pontes e entre

outras edificações. De modo geral, não são aplicadas em edificações residenciais e outras de pequeno porte, pois nesses tipos de edificação as lajes nervuradas pré-fabricadas apresentam vantagens nos aspectos custo e facilidade de construção (BASTOS, 2023). Na Figura 5, representa-se um corte em um piso de concreto armado, composto por uma laje maciça sobre vigas, evidenciando a disposição dos elementos estruturais e a forma como a carga é distribuída para garantir a estabilidade da edificação.

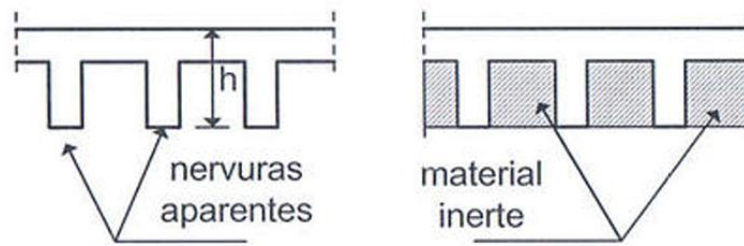


Fonte: ARAÚJO (2010, p. 2).

Legenda: Representação de uma laje maciça com indicação de onde são as vigas e a altura. A imagem é um corte em um piso de concreto armado constituído por laje maciça apoiada em vigas.

Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte (NBR 6118, item 14.7.7). As lajes com nervuras pré-moldadas são comumente chamadas pré-fabricadas, e devem atender a normas específicas (BASTOS, 2023). São empregadas para vencer grandes vãos, geralmente superiores a 8m, sendo constituídas por nervuras, onde são colocadas as armaduras longitudinais de tração. Dessa maneira, consegue-se uma redução do peso próprio da laje, já que se elimina uma parte do concreto que ficaria na zona tracionada, caso fosse adotada a solução em laje maciça. Neste caso, as nervuras ficam aparentes, a menos que a face inferior da laje seja revestida com um forro. Alternativamente, o espaço entre as nervuras pode ser preenchido com algum material inerte de baixo peso específico, para tornar plana a superfície inferior da laje (ARAÚJO, 2010). As duas soluções são representadas na Figura 6.

Figura 6 – Lajes Nervuradas.

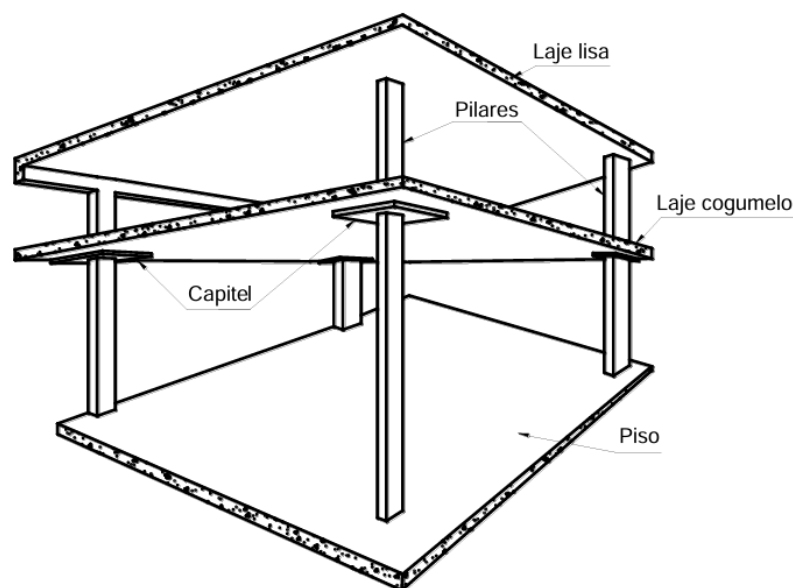


Fonte: ARAÚJO (2010, p. 3).

Legenda: Representa de duas lajes nervuradas com a diferença na aparência das nervuras. A imagem da esquerda mostra as nervuras aparentes pela redução do concreto que ficaria na zona tracionada, já a imagem da direita mostra o preenchimento do espaço entre as nervuras com algum material inerte de baixo peso específico.

Lajes cogumelo são lajes apoiadas diretamente em pilares, resultando um piso sem vigas. Nessas lajes, o topo do pilar possui um aumento de seção, denominado capitel, para aumentar a resistência à punção da laje. Quando o capitel não está presente, a laje é denominada de laje lisa (ARAÚJO, 2010). Ambas as lajes são maciças, de concreto e aço e sem vazios ou enchimentos, mas não se apoiam nas bordas, somente nos pilares. Em um pavimento, apresentam a eliminação de grande parte das vigas como a principal vantagem em relação às lajes maciças, embora por outro lado tenham maior espessura (BASTOS, 2023). A Figura 7 ilustra a representação de uma laje cogumelo, destacando sua estrutura característica com suportes integrados.

Figura 7 – Laje Cogumelo e Laje Lisa.

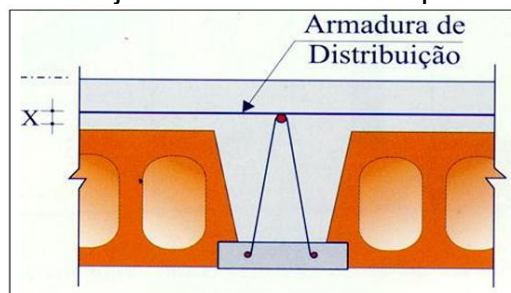


Fonte: BASTOS (2023, p. 76); MACGREGOR, 1997.

Legenda: Representa um edifício com a laje lisa e a laje cogumelo. A imagem indica os pilares, piso, as lajes e o capitel, a diferença entre as lajes.

As lajes pré-fabricadas do tipo treliçada, onde a armadura tem a forma de uma treliça espacial, vem ganhando maior espaço na aplicação em edificações residenciais de pequeno porte e até mesmo em edifícios de baixa altura, principalmente devido ao bom comportamento estrutural e facilidade de execução (BASTOS, 2023). A seguir, na Figura 8, é apresentada um tipo de laje pré-fabricada, a treliçada.

Figura 8 – Laje Pré-Fabricada do tipo Treliçada.



Fonte: BASTOS (2023, p. 76); FAULIM, 1998.

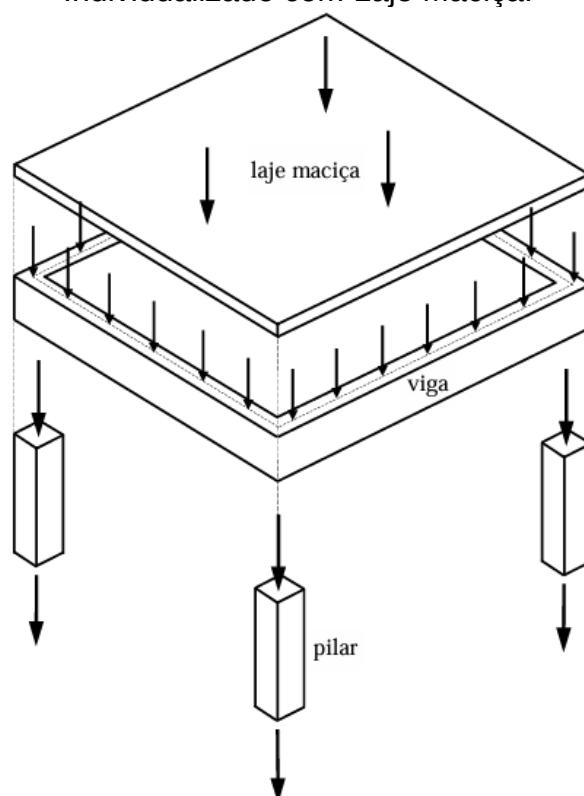
Legenda: Representa uma laje pré-fabricada treliçada no seu interior. A imagem indica a armadura de distribuição dentro da laje junto com as nervuras de concreto e armadura, blocos de enchimento e capeamento superior de concreto.

2.2.4.2 Vigas

Vigas são elementos lineares onde a flexão é preponderante (NBR 6118, item 14.4.1.1). São classificadas como barras e sua função básica é vencer vãos e transmitir as cargas para os apoios, geralmente pilares. Ao longo do eixo longitudinal, as vigas podem ser curvas, mas, na maioria das aplicações, são retas e horizontais. Os carregamentos são provenientes de lajes, de outras vigas, de paredes de alvenaria, de pilares e entre outras opções, geralmente perpendiculares ao eixo longitudinal (BASTOS, 2023).

As vigas, juntamente com as lajes e pilares, compõem a estrutura de contraventamento responsável por proporcionar a estabilidade global dos edifícios às ações verticais e horizontais. Geralmente têm duas armaduras diferentes, a longitudinal e a transversal, compostas respectivamente por barras longitudinais e estribos (BASTOS, 2023). Os esforços solicitantes no sistema estrutural estão representados na Figura 9.

Figura 9 – Caminhamento das Cargas Verticais no Sistema Estrutural. Individualizado com Laje Maciça.



Fonte: BASTOS (2024, p. 4).

Legenda: Representa o caminhamento das cargas verticais no sistema estrutural. A imagem indica as cargas chegando na laje maciça e sendo transferidas para as vigas e pilares, respectivamente.

2.2.4.3 Pilares

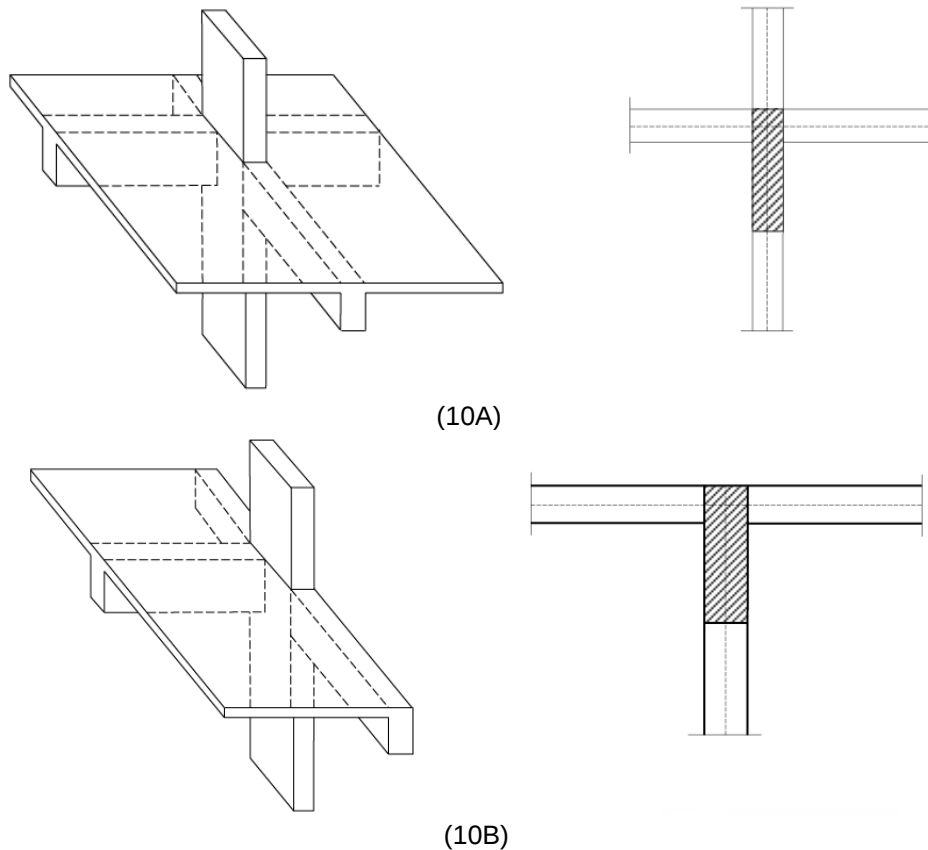
Os pilares são os elementos estruturais de maior importância nas estruturas, tanto do ponto de vista da capacidade resistente dos edifícios quanto no aspecto de segurança. Como elementos verticais, são os principais responsáveis na estabilidade global dos edifícios, compondo o sistema de contraventamento juntamente com as vigas e lajes (BASTOS, 2023).

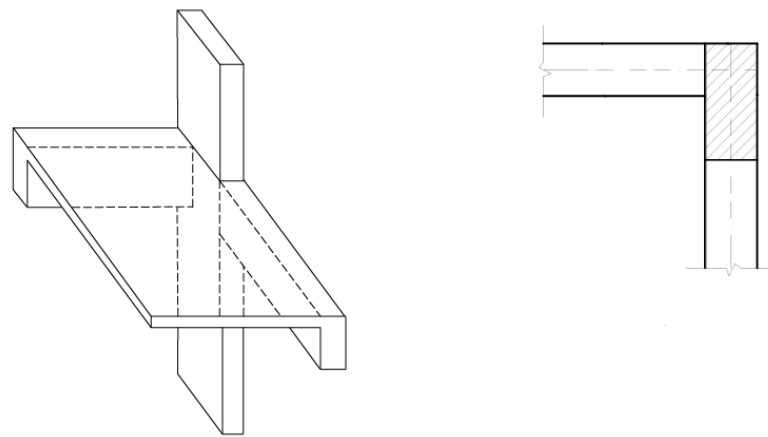
Em função dos esforços internos atuantes, os pilares podem estar solicitados por compressão normal centrada, flexão normal composta ou flexão oblíqua composta. Podem assumir várias formas de seção transversal, sendo as mais comuns e usuais a seção quadrada, a retangular, a circular, a octogonal, a elíptica ou a associação das seções anteriores (PORTO, 2015).

Dentre as situações básicas de projeto têm-se o pilar intermediário, de extremidade e de canto. No pilar intermediário considera-se a compressão simples (também chamada uniforme ou centrada) na situação de projeto, pois como as lajes

e vigas são contínuas sobre o pilar, pode-se admitir que os momentos fletores transmitidos ao pilar sejam pequenos e desprezíveis. O pilar de extremidade, de modo geral, encontra-se posicionado nas bordas das edificações, sendo também chamado pilar lateral, de face ou de borda. O termo pilar de extremidade advém do fato do pilar ser um apoio extremo para uma viga, ou seja, uma viga que não tem continuidade sobre o pilar. E o pilar de canto encontra-se posicionado nos cantos dos edifícios. Na situação de projeto ocorre a flexão composta oblíqua, decorrente da não continuidade de duas vigas no pilar, ou seja, o pilar é um apoio extremo para duas vigas (BASTOS, 2021). A Figura 10, a seguir, representa o arranjo estrutural e situação de projeto dos três tipos principais de pilares.

Figura 10 – Tipos de Pilares.





(10C)

Fonte: BASTOS (2021, p. 57).

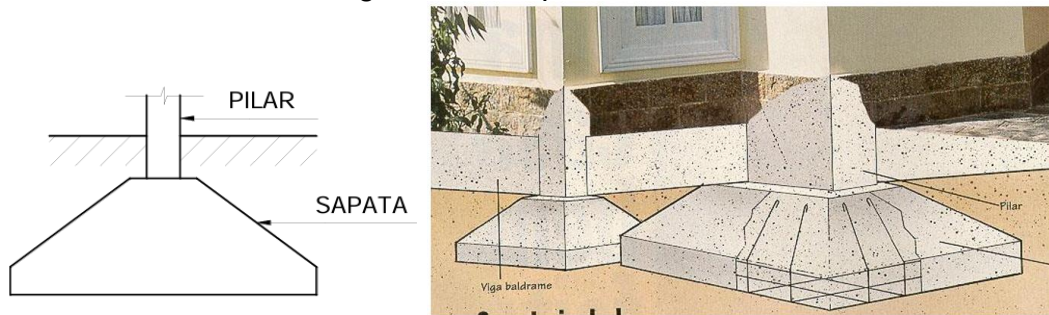
Legenda: (10A) A imagem apresenta o pilar intermediário. À esquerda, a representação tridimensional ilustra a sobreposição das lajes e vigas em relação ao pilar. À direita, a vista em planta exibe a seção transversal do pilar em relação às vigas. (10B) A imagem representa a conexão de um pilar de extremidade com lajes e vigas, exibindo uma vista tridimensional à esquerda e a planta com a seção transversal do pilar à direita. (10C) A figura ilustra a junção de um pilar de canto com lajes e vigas, exibindo uma vista tridimensional à esquerda e a planta com a seção transversal do pilar à direita.

2.2.4.4 Fundações

A fundação é um elemento estrutural responsável por transmitir a carga da estrutura ao solo. Para escolha do tipo mais adequado, devem-se levar em conta as condições do solo e as cargas atuantes na fundação a ser executada, com o objetivo de transmitir as cargas ao solo sem ocasionar a ruptura desse. Entre os tipos de fundações, têm-se: as superficiais, também chamadas diretas ou rasas, que são utilizadas quando as camadas de solo imediatamente abaixo da fundação têm a capacidade de suportar as cargas, e as profundas, também conhecidas como indiretas, empregadas quando as camadas mais resistentes se encontram a uma certa profundidade, sendo a fundação apoiada nelas (PORTO, 2015). As sapatas e as placas de fundação são exemplos de fundações superficiais, enquanto as estacas são fundações profundas (ARAÚJO, 2010).

A sapata isolada serve de apoio para apenas um pilar, a associada serve para a transmissão simultânea do carregamento de dois ou mais pilares. A sapata corrida tem esse nome porque é disposta ao longo do comprimento do elemento que lhe aplica o carregamento, geralmente uma parede de alvenaria ou de concreto, sendo comum em edificações de pequeno porte onde o solo tem boa capacidade de suporte de carga a baixas profundidades (BASTOS, 2023). Há exemplos de sapatas isoladas e corridas presentes nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Sapata Isolada.



Fonte: BASTOS (2023, p. 88).

Legenda: A imagem mostra dois exemplos representando sapatas isoladas. À esquerda, há um esquema simples, destacando um pilar apoiado sobre uma sapata trapezoidal. À direita, uma ilustração mais detalhada apresenta duas sapatas com pilares, incluindo detalhes como armaduras internas e o solo ao redor.

Figura 12 – Sapata Corrida.



Fonte: BASTOS (2023, p. 89).

Legenda: A imagem apresenta um desenho de uma fundação com sapata corrida. No topo, há uma parede de alvenaria vertical apoiada sobre uma base de concreto representada pela sapata corrida. O desenho ilustra a relação estrutural entre a parede e sua fundação.

2.3 MATERIAL E MÉTODO

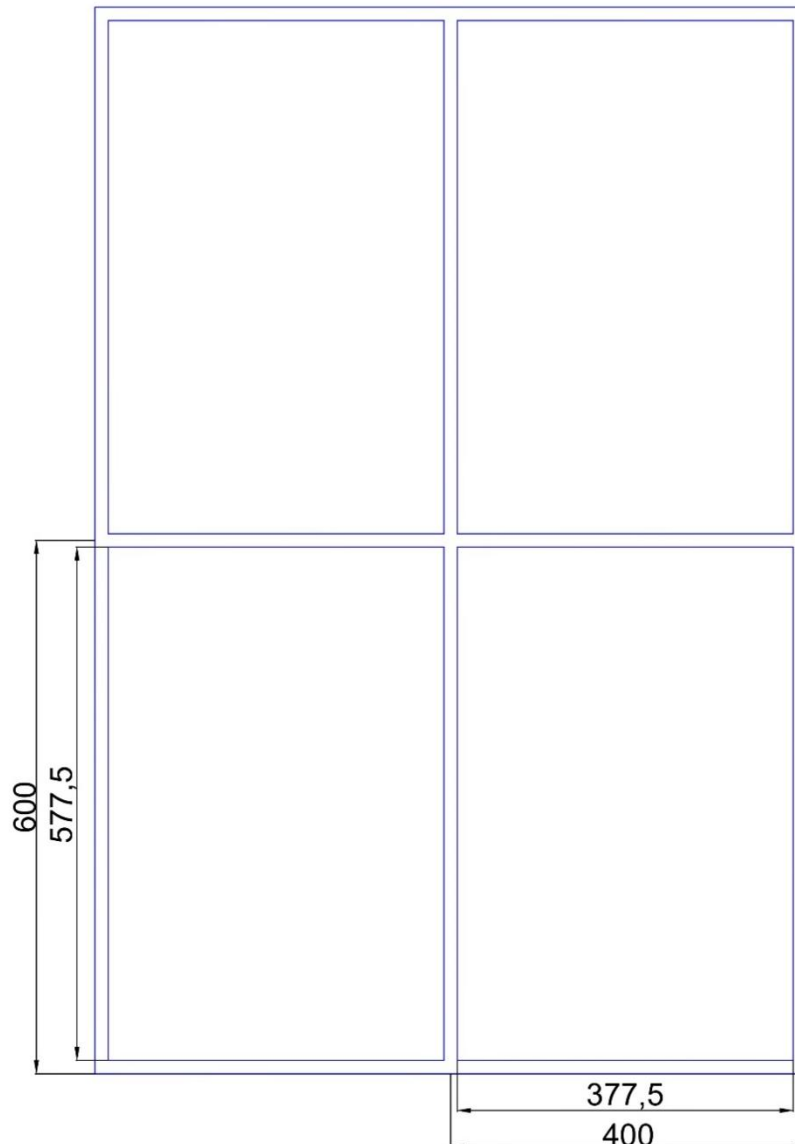
2.3.1 Planta arquitetônica

Para desenvolver o projeto estrutural, o engenheiro de estruturas geralmente recebe a planta arquitetônica, criada pelo arquiteto ou disponibilizada pelo cliente. Esses arquivos costumam incluir plantas, fachadas, cortes, *renders* 3D e várias informações que não são diretamente úteis para o cálculo estrutural, como móveis, elementos decorativos e nomenclaturas dos ambientes.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas plantas arquitetônicas simplistas propositalmente para obter um melhor comparativo com foco na economia de materiais, que é o principal objetivo do estudo. Os modelos projetados seguiram as mesmas medidas e esquemas, garantindo a padronização das variáveis. A principal distinção entre os modelos foi a inclusão ou não de pilares centrais, fator considerado essencial para analisar o impacto estrutural e econômico dessa escolha.

Essa abordagem permitiu avaliar como a presença de pilares centrais influencia o consumo de materiais, possibilitando comparações diretas em termos de eficiência no uso de recursos na construção civil.

Figura 13 – Planta Arquitetônica.



Fonte: AUTOCAD ESTUDANTE (2024).

Legenda: A imagem à esquerda representa a planta arquitetônica com suas respectivas medidas com a utilização dos pilares centrais, já a imagem à direita representa a planta arquitetônica com medidas iguais ao outro modelo, mas sem a utilização de pilares centrais.

A Figura 13 exibe a planta final, averiguada e ajustada para importação no software TQS. A planta utilizada foi criada pelo próprio autor, que optou por um design simplificado. A abordagem simplificada teve o intuito de enfatizar a economia de materiais, reduzindo possíveis interferências que poderiam surgir com plantas

arquitetônicas mais complexas e permitindo que os relatórios gerados pelo TQS evidenciassem claramente as diferenças no consumo de recursos.

2.3.2 Criação do edifício no TQS

No processo de criação de um novo edifício, há duas maneiras simples de fazê-lo. A primeira é acessar a aba 'Edifício' e escolher a opção 'Novo'. A segunda, que foi a mais utilizada neste projeto por ser mais rápida, é clicar diretamente no ícone 'Novo Edifício' localizado na barra de ferramentas (como mostrado na Figura 14).

Figura 14 – Criação de um 'Novo Edifício'.



Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Sistemas, Edifício, Interfaces BIM. Caixa de seleção em vermelho indicando o ícone: Novo Edifício.

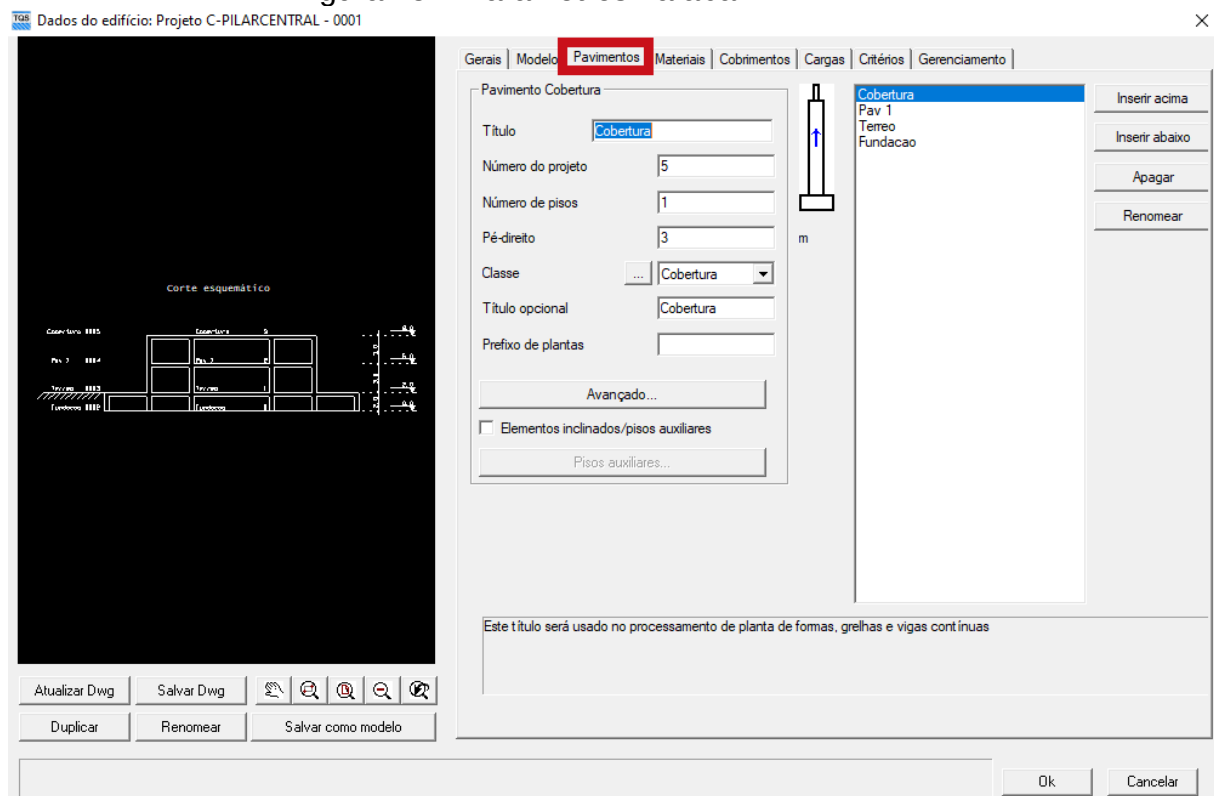
Após a criação do arquivo, haverá diversas abas com o intuito de estabelecer as configurações iniciais do edifício e poder prosseguir com as análises. A aba 'Gerais' no software TQS é a primeira etapa para a configuração inicial de um projeto estrutural. Nela, se deve inserir informações essenciais para a identificação do projeto, incluindo o título do edifício, o nome do cliente, o endereço da obra e o número do projeto. Esses dados são fundamentais para a organização e rastreamento do projeto ao longo de todas as etapas de desenvolvimento. Além disso, a aba permite a seleção do tipo de estrutura que será utilizada, oferecendo opções como concreto armado, concreto protendido ou alvenaria estrutural.

Na aba 'Modelo' do software TQS, se define o modelo estrutural que será utilizado para a elaboração do projeto. Essa escolha determina a maneira como o software vai interpretar e calcular a estrutura, influenciando diretamente na análise e no dimensionamento dos elementos estruturais. No entanto, na versão estudante

utilizada do TQS, há uma limitação significativa: apenas um modelo estrutural está disponível que se trata do ‘Modelo de vigas e pilares, flexibilizando conforme critérios’.

A aba ‘Pavimentos’, como mostrado na Figura 15, é utilizada para a definição dos parâmetros verticais da edificação, sendo uma etapa crucial para a configuração do projeto estrutural. Nessa aba, deve-se especificar o número total de pavimentos, a altura do pé-direito de cada um e sua respectiva classe. Além disso, a classificação dos pavimentos permite ao software distinguir diferentes tipos de usos, como pavimentos tipos, térreo ou cobertura, o que afeta diretamente a análise estrutural.

Figura 15 – Parâmetros na aba ‘Pavimentos’.



Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Gerais, Modelo, Pavimentos, Materiais, Cobrimentos, Cargas, Critérios, Gerenciamento, Título, Número do Projeto, Pé-direito, Classe, Título opcional, Prefixo de plantas, Avançado, Elementos inclinados/pisos auxiliares. Caixa de seleção em vermelho sobre: Pavimentos.

Na aba ‘Materiais’ são definidos os principais parâmetros relacionados às propriedades dos materiais que serão utilizados no projeto estrutural. Entre as configurações disponíveis, destacam-se a definição do f_{ck} , que representa a resistência característica do concreto à compressão, e a classe de agressividade ambiental, que indica as condições de exposição do concreto a agentes agressivos, influenciando na durabilidade da estrutura, segundo a Figura 16. Na versão estudante

do TQS, as demais configurações relacionadas aos materiais não possuem opções disponíveis.

Figura 16 – Parâmetros na aba 'Materiais'.

The screenshot displays the 'Materiais' tab in the TQS software. The interface includes a top navigation bar with tabs: Gerais, Modelo, Pavimentos, **Materiais**, Cobrimentos, Cargas, Critérios, and Gerenciamento. The main content area is divided into several sections:

- Modo de fornecimento de f_{ck}** : Two radio buttons, 'Definir valores em MPa' and 'Usar somente valores tabelados' (selected).
- Concreto para elementos estruturais em:**: Two radio buttons, 'Concreto armado' (selected) and 'Concreto protendido'.
- Classe de agressividade ambiental**: A dropdown menu showing 'II - Moderada - Urbana' and an 'Alterar' button below it.
- fcks gerais**: A section with a 'Classe' dropdown menu set to 'C30' and three input fields for 'Vigas/Lajes', 'Pilares', and 'Fundações', all set to 'C30'. A checkbox 'Desativar a verificação de fck mínimo' is also present.
- fcks diferenciados por piso/planta**: Two input fields for 'Vigas/Lajes' and 'Pilares'.
- Elementos pré-moldados**: An 'Alterar' button.

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Gerais, Modelo, Pavimentos, Materiais, Cobrimentos, Cargas, Critérios, Gerenciamento, Modo de fornecimento de f_{ck} , f_{cks} gerais, concreto para elementos estruturais, Classe de agressividade ambiental. Caixa de seleção em vermelho sobre: Materiais, f_{cks} gerais e Classe de agressividade ambiental.

Na aba 'Cobrimentos' são definidos os cobrimentos de concreto para os diferentes tipos de elementos estruturais, demonstrado na Figura 17. Os valores apresentados correspondem às configurações padrão do software, com uma exceção: o cobrimento das fundações foi ajustado de 3 cm para 4 cm, especificamente para este projeto.

Figura 17 – Parâmetros na aba ‘Cobrimentos’.

Cobrimentos (cm)			
	Inferior	Superior	Diferença secundária
Lajes em geral	2.5	2.5	1 1
Lajes protendidas	3.5	3.5	1
Vigas	3		
Pilares	3		
Fundações	4		1

Cobrimento de elementos em contato com o solo (cm)	
Vigas e lajes	3
Pilares	4.5

Verificação de cobrimentos mínimos	
Maior altura de bainha	60 mm
Maior bitola de viga/pilar	25 mm
Maior bitola de lajes	12.5 mm
☐ Desativar a verificação dos cobrimentos mínimos	

Fatores atenuantes	
☐ Rígido controle de qualidade e de tolerância de medidas na obra	

Classe de agressividade ambiental	
II - Moderada - Urbana	
Alterar	

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Gerais, Modelo, Pavimentos, Materiais, Cobrimentos, Cargas, Critérios, Gerenciamento, Cobrimentos (cm). Caixa de seleção em vermelho sobre: Cobrimentos e Fundações.

Na aba ‘Cargas – Vento’ é fundamental inserir o coeficiente de arrasto, que influencia diretamente na avaliação das forças de vento atuantes sobre a estrutura. Para este projeto, o coeficiente de arrasto foi calculado a partir da média dos valores correspondentes para condições de alta e baixa turbulência, considerando os diferentes ângulos de incidência do vento. Foram analisados os ângulos de 90° e 270°, assim como de 0° e 180°, a fim de obter um valor médio que representasse adequadamente a ação do vento sobre a edificação. Ademais, é necessário inserir as informações básicas do edifício, como a velocidade básica do vento, os fatores de topografia e rugosidade (fatores S), a categoria de exposição do terreno e a classe de importância da estrutura, conforme exposto na Figura 18.

Figura 18 – Parâmetros na aba ‘Cargas - Vento’.

The screenshot displays the 'Cargas - Vento' (Wind Loads) tab within a software application. The interface includes a menu bar at the top with options: Gerais, Modelo, Pavimentos, Materiais, Cobrimentos, **Cargas**, Critérios, and Gerenciamento. Below the menu bar, there are sub-tabs: Verticais, **Vento**, Adicionais, Adicionais-2, and Combinações. The main area contains several input fields and a table.

Input fields (highlighted with a red box):

- V0 - Velocidade básica: 40 m/s
- S1 - Fator do terreno: 1.00
- S2 - Categoria de rugosidade: III
- S2 - Classe da edificação: A
- S3 - Fator estatístico: 1.00

Table (highlighted with a red box):

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.423	Não	0
2	270	1.423	Não	0
3	0	1.06	Não	0
4	180	1.06	Não	0

Below the table, there are buttons: Inserir, Apagar, and Calcular CAs. There are also checkboxes for 'Excentricidade em todos os casos' (set to 15.0 %) and 'Casos de vento nas plantas de formas'. A section titled 'Tabelas de excentricidades e forças impostas' contains buttons for 'Excentricidades do caso selecionado', 'Ler tabelas de túnel de vento - planilha SDF', and 'Ler tabelas de túnel de vento - FTV XML'. A diagram shows wind directions at 90°, 0°, and 270°. A note at the bottom states: 'Forneça as variáveis para cálculo de vento conforme a norma ou especifique valores especiais ou de ensaio no item "Excentricidades".'

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Gerais, Modelo, Pavimentos, Materiais, Cobrimentos, Cargas, Critérios, Gerenciamento, Verticais, Vento, Adicionais, Adicionais-2, Combinações. Caixa de seleção em vermelho sobre: Cargas, Vento, V0 - Velocidade Básica, S1 - Fator do terreno, S2 - Categoria de rugosidade, S3 - Fator estatístico e C.A.

2.3.3 Concepção Estrutural

A concepção estrutural é uma etapa fundamental no processo de elaboração de um projeto de engenharia, envolvendo a definição e organização dos elementos que compõem a estrutura de uma edificação ou obra civil. Nesse contexto, o engenheiro estrutural deve considerar fatores como segurança, funcionalidade, durabilidade, estética e viabilidade econômica, buscando soluções que equilibrem esses critérios. A escolha adequada dos materiais, a disposição das vigas, pilares e lajes, bem como o estudo das cargas e esforços a que a estrutura estará sujeita são aspectos cruciais que influenciam o desempenho e a sustentabilidade da construção ao longo do tempo.

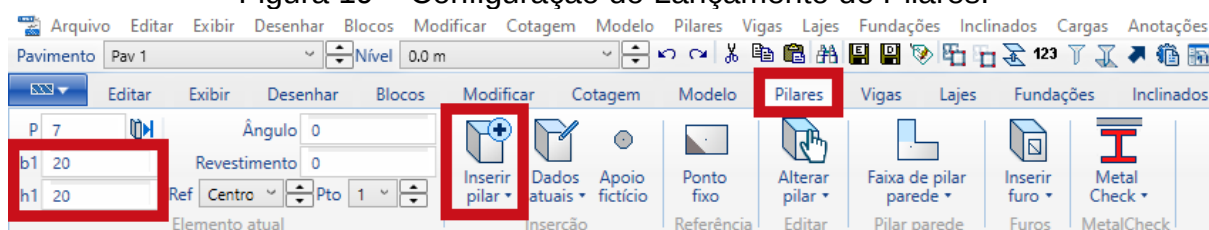
2.3.3.1 Inserção dos Pilares

O posicionamento dos pilares é definido considerando diversos fatores, como a arquitetura do projeto, a quantidade, a necessidade de formar pórticos robustos para aumentar a resistência ao vento, a distância entre os pilares para otimizar a eficiência estrutural, as limitações do terreno e entre outros aspectos relevantes. A quantidade é um fator crucial para a pesquisa, uma vez que os modelos foram desenvolvidos com essa variação como principal característica, o que, consequentemente, impacta diretamente no número de fundações necessárias e na quantidade de material utilizado.

Inicialmente, foram pré-estabelecidos parâmetros para os pilares com o objetivo de avaliar a porcentagem de aço necessária. A partir das dimensões definidas, os pilares passaram por um processo iterativo de ajustes, refinando as medidas até alcançar uma taxa de aço considerada adequada para garantir a economicidade do projeto.

Nesta representação da Figura 19, as dimensões $b1$ e $h1$ correspondem, respectivamente, à base e à altura da seção transversal dos pilares. Após a inclusão de todos os elementos estruturais, torna-se possível realizar a renumeração dos pilares.

Figura 19 – Configuração do Lançamento de Pilares.

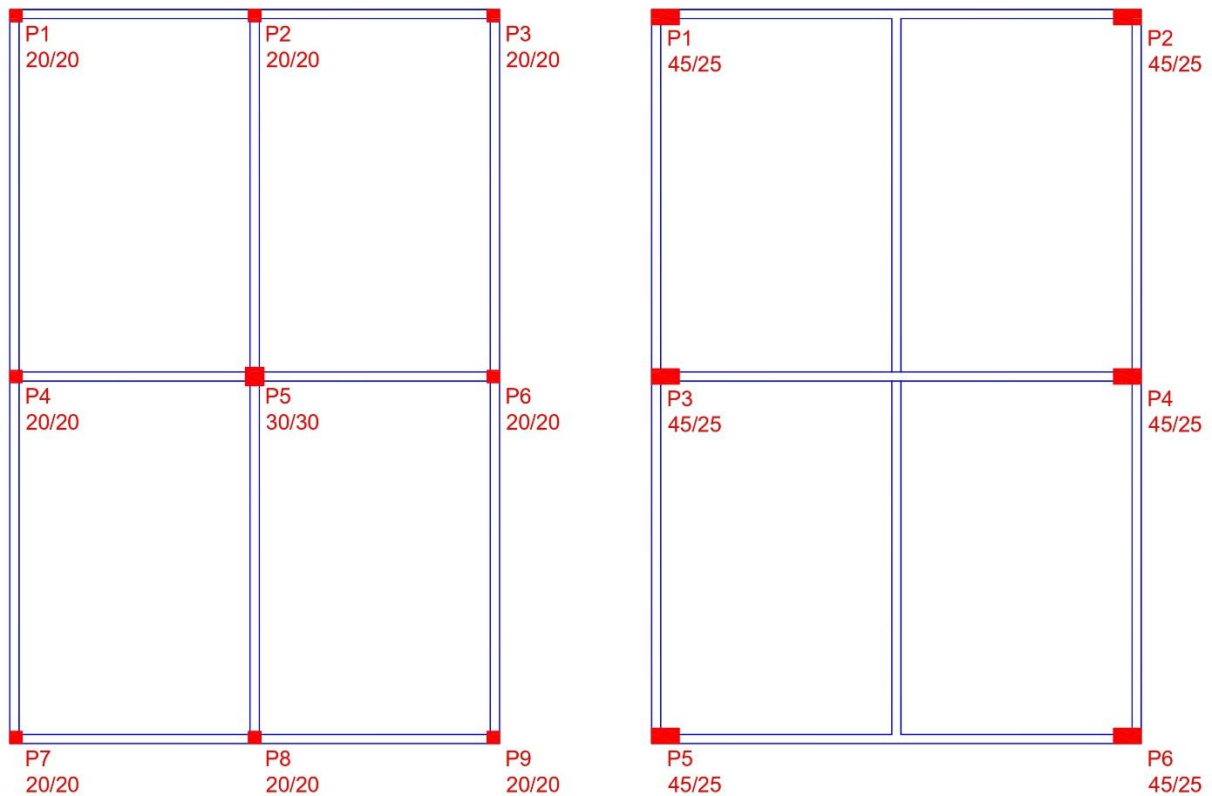


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em azul: Editar, Exibir, Desenhar, Blocos, Cotagem, Modelo, Pilares, Vigas, Lajes, Fundações, Inclinados. Caixa de seleção em vermelho sobre: Pilares, $b1$ e $h1$ e Inserir Pilar.

A Figura 20 apresenta a disposição final dos pilares de cada modelo processado, com a alteração na quantidade de pilares pré-estabelecida e, consequentemente, na dimensão deles.

Figura 20 – Desenho Final dos Pilares.



Fonte: AUTOCAD ESTUDANTE (2024).

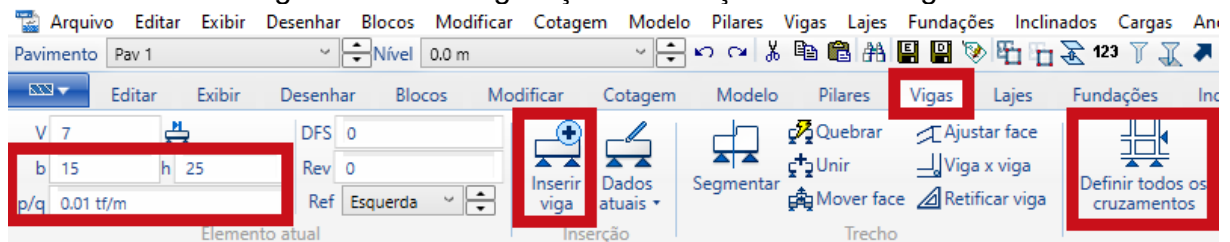
Legenda: A imagem representa a planta arquitetônica com a utilização dos pilares centrais totalizados em 9. A imagem à direita representa a planta arquitetônica sem a utilização de pilares centrais totalizados em 6.

2.3.3.2 Inserção das Vigas

O lançamento das vigas segue uma metodologia similar à utilizada para os pilares, incluindo o processo de iteração para uma melhor taxa de aço. A Figura 21 proporciona uma visualização das etapas para a inserção e posicionamento das vigas no modelo estrutural. A carga aplicada foi suficientemente pequena para evitar que o software apresentasse erros como ‘falta de carga na alvenaria’ durante o processamento.

Para identificar corretamente os pontos de interseção entre as vigas e determinar quais vigas se apoiam sobre outras, é fundamental utilizar a função ‘Definir todos os cruzamentos’. Essa ferramenta possibilita uma configuração precisa das relações de suporte entre as vigas, assegurando a estabilidade da estrutura durante a modelagem.

Figura 21 – Configuração do Lançamento de Vigas.

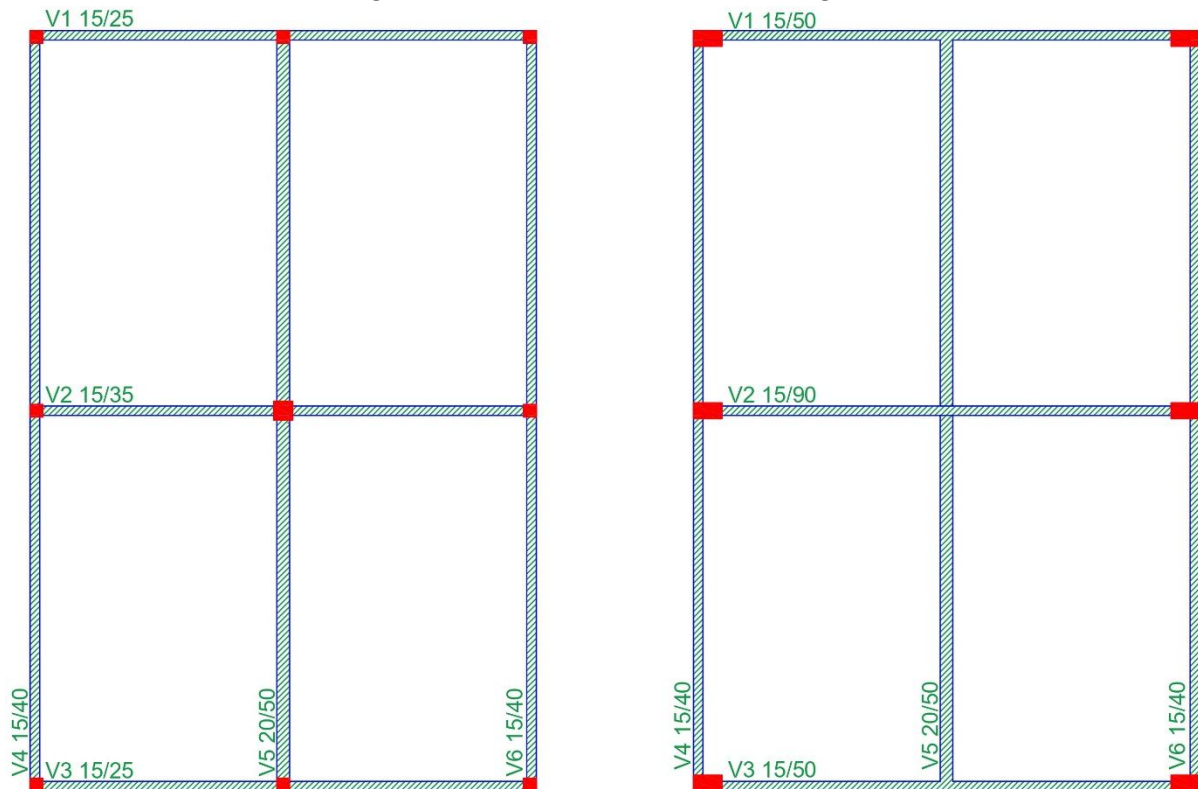


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em azul: Editar, Exibir, Desenhar, Blocos, Cotagem, Modelo, Pilares, Vigas, Lajes, Fundações. Caixa de seleção em vermelho sobre: Vigas, b e h, p/q, Inserir Viga e Definir todos os cruzamentos.

Após a renumeração das vigas, o lançamento final desses elementos é apresentado de forma detalhada na Figura 22.

Figura 22 – Desenho Final das Vigas.



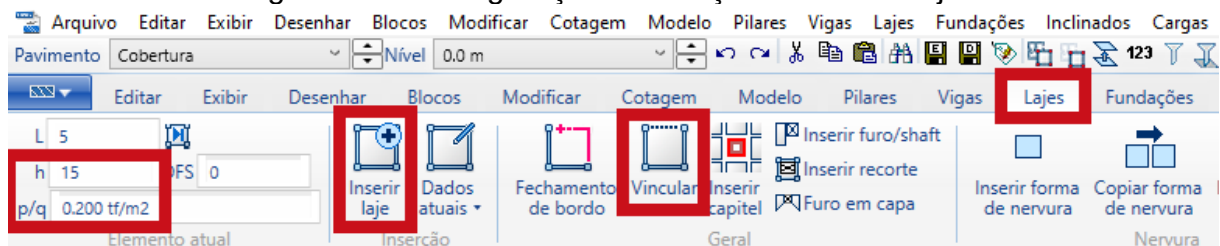
Fonte: AUTOCAD ESTUDANTE (2024).

Legenda: A imagem à esquerda representa a planta arquitetônica com a utilização dos pilares centrais e 6 vigas para cada pavimento, a imagem à direita representa a planta arquitetônica sem a utilização de pilares centrais com o mesmo número de vigas.

2.3.3.3 Inserção das Lajes

O processo de análise das lajes apresentou características distintas em relação aos elementos estruturais abordados anteriormente. Os parâmetros definidos para cada laje foram mantidos constantes desde o início, sem a necessidade de ajustes ou iterações ao longo do projeto. Foi escolhida a laje maciça, com espessura padrão de 15 cm para todas elas e a carga distribuída considerada foi de 0,2 tf/m² em ambos os modelos (conforme Figura 23).

Figura 23 – Configuração do Lançamento das Lajes.

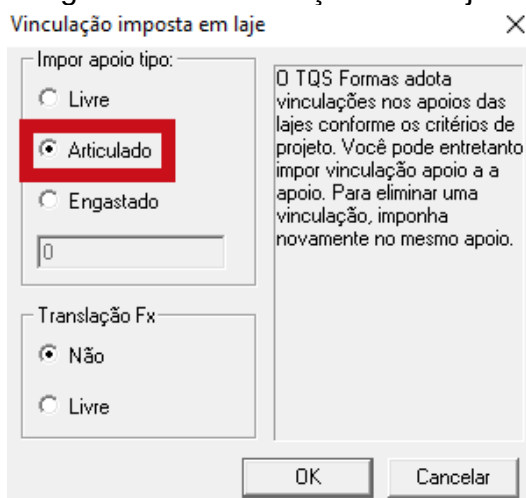


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em azul: Editar, Exibir, Desenhar, Blocos, Cotagem, Modelo, Pilares, Vigas, Lajes, Fundações. Caixa de seleção em vermelho sobre: Lajes, h, p/q, Inserir Laje e Vincular.

Outro passo essencial no processo de lançamento das lajes é a definição das vinculações entre elas. Para realizar essa etapa, deve-se acessar a opção 'Vincular' e selecionar a opção 'Articulado', configuração utilizada para o estudo e apresentada na Figura 24.

Figura 24 – Vinculação nas Lajes.

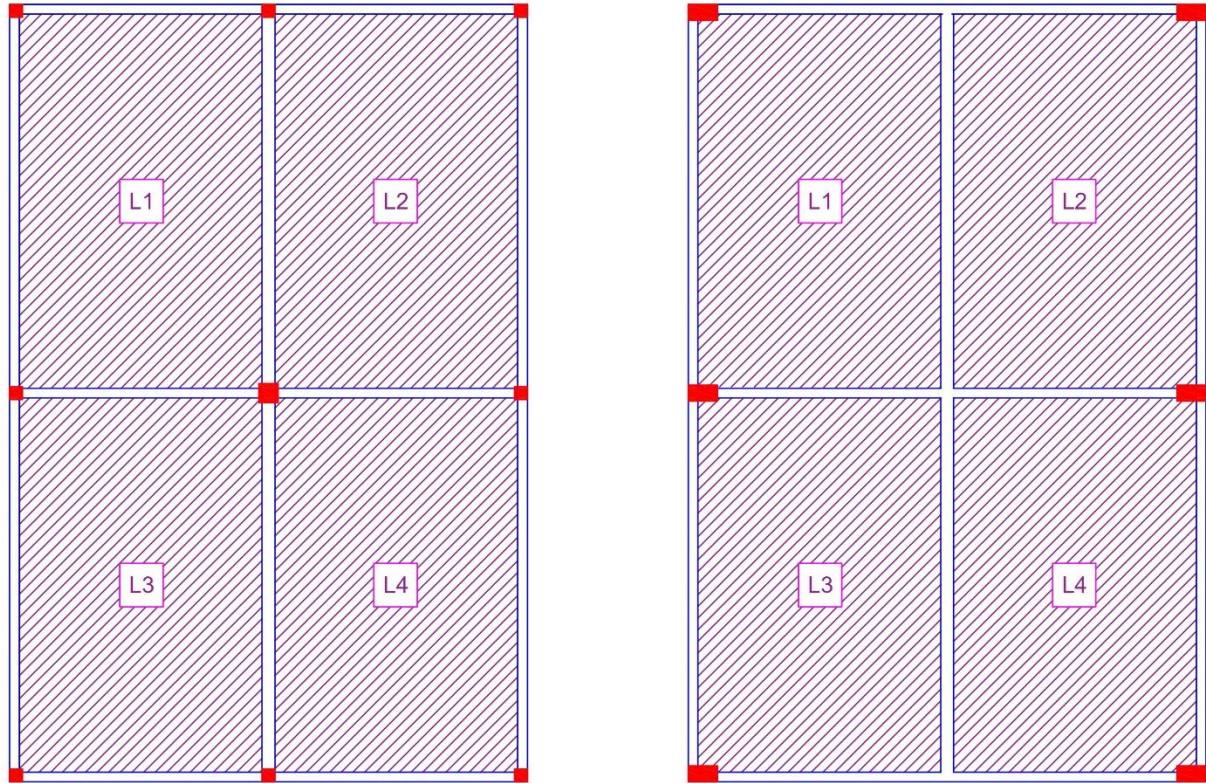


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Vinculação imposta em laje, impor apoio tipo, Livre, Articulado, Engastado. Caixa de seleção em vermelho sobre: Articulado.

E, a Figura 25 mostra a configuração definida das lajes para cada planta que, no caso, são idênticas.

Figura 25 – Desenho Final das Lajes.



Fonte: AUTOCAD ESTUDANTE (2024).

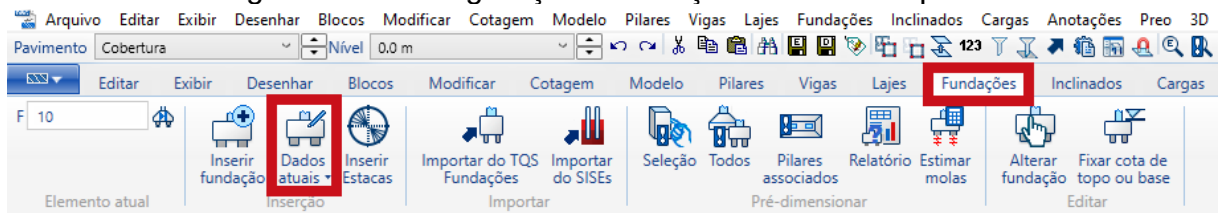
Legenda: A imagem à esquerda representa a planta arquitetônica com a utilização dos pilares centrais e 4 lajes para cada pavimento, a imagem à direita representa a planta arquitetônica sem a utilização de pilares centrais com o mesmo número de lajes.

2.3.3.4 Inserção das Fundações

Para a fundação, o software TQS disponibiliza uma ferramenta chamada ‘Pré-dimensionamento’ que permite otimizar os cálculos das dimensões de cada sapata, elemento escolhido para o projeto, fornecendo análises detalhadas, opções para diferentes tipos de solos e outros parâmetros importantes. No entanto, é necessário realizar algumas etapas preliminares antes de utilizar este recurso.

No software TQS, o pré-dimensionamento automático das sapatas exige que se insira inicialmente uma sapata com dimensões reduzidas. Para isso, deve-se acessar a janela ‘Dados atuais’ e selecionar a opção ‘Dados de fundação’, como visto na Figura 26.

Figura 26 – Configuração do Lançamento das Sapatas.



Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em azul: Editar, Exibir, Desenhar, Blocos, Cotagem, Modelo, Pilares, Vigas, Lajes, Fundações, Inclinações, Cargas. Caixa de seleção em vermelho sobre: Fundações e Dados atuais.

Em seguida, é necessário solicitar ao programa que realize o cálculo para determinar as dimensões adequadas, como na Figura 27.

Figura 27 – Dados de Fundação.

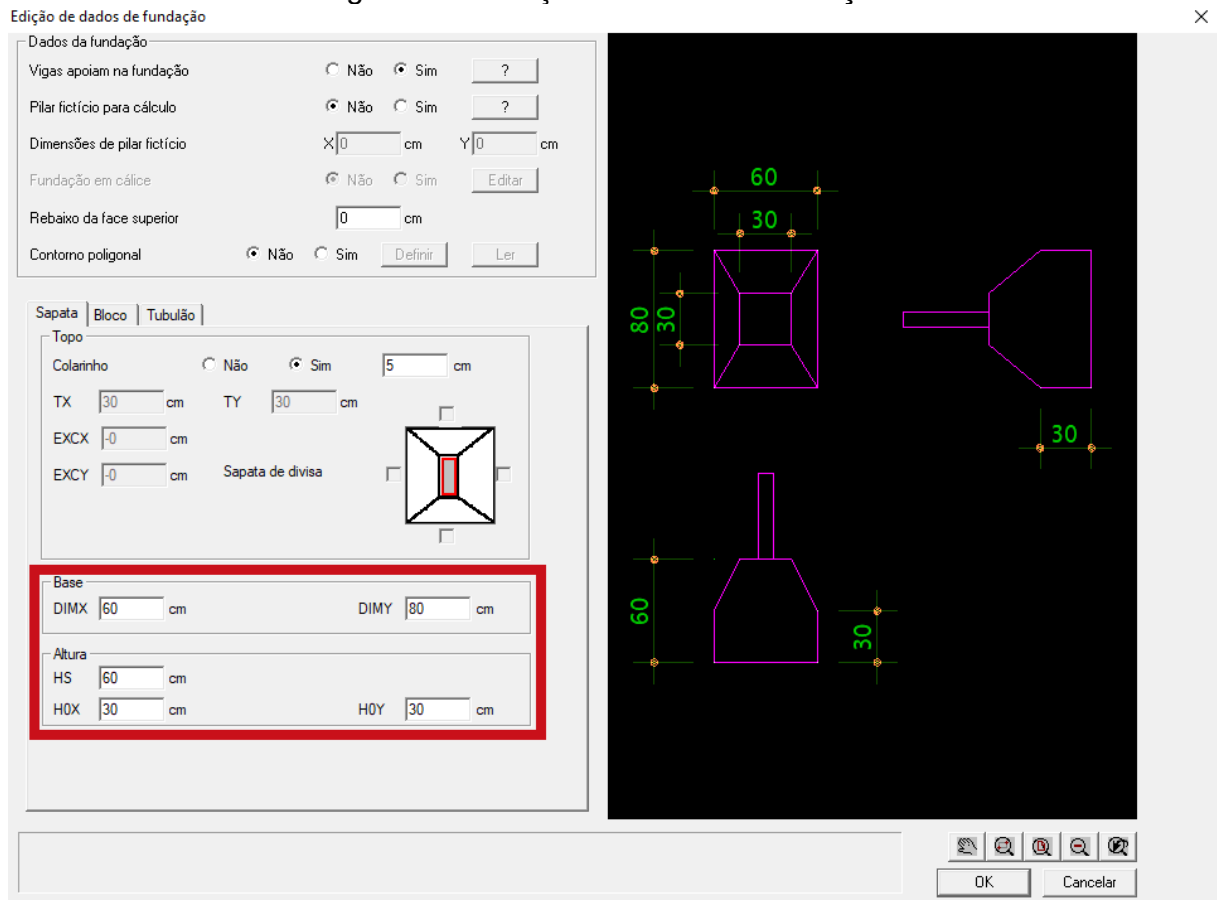


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Dados de fundações, Identificação, Seção, Grelha/Pavimento, Pórtico, Detalhamento, BIM. Caixa de seleção em vermelho sobre: Seção e Dados de fundação.

É necessário inserir as informações relacionadas à base e à altura, seguindo a Figura 28 apresentada na sequência.

Figura 28 – Edição ‘Dados de Fundação’.

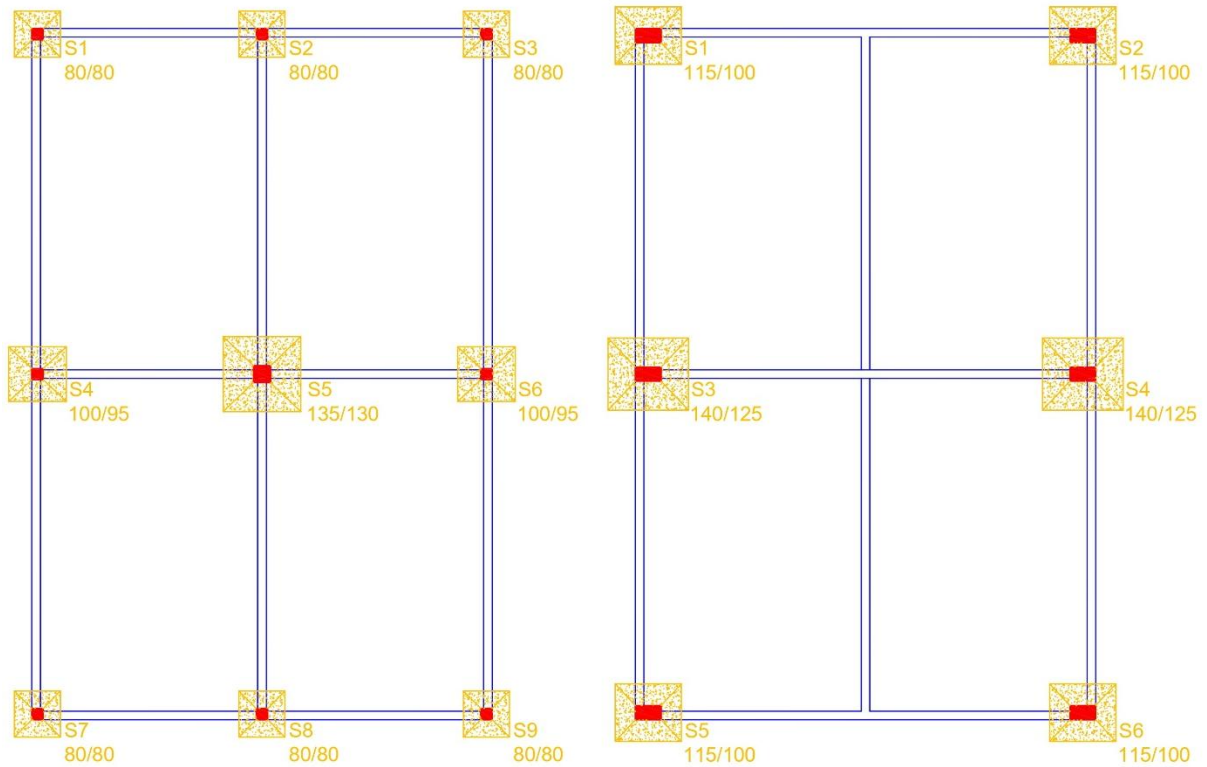


Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Edição de dados de fundação, Dados da fundação, Sapata, Bloco, Tubulão, Topo, Base, Altura, OK, Cancelar.

Após inserir todas as informações no software, incluindo as sapatas com dimensões reduzidas e considerando a tensão admissível do solo de 3 kgf/cm^2 , é possível utilizar a função de pré-dimensionamento para calcular as dimensões ideais. Na Figura 29, observamos as plantas finais com as respectivas fundações.

Figura 29 – Desenho Final das Sapatas.



Fonte: AUTOCAD ESTUDANTE (2024).

Legenda: A imagem à esquerda representa a planta arquitetônica com a utilização dos pilares centrais e 9 sapatas, a imagem à direita representa a planta arquitetônica sem a utilização de pilares centrais e com 6 sapatas.

2.3.4 Detalhamento dos Elementos Estruturais

Concluída a etapa de processamento e análise da estrutura, inicia-se o detalhamento, que consiste em organizar as armaduras de maneira a facilitar a execução, sem alterar as proporções de aço necessárias, atendendo aos requisitos estabelecidos pelas normas técnicas.

Graças ao software TQS, todas as armaduras, diagramas e momentos são calculados por ele de maneira automática, restando apenas a análise detalhada dos resultados para uma conclusão.

3 RESULTADOS

Em função dos resultados obtidos a partir dos modelos estruturais elaborados, são avaliados aspectos como as taxas de armadura, o consumo de materiais e a comparação entre as plantas arquitetônicas com e sem pilares centrais. As análises realizadas evidenciam os impactos estruturais e econômicos de cada configuração, possibilitando a identificação das vantagens de cada solução.

3.1 TAXAS DE ARMADURA

O processo de otimização da seção transversal foi realizado por meio da iteração das dimensões dos elementos estruturais, com o objetivo de atender aos critérios econômicos e normativos. Procurou-se ajustar as dimensões das larguras e alturas das vigas, assim como as seções transversais dos pilares, com o objetivo de atingir uma taxa de armadura (ρ) máxima próxima a 1%. Esse valor foi selecionado por ser considerado ideal para assegurar a segurança estrutural e prevenir o superdimensionamento, favorecendo o aproveitamento mais eficiente dos materiais e, com isso, diminuindo os custos.

A Figura 30 apresenta os dados dos pilares em uma configuração estrutural que inclui pilares centrais. Essa configuração permite seções mais compactas, distribuindo melhor as cargas verticais e reduzindo a necessidade de grandes reforços.

Figura 30 – Relatório Geral dos Pilares da Planta com Pilares Centrais.

Pilar	Lances	Seção (cm)	σ (kgf/cm ²)	ν	λ	ρ	Taxa de aço (kgf/m ³)
P1	2 a 3	20X20	11.4 a 23.2	0.052 a 0.114	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P2	2 a 3	20X20	23.8 a 47.5	0.109 a 0.23	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P3	2 a 3	20X20	11.4 a 23.2	0.052 a 0.114	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P4	2 a 3	20X20	29.1 a 57.8	0.132 a 0.283	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P5	2 a 3	30X30	29.7 a 59	0.138 a 0.275	32 a 35	0.55 a 0.55	77.1
P6	2 a 3	20X20	29.5 a 58.5	0.134 a 0.286	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P7	2 a 3	20X20	11.4 a 23.3	0.052 a 0.114	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P8	2 a 3	20X20	23.9 a 47.8	0.11 a 0.231	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1
P9	2 a 3	20X20	11.4 a 23.4	0.052 a 0.114	48 a 52	0.79 a 0.79	102.1

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em branco: Pilar, Lances, Seção (cm), σ (kgf/cm²), ν , λ , ρ , Taxa de aço (kgf/m³).

A Figura 31 mostra o mesmo tipo de relatório, mas aplicado a uma planta que não possui pilares centrais. Nesse caso, é evidente a necessidade de seções maiores para os pilares remanescentes, de forma a compensar a ausência de apoio intermediário.

Figura 31 – Relatório Geral dos Pilares da Planta sem Pilares Centrais.

Pilar	Lances	Seção (cm)	σ (kgf/cm ²)	ν	λ	ρ	Taxa de aço (kgf/m ³)
P1	2 a 3	25X45	9.1 a 18.2	0.041 a 0.088	21 a 42	0.56 a 0.87	96.0
P2	2 a 3	25X45	9.1 a 18.3	0.042 a 0.088	21 a 42	0.56 a 0.87	96.0
P3	2 a 3	25X45	23.7 a 47.2	0.109 a 0.226	20 a 42	0.42 a 0.87	88.9
P4	2 a 3	25X45	23.9 a 47.5	0.109 a 0.228	20 a 42	0.42 a 0.87	88.9
P5	2 a 3	25X45	9.1 a 18.3	0.042 a 0.088	21 a 42	0.56 a 0.87	96.0
P6	2 a 3	25X45	9.1 a 18.4	0.042 a 0.089	21 a 42	0.56 a 0.87	96.0

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em branco: Pilar, Lances, Seção (cm), σ (kgf/cm³), ν , λ , ρ , Taxa de aço (kgf/m³).

Com as dimensões dos pilares devidamente definidas e as taxas de aço otimizadas, torna-se possível realizar uma análise comparativa entre as duas plantas, focada nos pilares centrais e, posteriormente, uma análise percentual. Nota-se que, na planta sem pilares centrais, é necessário dimensionar seções maiores para suprir a ausência do suporte intermediário. Esta Tabela 2 resume as dimensões dos pilares para ambas as configurações.

Tabela 1 – Comparação das Dimensões dos Pilares.

Pilares	Com Pilares Centrais	Sem Pilares Centrais
P1	20/20	45/25
P2	20/20	-
P3	20/20	45/25
P4	20/20	45/25
P5	30/30	-
P6	20/20	45/25
P7	20/20	45/25
P8	20/20	-
P9	20/20	45/25

Fonte: Produção do próprio autor.

Os relatórios apresentados a seguir para as vigas de cada pavimento são similares, com uma única diferença: o valor analisado refere-se à taxa geométrica de armadura longitudinal (ρ_s) obtida em diversas seções ao longo do vão e não considera a armadura lateral.

A Figura 32 traz os dados das vigas localizadas no pavimento 1 da planta com pilares centrais. As vigas, nesse cenário, são menores e menos exigidas, dado que a carga é mais distribuída entre os pilares.

Figura 32 – Relatório Geral das Vigas do Pavimento 1 da Planta com Pilares Centrais.

Viga	L (cm)	Vãos	Seção (cm)	H/L (%)	ρ_s (%)	ρ_{sw} (%)	Taxa de aço (kgf/m ³)
V1	385 a 385	2	15X25	6.49 a 6.49	1.01 a 1.19	0.56 a 0.56	119.0
V2	385.5 a 385.5	2	15X35	9.08 a 9.08	0.92 a 1.22	0.38 a 0.38	116.9
V3	385 a 385	2	15X25	6.49 a 6.49	1.01 a 1.19	0.56 a 0.56	119.0
V4	590 a 590	2	15X40	6.78 a 6.78	0.41 a 1.08	0.32 a 0.32	65.2
V5	590 a 590	2	20X50	8.47 a 8.47	0.41 a 1.05	0.25 a 0.25	67.5
V6	590 a 590	2	15X40	6.78 a 6.78	0.4 a 1.08	0.32 a 0.32	65.0

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em branco: Viga, L (cm), Vãos, Seção (cm), H/L (%), ρ_s (%), ρ_w (%), Taxa de aço (kgf/m³).

Nesta Figura 33, temos as mesmas variáveis analisadas para a configuração sem pilares centrais. Observa-se um aumento significativo nas dimensões das vigas para garantir resistência e rigidez adequadas.

Figura 33 – Relatório Geral das Vigas do Pavimento 1 da Planta sem Pilares Centrais.

Viga	L (cm)	Vãos	Seção (cm)	H/L (%)	ρ_s (%)	ρ_{sw} (%)	Taxa de aço (kgf/m ³)
V1	740 a 740	1	15X50	6.76 a 6.76	0.54 a 1.13	0.25 a 0.27	86.7
V2	755 a 755	1	15X90	11.92 a 11.92	0.74 a 0.91	0.14 a 0.22	117.4
V3	740 a 740	1	15X50	6.76 a 6.76	0.54 a 1.13	0.25 a 0.28	86.9
V4	586.5 a 586.5	2	15X40	6.82 a 6.82	0.61 a 0.86	0.32 a 0.32	75.3
V5	592.3 a 592.7	2	20X50	8.44 a 8.44	0.28 a 1.05	0.25 a 0.25	62.9
V6	586.5 a 586.5	2	15X40	6.82 a 6.82	0.61 a 0.86	0.32 a 0.32	75.3

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em branco: Viga, L (cm), Vãos, Seção (cm), H/L (%), ρ_s (%), ρ_w (%), Taxa de aço (kgf/m³).

A Figura 34 apresenta as vigas da cobertura com pilares centrais. O relatório segue o mesmo padrão das figuras anteriores, possibilitando a comparação direta com outras configurações.

Figura 34 – Relatório Geral das Vigas da Cobertura da Planta com Pilares Centrais.

Viga	L (cm)	Vãos	Seção (cm)	H/L (%)	ρ_s (%)	ρ_{sw} (%)	Taxa de aço (kgf/m³)
V1	385 a 385	2	15X25	6.49 a 6.49	0.5 a 1.05	0.56 a 0.56	86.4
V2	385.5 a 385.5	2	15X35	9.08 a 9.08	0.75 a 1	0.38 a 0.38	96.8
V3	385 a 385	2	15X25	6.49 a 6.49	0.5 a 1.05	0.56 a 0.56	86.4
V4	590 a 590	2	15X40	6.78 a 6.78	0.4 a 1.08	0.32 a 0.32	64.0
V5	590 a 590	2	20X50	8.47 a 8.47	0.41 a 1.05	0.25 a 0.25	67.1
V6	590 a 590	2	15X40	6.78 a 6.78	0.4 a 1.08	0.32 a 0.32	64.0

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).
Legenda: Escritos em branco: Viga, L (cm), Vãos, Seção (cm), H/L (%), ρ_s (%), ρ_w (%), Taxa de aço (kgf/m³).

Por fim, a Figura 35 ilustra as vigas da cobertura na planta sem pilares centrais. Mesmo nesse nível superior, a ausência de pilares centrais demanda seções mais robustas para garantir o desempenho estrutural.

Figura 35 – Relatório Geral das Vigas da Cobertura da Planta sem Pilares Centrais.

Viga	L (cm)	Vãos	Seção (cm)	H/L (%)	ρ_s (%)	ρ_{sw} (%)	Taxa de aço (kgf/m³)
V1	740 a 740	1	15X50	6.76 a 6.76	0.71 a 0.94	0.25 a 0.28	87.0
V2	755 a 755	1	15X90	11.92 a 11.92	0.83 a 1.18	0.14 a 0.21	131.6
V3	740 a 740	1	15X50	6.76 a 6.76	0.71 a 0.94	0.25 a 0.28	87.0
V4	586.5 a 586.5	2	15X40	6.82 a 6.82	0.44 a 0.84	0.32 a 0.32	61.4
V5	592.5 a 592.5	2	20X50	8.44 a 8.44	0.28 a 1.05	0.25 a 0.25	63.0
V6	586.5 a 586.5	2	15X40	6.82 a 6.82	0.44 a 0.84	0.32 a 0.32	61.4

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).
Legenda: Escritos em branco: Viga, L (cm), Vãos, Seção (cm), H/L (%), ρ_s (%), ρ_w (%), Taxa de aço (kgf/m³).

A Tabela 2 resume as seções das vigas para ambas as configurações. Destaca-se a viga 2, que salta de 15/35 (com pilares centrais) para 15/90 (sem pilares centrais), um indicativo da necessidade de resistir a momentos fletores mais elevados.

Tabela 2 – Comparação das Dimensões das Vigas.

Vigas	Com Pilares Centrais	Sem Pilares Centrais
V1	15/25	15/50
V2	15/35	15/90
V3	15/25	15/50
V4	15/40	15/40
V5	20/50	20/50
V6	15/40	15/40

Fonte: Produção do próprio autor.

Uma outra observação relevante sobre as vigas é que a viga 5 apresenta uma largura maior, o que se justifica por ser a viga central responsável por suportar grande parte da carga na planta sem pilares centrais. Essa configuração é essencial para minimizar o risco de deformações excessivas, como flechas significativas.

3.2 QUANTITATIVO DE AÇO

Após a realização de todas as iterações para as dimensões das vigas e pilares e a obtenção de uma porcentagem de aço considerada aceitável, é possível prosseguir com a análise do consumo de aço em cada pavimento de cada planta.

Na comparação numérica entre as Figuras 36 e 37, foram analisados o consumo de concreto (m^3), o consumo de fôrmas (m^2) e o consumo de aço (kgf).

Figura 36 – Resumo do Consumo e Taxas da Planta com Pilares Centrais.

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m^3)	Taxa (m^3/m^2)	Consumo (m^2)	Taxa (m^2/m^2)	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/ m^2)	Taxa (kgf/ m^3)
FUNDAC	2.23	0.30	6.46	0.862	91	12.20	41.06
Cobertura	17.65	0.18	149.22	1.554	951	9.90	53.86
Pav 1	17.65	0.18	149.22	1.554	1021	10.63	57.81
Terreo	0.00		0.00		0		
Fundacao	0.00		0.00		0		
TOTAL	37.54	0.19	304.90	1.528	2063	10.34	54.95

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Pavimento/Pasta, Concreto, Consumo (m^3), Taxa (m^3/m^2), Fôrmas, Consumo (m^2), Taxa (m^2/m^2), Aço, Consumo (kgf), Taxa (kgf/ m^2), Taxa (kgf/ m^3).

Figura 37 – Resumo do Consumo e Taxas da Planta sem Pilares Centrais.

Pavimento/Pasta	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m^3)	Taxa (m^3/m^2)	Consumo (m^2)	Taxa (m^2/m^2)	Consumo (kgf)	Taxa (kgf/ m^2)	Taxa (kgf/ m^3)
FUNDAC	2.44	0.30	5.56	0.686	91	11.26	37.39
Cobertura	19.52	0.20	165.79	1.727	1347	14.03	69.01
Pav 1	19.52	0.20	165.79	1.727	1356	14.12	69.46
Terreo	0.00		0.00		0		
Fundacao	0.00		0.00		0		
TOTAL	41.48	0.21	337.14	1.685	2794	13.96	67.36

Fonte: TQS ESTUDANTE (2024).

Legenda: Escritos em preto: Pavimento/Pasta, Concreto, Consumo (m^3), Taxa (m^3/m^2), Fôrmas, Consumo (m^2), Taxa (m^2/m^2), Aço, Consumo (kgf), Taxa (kgf/ m^2), Taxa (kgf/ m^3).

Como mostrado na Tabela 3, a planta sem pilares centrais apresentou um consumo maior de todos os materiais em comparação com a planta com pilares centrais.

Tabela 3 – Comparação entre os Consumos.

Plantas	Com Pilares Centrais	Sem Pilares Centrais
Concreto (m ³)	37,54	41,48
Fôrmas (m ²)	304,90	337,14
Aço (kgf)	2063	2794

Fonte: Produção do próprio autor.

Esse aumento é justificado pela necessidade de reforçar os elementos estruturais restantes para garantir a estabilidade global da edificação e mostra que, mesmo que a estrutura não possua pilares centrais, o seu gasto com materiais, em comparação com a planta com pilares centrais, é maior.

3.3 DISCUSSÃO

Observando os números encontrados, indica-se que a adoção de pilares centrais representa uma solução mais eficiente em termos de consumo de materiais. Embora a planta sem pilares centrais possa oferecer maior flexibilidade arquitetônica, o considerável aumento nos custos com materiais pode tornar essa alternativa inviável economicamente, especialmente em projetos de menor porte. As análises demonstram que, ao projetar sistemas estruturais, é essencial considerar não apenas a viabilidade estrutural, mas também os impactos econômicos.

As comparações revelam diferenças significativas no consumo de materiais entre as duas configurações estruturais. Em relação ao concreto, a planta sem pilares centrais apresentou um aumento de aproximadamente 10,5%, refletindo a necessidade de dimensionar seções maiores para vigas e pilares. O consumo de fôrmas também foi superior, com um acréscimo de cerca de 11%, decorrente da maior complexidade das seções estruturais. Contudo, o impacto mais significativo foi observado no consumo de aço, que aumentou cerca de 35,5%, ressaltando a influência direta da ausência de pilares centrais na maior demanda por armaduras estruturais.

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos ressaltam a importância do planejamento estrutural no consumo eficiente de materiais e na viabilidade econômica dos projetos. A análise comparativa entre as plantas arquitetônicas com e sem pilares centrais revelou impactos significativos nos quantitativos de concreto, fôrmas e aço, destacando a influência nas escolhas de configuração estrutural. Concluiu-se que a implementação de pilares centrais consisti em uma opção mais vantajosa no que diz respeito à utilização de aço. Apesar de a configuração sem esses elementos possibilitar uma maior liberdade no design arquitetônico e menor quantidade no número de fundações, o expressivo acréscimo nos gastos com materiais pode comprometer sua viabilidade financeira. Em particular, observou-se que o consumo de aço exerce um efeito mais significativo nos custos totais do projeto do que o consumo de concreto e fôrmas.

Além disso, os resultados reforçam a relevância do uso de ferramentas, como o TQS, no processo de otimização do dimensionamento estrutural. O TQS se mostrou fundamental para fornecer dados precisos que auxiliam em decisões mais objetivas, contribuindo para a eficiência e a sustentabilidade econômica ao longo do desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

PORTO, T. B.; FERNANDES, D. S. G. **Curso Básico de Concreto Armado**: conforme NBR 6118/2014. 6. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 208 p.

KIMURA, A. **Informática Aplicada a Estruturas de Concreto Armado**: ampliada e atualizada. 2. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2018. 416 p. Disponível em: <https://athena.biblioteca.unesp.br/pearson/9788579753114>.

BASTOS, P. S. **Flexão Composta e Pilares de Concreto Armado**. Bauru: UNESP, 2021. Apostila da disciplina 2123 - Estruturas de Concreto II. 183 p.

BASTOS, P. S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Bauru: UNESP, 2023. Apostila da disciplina 2117 – Estruturas de Concreto I. 96 p.

BASTOS, P. S. **Lajes de Concreto Armado**. Bauru: UNESP, 2023. Apostila da disciplina 2117 – Estruturas de Concreto I. 114 p.

BASTOS, P. S. **Vigas de Concreto Armado – Dimensionamento, Flecha e Fissuração**. Bauru: UNESP, 2024. Apostila da Disciplina 2123 – Estruturas de Concreto II. 179 p.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado segundo a NBR 6118: 2003**. 3. ed. EDUFSCar, 2001. 365 p.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado: volume 1**. 3. ed. Rio Grande do Sul, 2010.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado: volume 2**. 3. ed. Rio Grande do Sul, 2010.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado: volume 4**. 3. ed. Rio Grande do Sul, 2010.

MORAIS, V. R.; REGO, L. R. M. **Aços para Concreto Armado**. In: ISAIA, G.C. (ed.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON), 2005, v.1, p.233-263.

TQS Informática. Disponível em: <https://www.tqs.com.br/>.

AUTODESK. AutoCAD. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/products/autocad/free-trial>.