



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

ANTONIO JUSCELINO DE OLIVEIRA GONDIM

**ANÁLISE DA NÃO-CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.**

CARAÚBAS-RN

2024

ANTONIO JUSCELINO DE OLIVEIRA GONDIM

**ANÁLISE DA NÃO-CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Caraúbas, como exigência final para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos Junior – UFERSA.

CARAÚBAS-RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G637a Gondim, Antonio Juscelino de Oliveira.

Análise da não-conformidade da resistência à compressão em estruturas de concreto armado. / Antonio Juscelino de Oliveira Gondim. - 2024.

61 f. : il.

Orientador: Gilvan Bezerra dos Santos Junior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2024.

1. Dimensionamento. 2. Edificação. 3. Segurança.
4. Taxa de armadura. I. Junior, Gilvan Bezerra dos Santos, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ANTONIO JUSCELINO DE OLIVEIRA GONDIM

**ANÁLISE DA NÃO-CONFORMIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO
EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a Universidade Federal Rural
do Semi-Árido como requisito para
obtenção do título de Engenheiro Civil.

Defendido em: 19/04/2024.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
GILVAN BEZERRA DOS SANTOS JUNIOR
Data: 19/04/2024 18:56:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos Junior - UFERSA
Presidente



Documento assinado digitalmente
RENATA DE OLIVEIRA MARINHO
Data: 19/04/2024 19:05:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof^a. Esp. Renata de Oliveira Marinho - UFERSA
Membro Examinador



Documento assinado digitalmente
LEONARDO HENRIQUE BORGES DE OLIVEIRA
Data: 19/04/2024 19:45:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges de Oliveira - UFERSA
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a Deus pela proteção, força e coragem que me fez continuar lutando ao longo dos anos da minha vida acadêmica, rumo a realização dos meus sonhos.

Ao meu orientador *Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos Santos Junior*, pelos ensinamentos, paciência, cuidado e disposição para ajudar, sem ele não seria possível construir este trabalho, e a todos os professores que passaram e deixaram o seu conhecimento.

A minha família, que acreditou e engajou-se em todos os meus projetos, principalmente a minha mãe Sebastiana Gabriel, por sempre acreditar que eu conseguiria, por toda dedicação, carinho e amor. Ao meu pai Antonio Suter, por todos os ensinamentos de vida e zelo. E as minhas irmãs Maria das Dores e Joana Darc, por todo incentivo, apoio e amor. Obrigado por tudo, amo vocês.

Agradeço especialmente a minha esposa Gilvanira Gondim, por ser base, exemplo, e por toda ajuda que me deste ao longo dessa caminhada, por não me deixar fracassar nos momentos mais difíceis e sempre acredita que conseguiríamos, te amo!

Ao meu filho João Gabriel, que veio para ressignificar o sentido da vida e nos ensinar o que é o amor. A você todo o meu esforço, dedicação e amor. Que Deus sempre lhe proteja.

E aos colegas e amigos que a faculdade me proporcionou, estes que se dispuseram não apenas em auxiliar com os trabalhos de curso, mas também com o cotidiano da vida, destaque: Ana Claudia, Renata, Romeu, Talia e aos demais amigos que a graduação me presenteou.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para esta importante conquista. Meu muito obrigado.

Tudo tem o seu tempo determinado, e há
tempo para todo o propósito debaixo do
céu.

(Eclesiastes 3:1)

RESUMO

As estruturas de concreto armado devem apresentar resistência à compressão satisfatória, tendo em vista a necessidade de ser uma edificação eficiente, segura e que possa ter durabilidade. E o estudo da não-conformidade dessa propriedade mecânica permite analisar a integralidade estrutural de uma edificação quando as especificações do projeto estrutural não estão sendo alcançadas. É possível inferir que as não-conformidades podem surgir de etapas iniciais da execução, como por exemplo a seleção dos insumos ou até mesmo o controle de qualidade. Esse problema pode surgir de ações como: um mal dimensionamento dos elementos estruturais, da execução inadequada da concretagem, da falta colocação de armadura. Assim, o presente estudo versa sobre análise das implicações no comportamento estrutural após o surgimento das não-conformidades, bem como oferece as soluções para a correção das falhas que surgiram. Para execução do trabalho, realizou-se modelagem de projeto estrutural de um edifício de pequeno porte ou seja, uma edificação modesta, de até cinco pavimentos, utilizando o programa CYPECAD® (2019). Sendo uma estrutura de quatro pavimentos, com vinte e quatro pilares, sessenta e oito vigas e quatro grupos de pisos de lajes. Por meio da utilização de planilhas realizou-se uma análise paramétrica com a variação da resistência característica à compressão em todos os elementos estruturais para análise das não-conformidades. Algumas não-conformidades foram identificadas, baseando-se pelos resultados encontrados ao se reduzir o f_{ck} para 15 MPa, o que resultou-se em um aumento significativo na taxa de armadura, que foram: 78% no pilar P13 do 1º pavimento, 18% na viga do 2º pavimento e 20% na laje do 1º pavimento. E ações de reforços como aumento da taxa aço e implantação de armadura negativa, foram algumas das sugestões.

Palavras-chaves: Dimensionamento; Edificação; Segurança, Taxa de armadura.

ABSTRACT

Reinforced concrete structures must have satisfactory compressive strength, given the need to be an efficient, safe and durable building. And the study of the non-conformity of this mechanical property allows us to analyze the structural integrity of a building when the structural design specifications are not being achieved. It is possible to infer that non-conformities may arise from initial stages of execution, such as the selection of inputs or even quality control. This problem can arise from actions such as: poor dimensioning of structural elements, inadequate execution of concreting, lack of reinforcement placement. Thus, the present study focuses on analyzing the implications for structural behavior after the emergence of non-conformities, as well as offering solutions for correcting the flaws that have arisen. To carry out the work, structural design modeling of a small building was carried out, that is, a modest building, up to five floors, using the CYPECAD® program (2019). It is a four-story structure, with twenty-four pillars, sixty-eight beams and four groups of slab floors. Using spreadsheets, a parametric analysis was carried out with the variation of the characteristic compressive strength in all structural elements to analyze non-conformities. Some non-conformities were identified, based on the results found when reducing the f_{ck} to 15 MPa, which resulted in a significant increase in the reinforcement rate, which were: 78% in pillar P13 on the 1st floor, 18% on the beam of the 2nd floor and 20% on the slab of the 1st floor. And reinforcement actions such as increasing the steel rate and implementing negative reinforcement were some of the suggestions.

Keywords: Dimensioning; Edification; Security, Armor rating.

LISTA DE FIGURAS

Figure 1 – Principais fatores que influenciam a resistência a compressão potencial do concreto medida de ensaio de controle.....	20
Figure 2 - Software estrutural CYPECAD® (2019).....	23
Figure 3 – Layout arquitetônico da edificação	24
Figure 4 – Layout da modelagem estrutural.	25
Figure 5 – Identificação de pilares	28
Figure 6 – Localização de vigas.....	29
Figure 7 – Modelagem de lajes.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de armadura dos pilares do 1º pavimento	31
Tabela 2 – Taxa de armadura dos pilares do 2º pavimento	32
Tabela 3 – Taxa de armadura dos pilares da cobertura.....	33
Tabela 4 – Taxa de trabalho de pilares do 1º Pavimento	35
Tabela 5 – Taxa de trabalho de pilares do 2º pavimento	35
Tabela 6 – Taxa de trabalho de pilares da cobertura	36
Tabela 7 – Deslocamento local dos pilares	37
Tabela 8 – Deslocamento total dos pilares.....	39
Tabela 9 – Armadura negativa das vigas	41
Tabela 10 – Armadura positiva das vigas.....	42
Tabela 11 – Esforço cortante das vigas.....	44
Tabela 12 – Esforço normal das vigas.....	45
Tabela 13 – Flecha no tempo infinito nas vigas.....	46
Tabela 14 – Flecha imediata nas vigas	48
Tabela 15 – Armadura negativa das lajes	49

SUMARIO

1.	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	CONCRETO ARMADO	13
2.2	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO	14
2.3	ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO CONCRETO ARMADO	15
2.3.1	Lajes	16
2.3.2	Vigas	16
2.3.3	Pilares	17
2.4	NÃO CONFORMIDADE DO CONCRETO ARMADO	18
2.4.1	A influência dos materiais na propriedade do concreto	18
2.4.2	A influência do processo produtivo na propriedade do concreto	19
2.4.3	A influência do processo de ensaio na propriedade do concreto	19
2.5	VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO.....	20
2.6	PROJETO ESTRUTURAL.....	21
2.7	PROGRAMA ESTRUTURAL: CYPECAD	22
3.	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	24
3.1.	MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO ESTRUTURAL	25
3.2.	PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	27
3.2.1	Pilares.....	28
3.2.2	Vigas	28
3.2.3	Lajes	29
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	PILARES.....	31
4.1.1	Taxa de armadura	31
4.1.2	Taxa de Trabalho	34
4.1.3	Deslocamento local máximo.....	37
4.1.4	Deslocamento total máximo	39
4.2	VIGAS.....	40

4.2.1	Armadura negativa	41
4.2.2	Armadura positiva.....	42
4.2.3	Esforço cortante.....	43
4.2.4	Esforço normal.....	45
4.2.5	Flecha no tempo infinito	46
4.2.6	Flecha imediata	48
4.3	LAJES.....	49
4.3.1	Armadura negativa	49
5.	REFORÇO ESTRUTURAL PARA OS CASOS DE NÃO-CONFORMIDADES	52
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICE	57

1. INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil devido as suas notáveis propriedades e facilidade de obtenção dos materiais que fazem parte da sua composição. Ele surge da mistura de aglomerante, como o cimento, e aglomerados como a areia e pedra, juntamente com a água e demais aditivos. Esses materiais ao serem hidratados conseguem promover aderência aos fragmentos agregados, formando uma mistura resistente e de modelagem fácil. Por ser um material durável o concreto é muito empregado em elementos estruturais, juntamente com o aço, formando o concreto armado.

Para sustentar a edificação, as estruturas de concreto armado são compostas por elementos como lajes, vigas, pilares e fundações. Além da disponibilidade dos insumos, a facilidade de sua aplicação justifica a grande utilização desse sistema nas diversas estruturas (Bastos, 2019). Sendo assim, o concreto armado desempenha papel fundamental para a Engenharia Civil, estando presente em uma variedade de edificações.

Nesse segmento, afim de garantir a estabilidade dessas estruturas, a resistência à compressão do concreto torna-se essencial, contribuindo para a eficiência, a segurança e a durabilidade a longo do tempo de utilização. Além disso, a garantia da qualidade dessa propriedade é fundamental para prevenir falhas estruturais e melhorar os processos da construção. Entretanto, caso ocorra a não-conformidade da resistência à compressão, que podem surgir a partir de fatores do tipo: variações dos materiais, deficiências no processo construtivo ou falhas no controle de qualidade, a edificação poderá apresentar imperfeições graves, e por consequência comprometer a segurança das estruturas.

O estudo da não-conformidade da resistência à compressão em estruturas de concreto armado é uma área importante da construção civil, pois consegue avaliar a integralidade estrutural das edificações, quando as especificações de projeto não são atendidas. Dessa forma, buscou-se apresentar uma análise da não-conformidade da resistência à compressão em estrutura de concreto armado, para melhor compreensão das consequências no comportamento das estruturas e as suas implicações no projeto de estruturas. Desse modo, o estudo apresenta ainda soluções para reduzir e/ou corrigir as possíveis falhas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Para compreender essa falha construtiva, traçou-se como objetivo principal analisar e comparar o desempenho de elementos estruturais, quando houver uma não-conformidade na resistência à compressão.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

E para alcançar os resultados pretendidos, fundamentou-se nos seguintes objetivos:

- descrever os parâmetros de desempenho das estruturas que são relacionadas com a resistência à compressão, abrangendo a área de aço, deformação e abertura de fissura;
- modelar projeto estrutural com diferentes resistências à compressão em seus elementos (pilares, vigas e lajes);
- fazer uma análise paramétrica do desempenho das estruturas com não-conformidade na resistência à compressão; e
- indicar possíveis soluções que são viáveis para os casos estudados.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse tópico será abordado os principais conceitos, sendo estes: o concreto armado, as propriedades mecânicas do concreto, os elementos estruturais do concreto, variabilidade da resistência a compressão do concreto, projeto estrutural e o programa estrutural CYPECAD® (2019). Conceitos fundamentais para melhor compreensão e embasamento do estudo.

2.1 CONCRETO ARMADO

Para Barboza (2019) as estruturas de concreto armado são compostas basicamente por três elementos: lajes, vigas e pilares, que por sua vez são considerados os mais importantes de um prédio. Esses elementos são submetidos aos esforços de compressão e de tração que fundamentalmente definirão o seu comportamento. Conforme Magalhães (2014) infere, para a construção civil a resistência à compressão do concreto em uma estrutura, representa a sua capacidade estrutural, sendo uma propriedade de grande responsabilidade. Ainda segundo o autor, a resistência à compressão do concreto apresenta-se como principal mecanismo de mensuração da qualidade e da capacidade resistente de determinado material.

Assim, no processo de controle de resistência do concreto durante a execução de uma obra, se verifica se os valores encontrados para as peças estruturais são superiores ou estão no limite de resistência, ou seja, se estão em conformidade com o projetado. Para atestar a confiabilidade e a segurança da estrutura, torna-se essencial realizar avaliações, onde Silva Filho e Helene (2011) resumem algumas dessas como sendo: conformidade da resistência à compressão do concreto em relação ao especificado f_{ck} , exposição do concreto a ambiente agressivo, necessidade de perícias, e mudanças de uso.

No que tange aos fatores que estão correlacionados o valor do f_{ck} , Magalhães (2014), apresenta a deformação, a rigidez e a fissuração como sendo alguns deles, como também o comportamento reológico do material em questão. Portanto, torna-se necessário a investigação sobre a não-conformidade da resistência de concreto, tendo em vista as possíveis situações/problemas que venham atingir a estrutura. Santiago

(2011), apresenta que a ocorrência de resistência não-conforme pode resultar em perdas econômicas, necessitando de reavaliação do projeto estrutural, execução de eventuais reforços na estrutura, e a depender da gravidade da situação pode chegar à demolição e reconstrução da estrutura.

2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

As principais propriedades mecânicas do concreto são: resistência à compressão, resistência à tração e módulo de elasticidade, que a partir de ensaios, são analisadas as condições específicas deste material.

Essas propriedades são determinadas a partir de corpos de prova, que seguem as normas, NBR 5738:2015 (modelagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto), realizando o ensaio seguindo a NBR 5739:2018 (concreto-ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos). No Brasil, as dimensões padrão do cilindro é de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, com idade de 28 dias como referência para o ensaio. (Libanio M. Pinheiro, Cassiane D. Muzardo e Sandro P. Santos, 2004).

No que tange a resistência à tração, esse depende do tipo de solicitação, das dimensões e forma do corpo de prova, assim como a aderência dos grãos agregados a argamassa do cimento. Para os professores Henrique Gutfreind e Mauten Aurich (PUC, 2014), a resistência à tração pode ser verificada através de 3 métodos diferentes: por fendilhamento, por tração axial e por flexão. O método mais comum é o método por fendilhamento, também conhecido como compressão diametral, ainda segundo os professores,

Quando uma carga linear atua sobre um corpo cilíndrico ou prismático colocado horizontalmente, surgem tensões de tração transversais, aproximadamente constantes no trecho médio da seção transversal, que, levados ao valor máximo produzem o fendilhamento da seção. O estado de tensões na peça é biaxial. O ensaio para determinação da resistência à tração por fendilhamento foi preconizado pelo engenheiro e pesquisador Fernando Luiz Lobo Carneiro e reconhecido pelo CEB - FIP e RILEM que o denominaram "ensaio brasileiro". A resistência à tração por fendilhamento é determinada de acordo com a NBR 7222 e pode ser calculada pela expressão: $f_{ct} = 2/\pi \times P/(DL)$ onde f_{ct} : limite de resistência à tração em MPa. P: carga máxima em N indicada pelo dinamômetro da máquina na ocasião da ruptura. D: diâmetro do corpo de prova em mm. L: comprimento do corpo de prova em mm. (Henrique Gutfreind e Mauten Aurich - PUC, 2014, p.10).

Sobre a resistência à tração axial, a literatura afirma que ela raramente era determinada, devido as dificuldades de transmitir a força da tração do corpo de prova nos ensaios. Todavia, com o surgimento de colas artificiais de alta qualidade, foi possível obter as respostas de tensões de tração axiais.

A tração por flexão, segue as especificações da NBR 12142:2010, e essa resistência depende muito das dimensões dos corpos de prova, observando sua altura e o seu carregamento. O seu valor é maior do que a resistência à tração axial ou a obtida por compressão diametral, pois as maiores tensões ocorrem na fibra mais externa e, as fibras internas são menos solicitadas, assim colaboram na resistência. (Henrique Gutfreind e Mauten Aurich - PUC, 2014, p.11).

Outro aspecto essencial da propriedade do concreto, diz respeito ao módulo de elasticidade, relacionado as tensões e as deformações. Nesse sentido, com o módulo de elasticidade é possível determinar as deformações dos elementos estruturais existentes no projeto. E esse conhecimento só é possível devido a avaliação da rigidez do concreto. Alguns fatores possuem relação direta com o módulo de elasticidade do concreto, como os agregados, cimento, água, processo de mistura, carregamento, presença ou não de aditivo e o lançamento. (Nelso Schneider, 2020). Por fim, a NBR 6118:2023 vem especificar que o módulo de elasticidade (E_{ci}) deve ser obtido segundo os métodos de ensaio estabelecidos pela NBR 8522:2017, para o concreto aos 28 dias de idade.

2.3 ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO CONCRETO ARMADO

Os elementos estruturais são norteados pela geometria nas dimensões de classificação seguindo a comparação entre comprimento, altura e espessura. Bastos (2006), vem definir a respeito dos elementos estruturais, explanando que são lineares os elementos que possuem a espessura da mesma ordem de grandeza da altura, mas ambas muito menores que o comprimento, sendo os exemplos mais comuns as vigas e os pilares; os elementos bidimensionais são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão (espessura), sendo os exemplos mais comuns as lajes, as paredes de reservatórios, etc; os elementos tridimensionais são aqueles onde as três dimensões têm a mesma ordem de grandeza, tendo como exemplos mais comuns os

blocos e sapatas de fundação, consolos, etc.. Assim, é possível destacar os principais elementos e suas características essenciais.

2.3.1 Lajes

As lajes são constituídas por placas de concreto com a finalidade de suportar as cargas permanentes da edificação, essas recebem as ações de uso e transmite para os apoios. Possuem ainda, a função de travar os pilares e distribuir as ações horizontais entre os elementos de contraventamento. (Pinheiro, 2007).

Trata-se de um elemento estrutural horizontal, plano, usados para proteger/cobrir o espaço a baixo dela, que são habitualmente encontradas em diversas estruturas da engenharia civil. Podem ter diferentes formas e espessuras, além de serem classificadas de acordo com a forma que estão dispostos suas armaduras, tais como: lajes maciças, lajes nervuradas, lajes alveolares e outras.

Complementando, a laje possui função principal de 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).

Conforme a NBR 6118:2023, as lajes precisam seguir algumas especificações consideradas indispensáveis. Onde, os limites mínimos de espessura devem seguir alguns parâmetros, sendo esses: as lajes de cobertura e lajes de piso devem possuir no mínimo 7 cm; as lajes para suportar veículos de peso total menor ou igual a 30 kN devem apresentar no mínimo 10 cm de espessuras, e para suportar veículos com peso total maior que 30 kN, precisam apresentar espessura de 12 cm.

2.3.2 Vigas

As vigas de concreto armado são elementos estruturais lineares empregadas nas edificações, tendo por finalidade suportar cargas de flexão e o cisalhamento. Elas

são utilizadas para distribuir as cargas oriundas das lajes, paredes, coberturas e outras estruturas acima delas para os pilares, ou outros elementos de suporte.

São componentes essenciais na construção, devido à sua capacidade de suportar cargas, distribuir esforços, conectar elementos estruturais e proporcionar flexibilidade arquitetônica. Sua correta concepção e execução são fundamentais para garantir a segurança, estabilidade e durabilidade das estruturas construídas.

De acordo com a NBR 6118:2023 no possuem função básica de vencer vãos e transmitir as cargas para os apoios, geralmente pilares. Ao longo do eixo longitudinal esses elementos podem ser curvos, mas na maioria das aplicações são retas e horizontais. (Bastos, 2023).

As vigas também fazem parte da estrutura de contraventamento responsável por proporcionar a estabilidade global dos edifícios, suas ações verticais e horizontais (Bastos, 2006).

2.3.3 Pilares

O pilar é um tipo de estrutura simples, posicionada verticalmente e que tem a função de suportar e transmitir as cargas recebidas pela estrutura para a fundação, assim sustentando a edificação.

De acordo com a NBR 6118:2023, os pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.” Ainda segundo a NBR 6118:2023, os pilares precisam seguir parâmetros de geometria, em que não podem ser inferiores a 19 centímetros, podendo ser reduzido até 14 centímetros, sendo necessário a observância de cada caso.

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).

2.4 NÃO CONFORMIDADE DO CONCRETO ARMADO

A estrutura de concreto armado apresenta dois importantes elementos: o concreto e o aço, e o controle desses materiais torna-se essencial devido a necessidade de garantir a segurança e o desempenho da estrutura. (Freitas, 2024).

O concreto, devido a sua variabilidade, impacta diretamente no resultado final das obras, por isso o projetista estrutural precisa ser norteado pelas recomendações da NBR 6118:2023, e observar as três principais características do concreto: sua resistência à compressão característica, aos seus 28 dias de idade (f_{ck}); seu módulo de elasticidade (E_c) e a relação água-cimento (a/c). Para Freitas (2024), o f_{ck} apresenta os resultados de concreto não conforme, ou seja, de resistência mais baixa do que as especificadas no projeto. Essa condição pode representar um risco a edificação. Alguns fatores podem influenciar na variabilidade das propriedades do concreto, onde Magalhães (2014) resume em três: influência dos materiais, influência dos mecanismos de produção e a influência dos processos de ensaio.

2.4.1 A influência dos materiais na propriedade do concreto

A composição do concreto afeta diretamente suas propriedades, portanto a qualidade dos materiais que estão em sua composição torna-se essencial para garantir que o produto final atenda aos requisitos de resistência, durabilidade e tantas outras propriedades desejadas.

No que tange o componente cimento, Magalhães (2014, p.71) expressa que,

As propriedades mecânicas do cimento podem sofrer variações, geralmente decorrentes da matéria-prima. Ocorre que possíveis desvios nas propriedades básicas dos materiais, podem muitas vezes, só serem percebidas após a utilização do produto; nestes casos as não conformidades podem ser inevitáveis. Ressalta-se que isso decorre do imediato consumo do cimento, uma vez o material costuma ser rapidamente distribuído e utilizado após a produção.

Ainda, conforme a tese do mesmo autor, a quantidade de água é considerada fator de referência para produção do concreto, precisando observar que a sua aplicação correta ou não, pode ser influenciada pelo fruto de mão de obra não treinada dentro da cadeia produtiva. E para os agregados, a propriedade de desvio de

qualidade ocorrem com frequência, por fatores como origem natural dos materiais, e processo de britagem sem os devidos cuidados, por exemplo.

2.4.2 A influência do processo produtivo na propriedade do concreto

As variações na produção do concreto influenciam diretamente nos resultados de controle de resistência à compressão do concreto. E alguns fatores podem influenciar negativamente o produto final, como o uso de equipamentos de mistura com problemas mecânicos, ação humana. Por isso, Magalhães (2014, p.73) exprime que “variações sistemáticas no processo produtivo tendem a ser mais complicadas de identificar e assim providenciar as correções necessárias”.

O processo produtivo, passa pelas etapas de dosagem e mistura dos materiais, transporte e lançamento, colocação e compactação, cura, controle de qualidade e ambiente de produção. Todas essas etapas precisam estar em conformidade para garantir que o concreto atenda aos requisitos de resistência, durabilidade e desempenho necessários para sua utilização nas estruturas.

2.4.3 A influência do processo de ensaio na propriedade do concreto

Afim de garantir a precisão e confiabilidade das avaliações das propriedades do concreto, o processo de ensaio influencia significativamente na avaliação do concreto. Desse modo, esse processo perpassa por um conjunto de procedimentos e técnicas utilizadas para avaliar as propriedades do concreto, afim de garantir aos requisitos do projeto e instruções normativas. Magalhães (2014, p.74) afirma que

Por muitas vezes esquecida nas ocasiões de não conformidade, os efeitos proporcionados pela falta de qualidade nos procedimentos de ensino podem ser responsáveis por uma parcela considerável de dispersão nos resultados do controle tecnológico. É preciso ter a clareza de que estas variações são alheias às variações intrínsecas ao concreto; contribuindo para o aumento da dispersão final. Desta forma, é necessário garantir que não sejam realizadas correções no processo produtivo ou reavaliações nas estruturas acabadas sem que haja um real problema no material produzido.

O mesmo autor finaliza afirmando que os laboratórios e os procedimentos de ensaios são essenciais para um correto diagnóstico sobre a conformidade de

determinados lotes de concreto, o que na maioria das vezes não é levado em consideração. Por isso, se faz necessário analisar os casos de não conformidade, com contraprovas de segundo laboratório, por exemplo, afim de garantir a redução de desgaste entre fornecedores e consumidores desse material.

2.5 VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DO CONCRETO

No que tange ao controle de qualidade do concreto, remete-se imediatamente a sua resistência à compressão, indispensável para projetistas e engenheiros. No entanto, alguns fatores podem interferir nessa propriedade. O adensamento, as condições de cura, os tipos de aditivos, as adições, as condições de umidade e a geometria do corpo-de-prova, o tipo de tensão e a velocidade de carregamento podem interferir na resistência do concreto. (Valeriano, 2021).

Alguns fatores são apresentados por Helene e Terzian (1992), como sendo fatores de destaque que vem influenciar a compressão potencial do concreto, definido por meio de ensaios de controle, conforme disposto na Figura 1.

Figure 1 – Principais fatores que influenciam a resistência a compressão potencial do concreto medida de ensaio de controle.

Causas de variação	Efeito máximo no resultado
A- Materiais . variabilidade da resistência do cimento . variabilidade da quantidade total de água . variabilidade dos agregados (principalmente miúdos)	±12% ±15% ±8%
B- Mão-de-obra . variabilidade do tempo e procedimento de mistura	- 30%
C- Equipamento . ausência de aferição de balanças . mistura inicial, sobre e subcarregamento, correias etc.	- 15% - 10%
D- Procedimento de ensaio . coleta imprecisa . adensamento inadequado . cura (efeito considerado a 28 dias ou mais) . remate inadequado dos topos . ruptura (velocidade de carregamento)	- 10% - 50% ±10% - 30% para concavidade - 50% para convexidade ±5%

Fonte: Helene e Terzian (1992)

A resistência característica à compressão (f_{ck}) surge da necessidade de se obter valor potencial e único de determinado lote de concreto, objetivando comparar esse valor com o especificado no dimensionamento estrutural. (Magalhaes, 2014).

De acordo com Valeriano (2021, p. 34) apud NBR 5738 (ABNT, 2015) e a NBR 5739 (ABNT, 2018), é possível compreender as relações entre tensão e tração do concreto,

A resistência à compressão é normatizada pela ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018, onde corpos de prova cilíndricos são submetidos a tensões crescentes e uniformes, produzindo esforços de compressão distribuídos em toda a seção transversal. A tensão de ruptura é a carga máxima durante o ensaio dividido pela área do diâmetro médio do corpo de prova. Já a resistência à tração, é determinada pela aplicação de tensão ao longo da geratriz de um cilindro ou pelo ensaio de tração por flexão. O concreto é pouco resistente à tração, comparando com a resistência à compressão. Porém, em alguns elementos estruturais o concreto é submetido a esforços de tração, como em vigas e lajes. A relação entre as tensões de ruptura à compressão e à tração do concreto varia de acordo com a resistência do concreto, conforme a resistência aumenta a relação aumenta.

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2000), afirma que em casos de f_{ck} menor ou igual a 18 MPa a resistência a tração (f_{tk}) corresponde a 10% do f_{ck} . Já para f_{ck} maior que 18 MPa o f_{tk} é igual a 6% do f_{ck} mais 0,7 MPa (ABCP, 2000a).

Assim, ressalta-se que a variabilidade na resistência à compressão do concreto indica a natureza inerente do concreto e seu material composto. Informações essenciais para se adotar medidas estatísticas adequadas para interpretar os resultados e garantir a confiabilidade das estimativas de resistência a compressão do concreto que serão utilizadas no projeto estrutural.

2.6 PROJETO ESTRUTURAL

Um projeto estrutural é um conjunto de documentos técnicos, com cálculos elaborados, definindo a concepção, o dimensionamento e o detalhamento dos elementos estruturais de uma construção – vigas, lajes, pilares, fundações, etc. Esses dados são essenciais para garantir a estabilidade, segurança e durabilidade de estruturas civis. Para a elaboração do projeto é preciso conhecimento de informações

previas, como, informações sobre o solo, levantamento topográfico, projeto arquitetônico, construções adjacentes e as preferências dos clientes. (Pineli, 2021).

Algumas etapas precisam ser construídas/seguídas para elaboração de um projeto estrutural, que vão desde a concepção estrutural, até a emissão das pranchas. O processo de concepção estrutural, uma das mais importantes no projeto estrutural, é quando se escolhem os elementos a serem utilizados e define-se suas posições, para formar um sistema estrutural eficiente, que absorve os esforços oriundos das ações atuantes e transmiti-los ao solo de fundação. (Ribas, 2022).

A etapa de análise estrutural, como afirma Libia (2022), são as ações identificadas na concepção de forma mais detalhada, definindo os momentos fletores, os esforços axiais e cortantes, além do deslocamento que a estrutura pode sofrer. De acordo com a mesma autora, a outra etapa do projeto estrutural seria o dimensionamento e o detalhamento, onde ocorre a utilização do software especializado para calcular a estrutura, e reduzir as possibilidades de erros, o que por consequência garante a produtividade do processo e uma melhor gestão.

A última etapa trata-se da emissão das pranchas e o documento fiscal, elementos que comprovam, verificações do projeto, as licitações, que precisam ser emitidos e juntados as plantas do projeto. Libia (2022) ainda vem detalhar os documentos/pranchas que necessitam ser emitidos, destacando: a Anotação de Responsabilidade Técnica – ART (de autoria do projeto), relatório de custo, memorial descritivo, memorial de cálculo e o relatório de quantitativo de material. E por último, a autora finaliza que os projetos estruturais possuem ainda o controle de custos e os prazos estabelecidos para a obra. Elencando como pontos cruciais: garantia da precisão nos cálculos dos materiais necessários; dimensionamento correto da estrutura para garantir a qualidade no revestimento, paredes e teto; otimização e melhor gestão do tempo e dos recursos; possibilidade de previsão de execução de futuras ampliações; racionamento de materiais; cumprimento otimizado das normas técnicas e dos requisitos para a aprovação e regulamentação da obra.

2.7 PROGRAMA ESTRUTURAL: CYPECAD

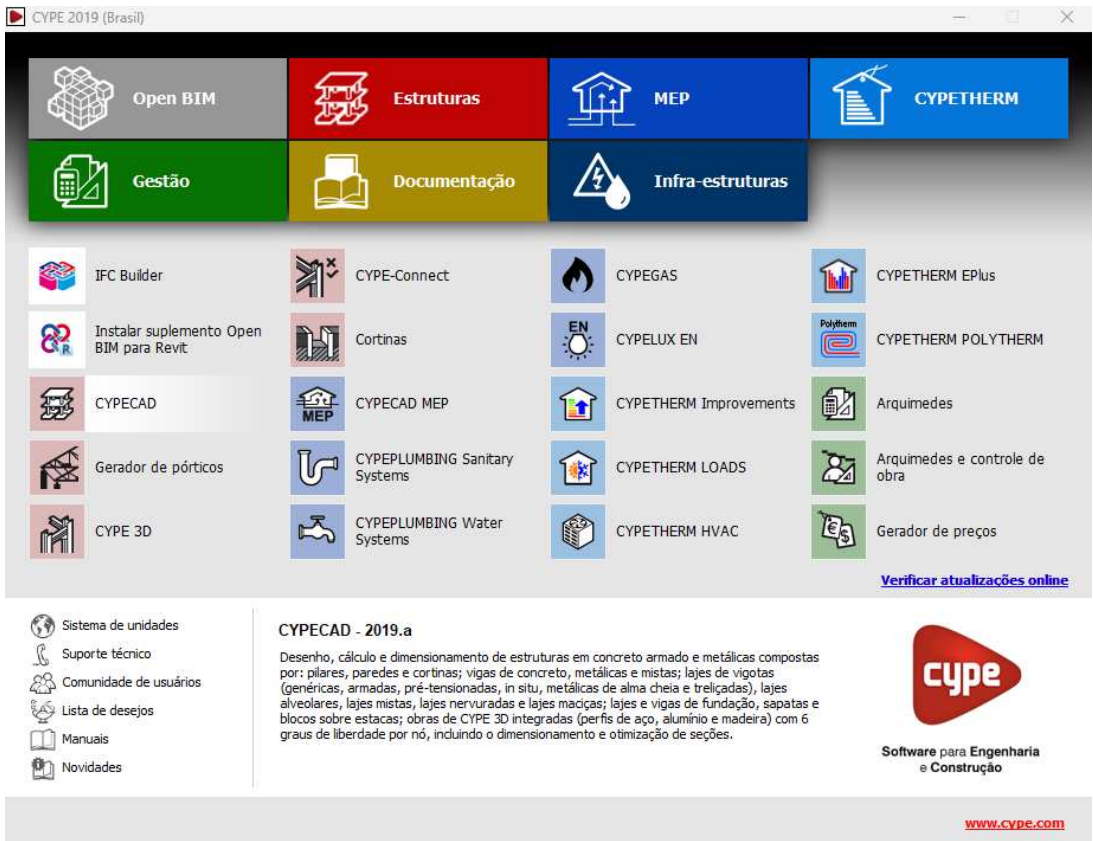
O CYPECAD® é um programa de engenharia civil amplamente utilizado para realização de análises estruturais, oferecendo uma gama de ferramentas para

modelagem estrutural, análise estática e dinâmica, com dimensionamento de elementos que compõe a estrutura. Ele gera relatórios técnicos, contribuindo para o desenvolvimento de estruturas mais seguras e eficientes.

Essa ferramenta propõe o lançamento de projetos estruturais compreendendo o lançamento de estruturas de concreto armado moldado, dispondo de etapas como: lançamento, análise da estrutura, o dimensionamento e o detalhamento final dos elementos, tudo isso seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014).

Nesse sentido, Oliveira (2017) apresenta que os projetos de estruturas convencionais de concreto armado passam a dispor do auxílio de programas computacionais especializados, que permitem a concepção de modelos complexos e proporcionam maior produtividade. A Figura 02 remete ao layout da tela inicial do programa CYPECAD®.

Figure 2 - Software estrutural CYPECAD® (2019).



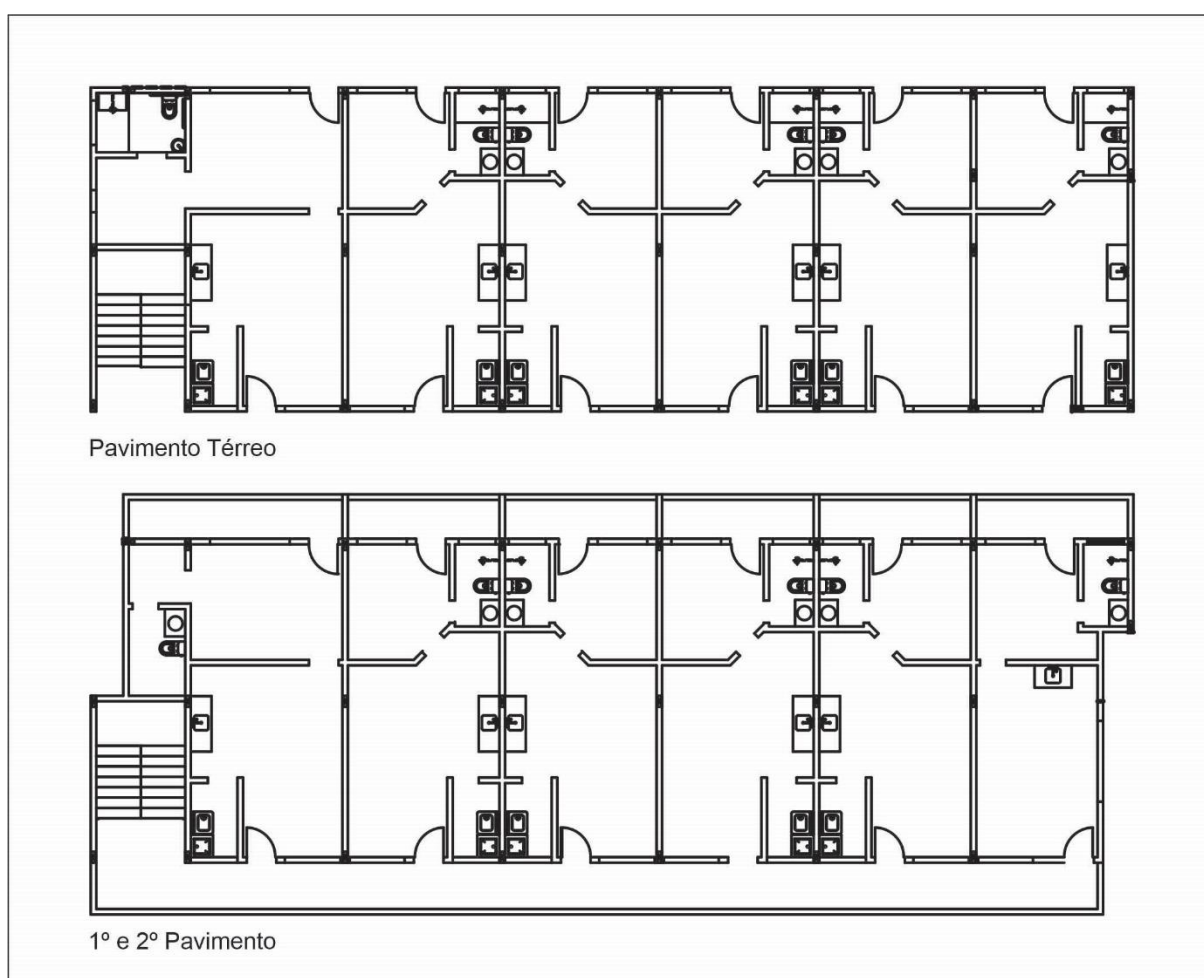
Fonte: Autoria própria (2024)

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente estudo baseou-se nas literaturas sobre estruturas de concreto armado que apresentavam não conformidade; estudo das normas técnicas, além de textos auxiliares como monografias, artigos científicos, entre outros recursos relevantes.

Utilizou-se como base o projeto arquitetônico de um edifício residencial multifamiliar de pequeno porte, com dimensões de 28,30m de comprimento, largura de 8,75m, altura de 9,15m e pé direito de 2,55m. Disposto em 3 pavimentos todos tipos, sendo o térreo, 1º pavimento, 2º pavimento e um caixa de armazenamento de água. Cada pavimento comporta 6 apartamentos e um total de 18 apartamentos. Na Figura 03, observa-se o layout arquitetônico.

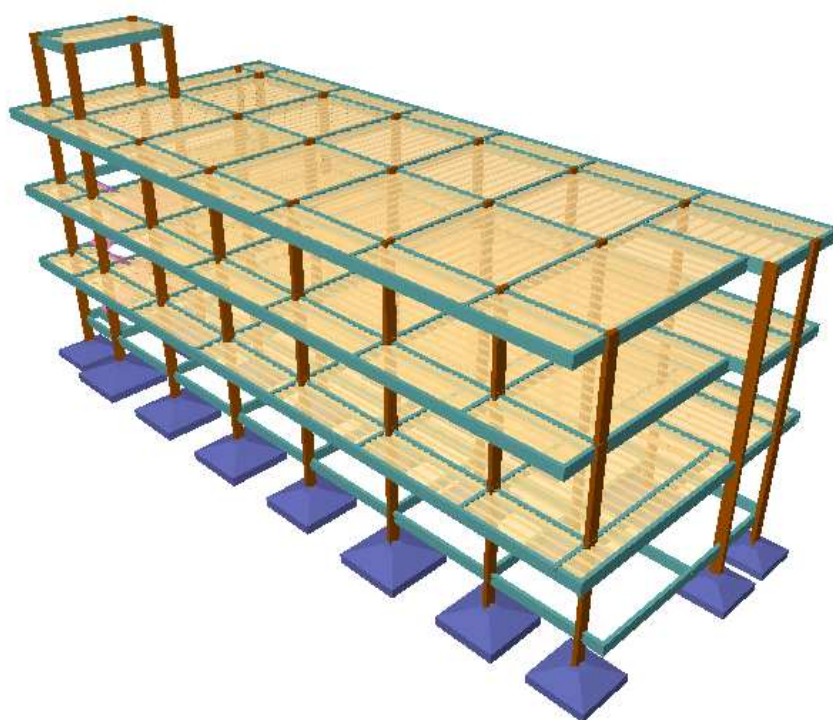
Figure 3 – Layout arquitetônico da edificação



Fonte: Autoria própria (2024)

Realizou-se modelagem do projeto estrutural, com dimensionamento da estrutura em concreto armado do referido edifício residencial multifamiliar, que conta com 01 sapata associada nos pilares P1 e P2 (devido os pilares serem próximo e a armadura ficar sobreposta), e 22 sapatas isoladas, totalizando 23 sapatas; composta por 24 pilares, 68 vigas e 4 grupos de pisos de lajes. A Figura 04, apresenta o layout da modelagem da edificação.

Figure 4 – Layout da modelagem estrutural.



Fonte: Autoria própria (2024)

3.1. MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO ESTRUTURAL

Foi utilizado para elaboração do projeto estrutural o software CYPECAD® (2019), da empresa CYPE, aplicando os seguintes parâmetros:

Estrutural:

- Sobrecargas de 0,15 t/m²;
- Cargas permanentes de 0,10 t/m²;

- Concreto de 25 MPa para fundação, lajes, pilares e vigas;
- Solo do tipo areia fina;
- Agregado graúdo de granito de diâmetro média de 19 mm.

Ação do vento:

- Larguras de faixa de 28,14 m x 11,35 m;
- Velocidade básica de 30 m/s;
- Categoria II;
- Classe B;
- Fator Probabilístico de Grupo 2;
- Efeitos de 2º ordem;
- Multiplicador de fator 1.40.

Na modelagem, tomando como base a NBR 6120:2019, aplicou-se as seguintes cargas na estrutura:

Cargas Superficiais em Lajes:

- Caixa D'água Pavimento Cobertura - $(4,23 \times 2,42 \times 2,60) = 26,61 \text{ m}^3 \times 1000 = 26.615,16 \text{ litros} / 10,27 \text{ m}^2 = 2591,54 \text{ Kg/m} / 1.000 = 2,59 \text{ T/m}^2$ (carga permanente);

Cargas Lineares em Vigas e Lajes:

- Cargas em vigas (carga = área da parede x peso específico) $1,3 \text{ T/m}^3$ (Peso específico) x 0,14 (espessura da parede) x 2,73m (altura do pé direito - altura da viga) = 0,50 T/m (carga permanente);
- Alvenaria de vedação, bloco cerâmico vazado de 9 cm e espessura de cobrimento de 2,5 cm, carga = 1,3 kN/m²;
- Cargas da platibanda da circulação $(1,3 \times 0,14 \times 1,10 = 0,20 \text{ T/m})$.

Cargas na cobertura:

- Platibanda $(1,3 \times 0,14 \times 1,05 = 0,19 \text{ T/m})$;
- Caixa D'água $(1,3 \times 0,14 \times 2,60 = 0,47 \text{ T/m})$;
- Cobertura de fibrocimento de 8 mm e estrutura de madeira, carga igual a 0,35 kN/m² ou 0,035 t/m²

E em relação aos elementos estruturais, seguiu-se os parâmetros:

Pilares:

- Lançamento dos pilares com base no projeto arquitetônico;
- Dimensões de 30 cm x 15 cm;
- Concreto estrutural com resistência característica de $f_{ck} = 25$ MPa;
- Agregado do tipo Granito de 19 mm.

Vigas:

- Lançamento das vigas ligando os pilares e formando pórticos;
- Dimensões 14 cm x 40 cm;
- Concreto estrutural com resistência característica de f_{ck} de 25 Mpa;
- Família de vigas altas e do tipo viga alta retangulares;

Lajes:

- Tipo treliçada unidirecional;
- Espessura da capa de 4 cm;
- Altura do bloco de 8 cm;
- Intereixos de 42 cm (30 do bloco + 1/2 de cada nervura);
- Largura da treliça de 12 cm;
- Tipo do bloco Poliestireno (isopor);
- Verificação de flecha com vigota armada.

3.2. PROCEDIMENTO PARA ANÁLISE DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) foram submetidos as alterações de sua resistência à compressão, por meio do programa CYPECAD®, onde modificava o f_{ck} dos referidos elementos por cada pavimento, variando-os entre 15 e 35 MPa.

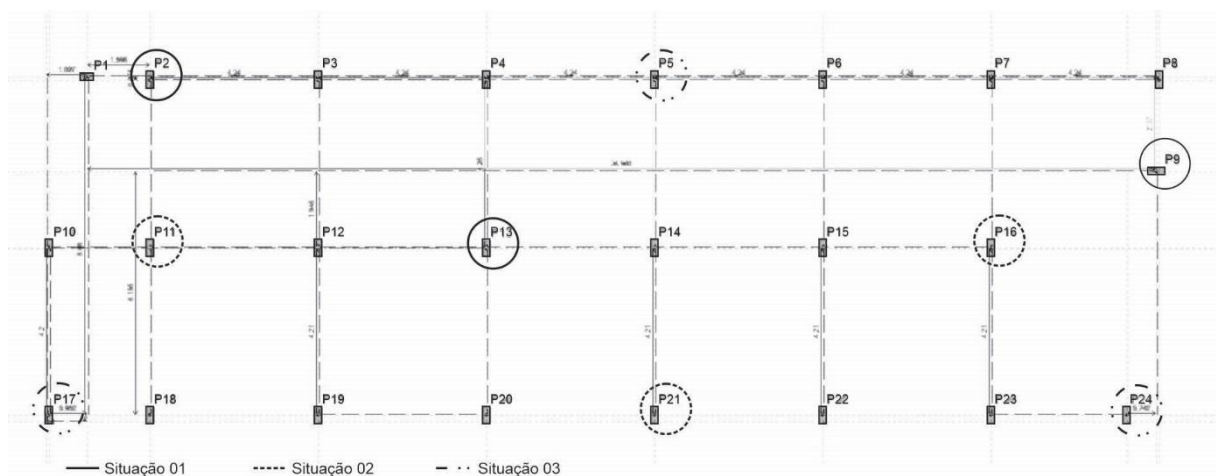
3.2.1 – Pilares

Os pilares, foram submetidos a três situações distintas, compreendidas em:

- a) Situação 01 – variação do f_{ck} de todos os pilares do 1º pavimento, para verificação dos comportamentos dos pilares escolhidos para análise, sendo esses: P2, P13 e P16;
- b) Situação 02 – variação do f_{ck} de todos os pilares do 2º pavimento, onde analisou-se os comportamentos dos pilares: P9, P11 e P21; e
- c) Situação 03 – com variação do f_{ck} de todos os pilares do pavimento cobertura, notando-se as variações dos pilares: P5, P17 e P24.

Em todas essas situações buscava-se analisar a taxa de armadura (kg/m^3), o aproveitamento (%) dos pilares, e os desaprumos local e total máximo dos pilares. A Figura 5, mostra a locação e identificação dos pilares.

Figure 5 – Identificação de pilares



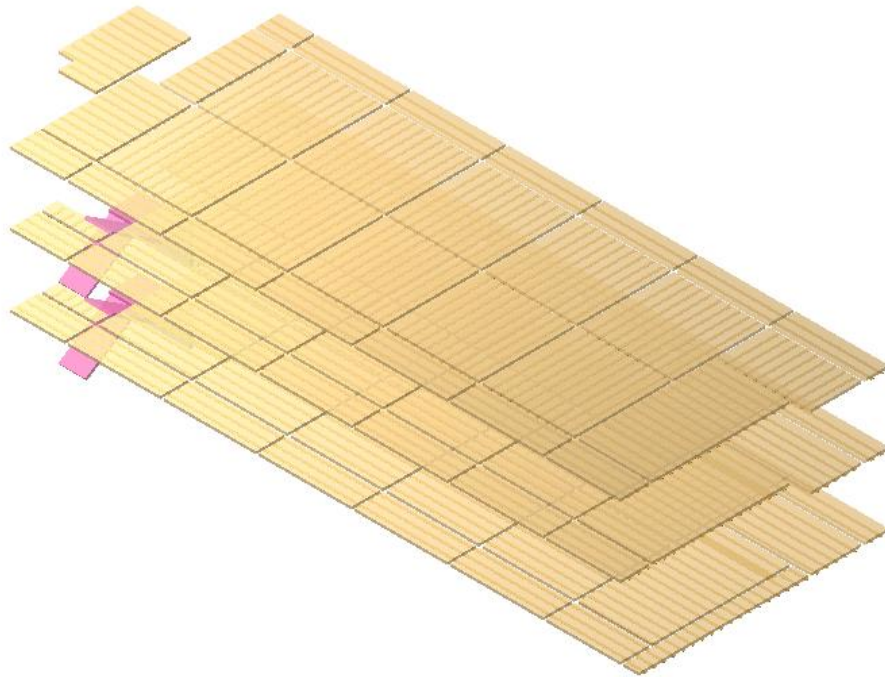
Fonte: Autoria própria (2024)

3.2.2 – Vigas

Para as vigas, também foram submetidas a três situações distintas, sendo:

- a) Situação 01 – variação do f_{ck} de todas as vigas do 1º pavimento, notando o comportamento da viga V6 – dividida nos tramos T218 a T224;
- b) Situação 02 – variação do f_{ck} de todas as vigas do 2º pavimento, destacando o comportamento da viga V2 – nos tramos T302 a T308; e

Figure 7 – Modelagem de lajes



Fonte: Autoria própria (2024)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste ponto serão abordados os resultados alcançados mediante análise realizada nos pilares, vigas e lajes do projeto estrutural. Foram aplicadas variações nos parâmetros da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}), afim de avaliar as implicações no comportamento estrutural.

4.1 PILARES

Com a utilização do programa CYPECAD®, e variando-se os critérios de resistência do concreto, obteve-se os resultados relacionados a taxa de armadura, ao aproveitamento, ao desaprumo local e ao desaprumo total dos pilares.

4.1.1 Taxa de armadura

A taxa de armadura de pilares é calculada como a quantidade de aço necessária para garantir a resistência e estabilidade de estruturas de concreto armado. Além disso, pode ser determinada a partir da carga suportada e da resistência do concreto. Assim, a armadura será a taxa de área de aço dividida pela área da seção transversal de concreto. Nas Tabelas 1, 2 e 3 verificam-se os valores obtidos com a variação dos parâmetros. Apresenta-se percentual da diferença em relação a referência (DRR), que concerne da diferença entre o valor variado e o valor de referência, dividido pelo valor de referência.

Tabela 1 – Taxa de armadura dos pilares do 1º pavimento

PILARES DO 1º PAVIMENTO - TAXA DE ARMADURA (Kg/m³)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P2	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	100,59	0%	100,59	0%
	2º Pavimento	150,00	1%	148,24	0%	148,24	141,18	-5%	141,18	-5%
	1º Pavimento	245,88	68%	196,47	34%	146,47	138,24	-6%	138,24	-6%
	Térreo	22,86	0%	40,00	75%	22,86	54,29	137%	54,29	137%
P13	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	100,59	0%	100,59	0%

	2º Pavimento	106,47	0%	106,47	0%	106,47	106,47	0%	106,47	0%
	1º Pavimento	261,18	78%	231,12	58%	146,47	106,47	-27%	106,47	-27%
	Térreo	48,57	36%	44,29	24%	35,71	54,29	52%	54,29	52%
P16	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	100,59	0%	100,59	0%
	2º Pavimento	106,47	0%	106,47	0%	106,47	106,47	0%	106,47	0%
	1º Pavimento	245,88	77%	202,4	46%	138,82	106,47	-23%	106,47	-23%
	Térreo	22,86	-53%	48,57	0%	48,57	42,86	-12%	42,86	-12%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Na Tabela 1, analisou-se o 1º pavimento, composto por 24 pilares, contudo, apresenta-se os resultados dos pilares P2, P13 e P16. No pilar P2 quando varia o f_{ck} entre 20 MPa e 15 MPa, ocorre um aumento da taxa de armadura em 34% e 68%, respectivamente. Nesse caso, verifica-se uma necessidade imprescindível de reforço do pilar. E quando o f_{ck} é majorado para 30 e 35 MPa, tem-se uma redução de 6% da taxa de armadura, para esse caso não foi tão significativo a redução.

Na análise do pilar P13, observa-se que quando há redução do f_{ck} para 20 e 15 MPa, tem-se um aumento da taxa de armadura em 58% e 78%, simultaneamente, havendo a necessidade de reforço do pilar. Já quando aumenta-se o f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma diminuição de 27% da taxa de armadura, valor considerado significativo.

Para o pilar P16, observa-se que quando reduz o f_{ck} para 20 e 15 MPa, tem-se um aumento da taxa de armadura em 46% e 77%, concomitantemente, precisando com urgência de fortalecimento no pilar. Mas, quando se eleva o f_{ck} para 30 e 35 MPa, decorre a redução de 23% da taxa de armadura, semelhante ao pilar P13.

Destaca-se ainda, que no pavimento térreo ocorrem alterações significativas com a não-conformidade em relação ao 1º pavimento. E para o 2º pavimento e cobertura, não acontecem alterações expressivas nas taxas de armaduras.

Tabela 2 – Taxa de armadura dos pilares do 2º pavimento

PILARES DO 2º PAVIMENTO - TAXA DE ARMADURA (Kg/m³)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P9	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	100,59	0%	100,59	0%
	2º Pavimento	99,47	-1%	100,53	0%	100,53	101,05	1%	101,05	1%
	1º Pavimento	105,00	3%	102,78	1%	101,67	101,67	0%	101,67	0%
	Térreo	37,14	0%	37,14	0%	37,14	37,14	0%	37,14	0%
P11	Caixa D'água	134,29	0%	134,29	0%	134,29	134,29	0%	134,29	0%

	Cobertura	181,76	0%	181,76	0%	181,76	181,76	0%	181,76	0%
	2º Pavimento	239,41	41%	171,18	1%	169,41	169,41	0%	169,41	0%
	1º Pavimento	215,79	19%	182,63	1%	181,05	181,05	0%	181,05	0%
	Térreo	50,00	-10%	55,71	0%	55,71	55,71	0%	55,71	0%
P21	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	100,59	0%	100,59	0%
	2º Pavimento	174,71	26%	107,65	-22%	138,82	106,47	-23%	106,47	-23%
	1º Pavimento	207,06	3%	202,94	1%	201,18	201,18	0%	201,18	0%
	Térreo	40,00	0%	40,00	0%	40,00	40,00	0%	40,00	0%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Examina-se a Tabela 2, aborda-se o 2º pavimento, apresentando os resultados dos pilares P9, P11 e P21, pavimento também composto por 24 pilares. No pilar lateral P9 observa-se que quando se altera o f_{ck} entre 15 e 35 MPa, não tem alteração significativa da taxa de armadura.

Já o pilar de centro P11, observa-se que quando reduz o f_{ck} para 15 MPa, tem-se um aumento da taxa de armadura em 41%, havendo assim a necessidade categórica de reforço do pilar. E quando varia o f_{ck} para 20, 30 e 35 MPa, não ocorre alterações para a taxa de armadura.

Para o pilar P21, também localizado lateralmente nota-se que quando reduz o f_{ck} para 15 MPa, apresenta-se aumento da taxa de armadura em 26%, precisando de reforço do pilar. E quando a variação do f_{ck} para 20, 30 e 35 MPa, tem-se uma redução da taxa de armadura de 23%, não dispondo de necessidade de reforço. A redução na área de aço mesmo com a redução do f_{ck} pode ter ocorrido devido a uma redistribuição dos esforços.

Verificou-se ainda que nos demais pavimento como térreo, 1º pavimento e cobertura, não teve alteração significativa nas taxas de armaduras, não havendo assim não-conformidades.

Tabela 3 – Taxa de armadura dos pilares da cobertura

PILARES DA COBERTURA - TAXA DE ARMADURA (Kg/m³)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P5	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	0%	100,59	0%	100,59	97,06	-4%	97,06	-4%
	2º Pavimento	110,00	3%	107,65	1%	106,47	106,47	0%	106,47	0%
	1º Pavimento	201,18	0%	201,18	0%	201,18	204,18	1%	201,18	0%
	Térreo	48,57	0%	48,57	0%	48,57	48,57	0%	48,57	0%
P17	Caixa D'água	195,00	41%	165,00	19%	138,57	138,57	0%	138,57	0%
	Cobertura	272,35	27%	249,41	16%	214,12	163,53	-24%	163,53	-24%

	2º Pavimento	261,18	37%	234,71	23%	191,18	146,47	-23%	146,47	-23%
	1º Pavimento	252,35	32%	231,76	21%	191,18	146,47	-23%	146,47	-23%
	Térreo	48,57	36%	54,29	52%	35,71	22,86	-36%	22,86	-36%
P24	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	100,59	4%	100,59	4%	97,06	97,06	0%	97,06	0%
	2º Pavimento	147,06	34%	143,53	30%	110,00	107,65	-2%	107,65	-2%
	1º Pavimento	138,24	0%	138,24	0%	138,82	138,82	0%	138,82	0%
	Térreo	42,86	0%	42,86	0%	42,86	42,86	0%	42,86	0%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Ponderando a taxa de armadura da Tabela 3, analisando-se o pilar lateral P5 do pavimento cobertura. Com variação do f_{ck} entre 15 e 35 MPa, não demonstra alteração da taxa.

Já analisando o pilar P17, com a minoração do f_{ck} para 20 e 15 MPa, tem-se um aumento da taxa de armadura em 16% e 27%, respectivamente, havendo uma necessidade de reforço do pilar. E quando há majoração do f_{ck} para 30 e 35 MPa, ocorre uma redução considerável de 24% da taxa de armadura.

Para o pilar de canto P24 do pavimento da cobertura, observou-se que quando varia o f_{ck} não se tem alteração significativa, notando o aumento da taxa de armadura em apenas 4% (com variação de f_{ck} de 20 e 15 MPa).

Promovendo uma análise entre os pavimentos térreo, 1º pavimento e o 2º pavimento, nota-se que no pilar de canto P17 há alterações significativas com a não-conformidade em relação as taxas de armaduras, tendo em vista ser um dos pilares que suporta a caixa d'água, e no pilar de canto P24 ocorre alterações entre o pavimento cobertura e o 2º pavimento.

4.1.2 Taxa de Trabalho

A taxa de trabalho dos pilares de concreto armado refere-se à eficiência com que um pilar é projetado e utilizado em uma estrutura. Envolvendo aspectos sobre o seu correto dimensionamento, a sua geometria adequada, a utilização e execução de materiais apropriados. São fatores importantes para que se alcance altas taxas de aproveitamento e que venha garantir a segurança e a durabilidade da estrutura. Nas Tabelas 4, 5 e 6 destaca-se os valores da taxa de trabalho obtidos, mediante alterações dos parâmetros.

Tabela 4 – Taxa de trabalho de pilares do 1º Pavimento

PILARES DO 1º PAVIMENTO – TAXA DE TRABALHO (%)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P2	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	83,90	0%	83,90	0%	84,00	84,00	0%	84,10	0%
	2º Pavimento	94,50	3%	93,00	1%	91,90	99,50	8%	98,60	7%
	1º Pavimento	95,90	1%	93,20	-2%	95,00	96,70	2%	94,30	-1%
	Térreo	73,60	-4%	66,40	-13%	76,70	77,10	1%	78,20	2%
P13	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	52,90	0%	52,90	0%	52,90	52,90	0%	52,90	0%
	2º Pavimento	96,80	2%	95,90	1%	95,20	94,70	-1%	94,20	-1%
	1º Pavimento	99,20	-1%	96,50	-4%	100,00	99,10	-1%	90,20	-10%
	Térreo	82,20	-2%	73,10	-13%	84,30	87,30	4%	87,40	4%
P16	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	73,50	1%	73,20	0%	73,10	73,00	0%	72,90	0%
	2º Pavimento	96,60	3%	94,90	1%	93,70	92,70	-1%	91,80	-2%
	1º Pavimento	99,60	1%	97,30	-2%	98,80	96,90	-2%	87,80	-11%
	Térreo	77,20	-7%	82,60	0%	82,80	87,90	6%	88,10	6%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

No 1º pavimento, analisou-se os pilares P2, P13 e P16 disposto na Tabela 4, observa-se que quando se altera o f_{ck} entre 15 e 35 MPa, não se tem grandes alteração de taxa, ocorrendo no máximo uma redução de 11% da taxa de trabalho no pilar P16. E quando o f_{ck} é elevado para 35 MPa, mantém-se uma excelente taxa de 87,80% de trabalho do pilar.

Observou-se ainda que na interação entre os pavimentos (térreo, 2º pavimento e cobertura), não se constata alterações que sejam significativas nas variações de taxa de trabalho das estruturas dos pilares.

Tabela 5 – Taxa de trabalho de pilares do 2º pavimento

PILARES DO 2º PAVIMENTO – TAXA DE TRABALHO (%)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P9	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	70,5	-6%	72,90	-3%	74,80	76,30	2%	77,60	4%
	2º Pavimento	82,90	11%	77,10	3%	74,80	72,20	-3%	72,00	-4%
	1º Pavimento	95,6	-1%	96,10	0%	96,50	96,80	0%	97,10	1%
	Térreo	88,6	-3%	90,00	-1%	91,10	92,00	1%	92,80	2%
P11	Caixa D'água	99,30	1%	99,10	0%	98,80	98,7	0%	98,50	0%
	Cobertura	98,8	1%	98,20	1%	97,70	96,80	-1%	96,50	-1%
	2º Pavimento	93,2	9%	96,30	13%	85,30	76,90	-10%	71,50	-16%
	1º Pavimento	91,5	-5%	96,30	0%	96,10	96,00	0%	95,80	0%

	Térreo	87	-5%	91,30	0%	91,10	91,00	0%	90,80	0%
	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	63,30	2%	62,70	1%	62,20	61,80	-1%	61,50	-1%
P21	2º Pavimento	96,90	24%	98,30	26%	77,90	75,60	-3%	68,20	-12%
	1º Pavimento	97,80	0%	97,70	0%	97,70	97,60	0%	97,50	0%
	Térreo	83,60	0%	83,50	0%	83,40	83,40	0%	83,30	0%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024).

Na avaliação dos pilares do 2º pavimento disposto na Tabela 5, se constata que no P9 (variação de f_{ck} entre 15 e 35 MPa) não se tem grandes alteração, ocorrendo apenas uma redução de 4% de sua taxa de trabalho.

Aferindo o pilar P11, ao diminuir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, tem-se um aumento da taxa de aproveitamento do pilar em 13% e 9%, simultaneamente. E ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, houve a redução da taxa de trabalho dos pilares em 10% e 16%, isso ocorre devido ao aumento da resistência do concreto influenciar na redução das armaduras e dimensionamento do mesmo.

Para o pilar P21, ocorre o aumento da taxa de trabalho do pilar em 26% e 24% (redução de f_{ck} para 20 e 15 MPa), motivado pelo aumento na taxa de armadura. E quando se eleva o f_{ck} para 30 e 35 MPa, há uma redução da taxa dos pilares em até 13%, devido a redução das armaduras e alteração de projeto.

Na interação entre os pavimentos (térreo, 1º pavimento e coberto), não se constata alterações que sejam relevantes, no ponto de taxa de trabalho das estruturas dos pilares.

Tabela 6 – Taxa de trabalho de pilares da cobertura

PILARES DA COBERTURA – TAXA DE TRABALHO (%)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
	Cobertura	79,7	20%	71,90	8%	66,50	61,80	-7%	59,80	-10%
P5	2º Pavimento	97,60	1%	96,80	0%	96,90	96,40	-1%	96,00	-1%
	1º Pavimento	98,6	0%	98,70	0%	98,70	98,70	0%	98,70	0%
	Térreo	85,2	0%	85,20	0%	85,10	85,10	0%	85,10	0%
	Caixa D'água	93,2	-5%	99,40	2%	97,80	95,8	-2%	93,80	-4%
	Cobertura	96,00	7%	93,60	4%	89,60	94,60	6%	89,20	0%
P17	2º Pavimento	59,7	-11%	63,40	-6%	67,10	75,50	13%	76,00	13%
	1º Pavimento	77,1	-10%	81,50	-5%	86,10	95,10	10%	95,10	10%
	Térreo	77,1	-2%	81,50	3%	78,90	80,90	3%	81,00	3%
	Caixa D'água	-		-		-	-		-	
P24	Cobertura	88,8	12%	82,00	3%	79,50	77,00	-3%	74,50	-6%

2º Pavimento	91,9	-7%	89,90	-9%	98,70	97,40	-1%	96,20	-3%
1º Pavimento	96,7	0%	96,80	0%	96,90	97,10	0%	97,20	0%
Térreo	83,9	0%	83,90	0%	84,00	84,10	0%	84,20	0%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Verificando-se os pilares da cobertura como mostra a Tabela 6, no que se refere ao pilar P5, propondo redução de f_{ck} para 20 e 15 MPa, ocorre o aumento da taxa de trabalho do pilar em 8% e 20%. E quando aumenta-se entre 30 e 35 MPa, se constata redução da taxa de trabalho dos pilares em até 10%, compreendendo que se reduz as armaduras, e assim promove-se a alteração de projeto inicial.

Avaliando o pilar P17, observa-se que quando alterado o f_{ck} entre 15 e 35 MPa, não se constata alterações de redução da taxa de trabalho dos pilares, pois ocorre um aumento da taxa de no máximo 7%.

No pilar P24, com parâmetros de f_{ck} inicialmente entre 20 e 15 MPa, surgem alterações da taxa de trabalho dos pilares, constatando 3% e 12%, e na elevação do f_{ck} entre 30 e 35MPa, ocorre uma redução da taxa de trabalho em 3% e 6%.

Na interação entre os pavimentos (térreo, 1º pavimento, 2º pavimento e caixa d'água), constata-se alterações nas variações da taxa de trabalho das estruturas dos pilares, com um aumento de até 13% quando se eleva o f_{ck} , e uma diminuição de taxa de até 11% ao reduzir f_{ck} .

4.1.3 Deslocamento local máximo

As condições em que os pilares se deslocam de forma considerável em relação a sua posição de origem, é identificado como um deslocamento local de pilares. Tal situação pode levar a excentricidades ou até mesmo a falha estrutural.

Na Tabela 7, verificam-se os valores obtidos a partir das variações dos parâmetros.

Tabela 7 – Deslocamento local dos pilares

PILARES DO 1º PAVIMENTO – DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM X (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00169	2%	0,00165	0%	0,00165	0,00165	0%	0,00165	0%

P1	Cobertura	0,00118	0%	0,00118	0%	0,00118	0,00115	-3%	0,00115	-3%
P1	2º Pavimento	0,00121	0%	0,00121	0%	0,00121	0,00118	-3%	0,00118	-3%
P9, P24	1º Pavimento	0,00161	24%	0,00143	10%	0,00130	0,00120	-8%	0,00114	-13%
P1	Térreo	0,00038	0%	0,00038	0%	0,00038	0,00038	0%	0,00038	0%
PILARES DO 1º PAVIMENTO - DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM Y (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00035	0%	0,00035	0%	0,00035	0,00035	0%	0,00035	0%
P8	Cobertura	0,00045	0%	0,00045	0%	0,00045	0,00045	0%	0,00045	0%
P8	2º Pavimento	0,00045	0%	0,00045	0%	0,00045	0,00042	-7%	0,00042	-7%
P24	1º Pavimento	0,00032	11%	0,00029	0%	0,00029	0,00026	-11%	0,00026	-11%
P1	Térreo	0,00015	0%	0,00015	0%	0,00015	0,00015	0%	0,00015	0%
PILARES DO 2º PAVIMENTO - DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM X (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00169	2%	0,00165	0%	0,00165	0,00165	0%	0,00165	0%
P1	Cobertura	0,00118	0%	0,00118	0%	0,00118	0,00115	-3%	0,00115	-3%
P1	2º Pavimento	0,00144	18%	0,00131	8%	0,00121	0,00112	-8%	0,00105	-13%
P1, P24	1º Pavimento	0,00133	2%	0,00126	-3%	0,00130	0,00130	0%	0,00130	0%
P1	Térreo	0,00038	0%	0,00038	0%	0,00038	0,00038	0%	0,00038	0%
PILARES DO 2º PAVIMENTO – DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM Y (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00035	0%	0,00035	0%	0,00035	0,00035	0%	0,00035	0%
P8, P9	Cobertura	0,00045	0%	0,00045	0%	0,00045	0,00045	0%	0,00045	0%
P8	2º Pavimento	0,00045	0%	0,00045	0%	0,00045	0,00042	-7%	0,00042	-7%
P24	1º Pavimento	0,00029	0%	0,00029	0%	0,00029	0,00029	0%	0,00029	0%
P1	Térreo	0,00015	0%	0,00015	0%	0,00015	0,00015	0%	0,00015	0%
PILARES DA COBERTURA - DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM X (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00169	2%	0,00165	0%	0,00165	0,00165	0%	0,00165	0%
P1	Cobertura	0,00140	19%	0,00128	8%	0,00118	0,00109	-8%	0,00102	-14%
P1	2º Pavimento	0,00121	0%	0,00121	0%	0,00121	0,00118	-3%	0,00118	-3%
P24	1º Pavimento	0,00130	0%	0,00130	0%	0,00130	0,00130	0%	0,00130	0%
P1	Térreo	0,00038	0%	0,00038	0%	0,00038	0,00038	0%	0,00038	0%
PILARES DA COBERTURA – DESLOCAMENTO LOCAL MÁXIMO EM Y (δ/h)										
PIL.	f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P10 e P11	Caixa D'água	0,00035	0%	0,00035	0%	0,00035	0,00035	0%	0,00035	0%
P8, P9	Cobertura	0,00048	7%	0,00045	0%	0,00045	0,00045	0%	0,00042	-7%
P8	2º Pavimento	0,00045	0%	0,00045	0%	0,00045	0,00042	-7%	0,00042	-7%
P24	1º Pavimento	0,00029	0%	0,00029	0%	0,00029	0,00029	0%	0,00029	0%
P1	Térreo	0,00015	0%	0,00015	0%	0,00015	0,00015	0%	0,00015	0%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

PIL.	f _{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa	35 MPa		
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P1	-	0,00120	8%	0,00114	3%	0,00111	0,00108	-2%	0,00107	-4%
PILARES DO 1º PAVIMENTO - DESLOCAMENTO TOTAL MÁXIMO EM Y - (Δ/H)										
PIL.	f _{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa	35 MPa		
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P24, P8 E P9	-	0,00036	3%	0,00036	3%	0,00035	0,00034	-2%	0,00034	-3%
PILARES DA COBERTURA - DESLOCAMENTO TOTAL MÁXIMO EM X - (Δ/H)										
PIL.	f _{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa	35 MPa		
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P1	-	0,00119	7%	0,00114	3%	0,00111	0,00108	-2%	0,00107	-4%
PILARES DA COBERTURA - DESLOCAMENTO TOTAL MÁXIMO EM Y - (Δ/H)										
PIL.	f _{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa	35 MPa		
	PAVIMENTO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
P8, P9 e P24	-	0,00036	3%	0,00035	0%	0,00035	0,00035	0%	0,00034	-2%

* DRR = diferença em relação à referência

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

O deslocamento total máximo é importante tanto para o projeto, como para análise estrutural, tendo em vista cargas adicionais devido a não-linearidade geométrica, influenciando na estabilidade global da estrutura e a distribuição das cargas.

Nesse ponto, notou-se que também nos pilares P1, P8, P9 e P24, os valores apresentados evidenciam uma alteração nos deslocamentos, sendo importantes para a consideração dos efeitos de segunda ordem.

Desse modo, ao reduzir o f_{ck} potencializa-se os efeitos de segunda ordem, havendo um acréscimo de até 8% de deformação total, quando o f_{ck} de 15 MPa. E quando se aumenta o f_{ck} , acontece uma redução das implicações apresentadas, sendo possível destacar o f_{ck} de 35 MPa que reduz o deslocamento em até 5%.

4.2 VIGAS

As não-conformidades nas vigas podem ocasionar fissuras excessivas, falhas no cobrimento, dimensionamento inadequado, e outras falhas que precisam ser corrigidas. Por isso, inspeções, monitoramento e testes de qualidade são cruciais para atestar a conformidade, e assegurar a eficiência das vigas.

Nesse ponto analisou-se armaduras negativa e positiva, os esforços cortante e normal, e as flechas no tempo infinito e ativa.

4.2.1 Armadura negativa

Um reforço em barras de aço, que são sobrepostas na parte superior da viga, de forma perpendicular ao seu eixo longitudinal, são conhecidas como armadura negativa. Essas armaduras são projetadas para resistir às tensões de tração que são provocadas nas vigas quando as mesmas são submetidas a cargas, como também, auxilia na distribuição das cargas pela viga, para evitar falhas por flexão.

A Tabela 9 vem apresentar as variações de parâmetros, sobre a armadura negativa das vigas da estrutura projetada, dadas em quilogramas (kg), bem como a diferença em relação à referência (DRR) para diferentes valores de resistência do concreto f_{ck} entre vigas por pavimentos.

Tabela 9 – Armadura negativa das vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - ARMADURA NEGATIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-219	9,50	-17%	11,60	2%	11,40	11,30	-1%	11,30	-1%
T-220	2,60	4%	2,50	0%	2,50	2,40	-4%	2,30	-8%
T-221	14,10	4%	13,80	1%	13,60	13,50	-1%	13,40	-1%
T-222	5,30	10%	5,00	4%	4,80	4,70	-2%	2,30	-52%
T-223	11,80	3%	11,60	1%	11,50	13,70	19%	15,90	38%
T-224	9,60	4%	9,30	1%	9,20	6,70	-27%	6,70	-27%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - ARMADURA NEGATIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	3,60	0%	3,60	0%	3,60	3,60	0%	3,60	0%
T-303	-		-		-	-		-	
T-304	17,70	12%	17,30	9%	15,80	15,80	0%	15,70	-1%
T-305	4,50	15%	4,00	3%	3,90	2,50	-36%	2,30	-41%
T-306	16,30	17%	15,50	12%	13,90	13,80	-1%	13,70	-1%
T-307	4,60	18%	4,00	3%	3,90	3,90	0%	3,90	0%
T-308	14,40	4%	14,00	1%	13,90	13,70	-1%	13,70	-1%
VIGAS DA COBERTURA - ARMADURA NEGATIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T-434	13,60	0%	13,60	0%	13,60	13,60	0%	13,60	0%

T-435	25,50	0%	25,50	0%	25,50	25,50	0%	25,50	0%
T-436	-		-		-	-		-	

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

No 1º pavimento verificou-se que na viga V6 quando ocorre a redução do f_{ck} para 20 e 15 MPa, resulta-se em um aumento de até 10% na taxa de armadura. Por outro lado, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, observou-se uma redução de até metade da quantidade de armadura.

Após a avaliação da viga V2 no 2º pavimento, ao minorar o f_{ck} para 20 e 15 MPa, observa-se um acréscimo na proporção da armadura de até 18%. Por outro lado, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, percebe-se uma diminuição na proporção da armadura de até 40%.

Quanto à viga V10 do pavimento cobertura, constatou-se que ao variar o f_{ck} de 15 a 35 MPa, não houve mudanças nas armaduras.

Nesse sentido, as mudanças nas taxas de armaduras negativas não foram tão expressivas quanto as registradas nos pilares, tal fenômeno se dá em razão de os esforços principais nas vigas serem de flexão, devido ao momento fletor.

4.2.2 Armadura positiva

As armaduras positivas ou reforços, referem-se as barras de aço que são geralmente aplicadas na parte inferior das vigas para resistir aos momentos fletorosos positivos, e garantir a estabilidade estrutural.

Desse modo, na Tabela 10 é possível identificar as armaduras positivas em quilogramas (kg), bem como a diferença em relação à referência (DRR) para diferentes valores de resistência do concreto f_{ck} entre vigas por pavimentos.

Tabela 10 – Armadura positiva das vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - ARMADURA POSITIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	-		-		-	-		-	
T-219	9,20	2%	9,20	2%	9,00	8,90	-1%	9,00	0%
T-220	-		-		-	-		-	
T-221	10,90	1%	10,80	0%	10,80	10,80	0%	10,80	0%

T-222	-		-		-	-		-	
T-223	10,90	1%	10,80	0%	10,80	10,80	0%	10,80	0%
T-224	4,90	2%	4,80	0%	4,80	4,80	0%	4,80	0%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - ARMADURA POSITIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	-		-		-	-		-	
T-303	3,10	0%	3,10	0%	3,10	3,10	0%	3,10	0%
T-304	16,30	1%	16,10	0%	16,10	16,10	0%	16,10	0%
T-305	3,10	0%	3,10	0%	3,10	3,10	0%	3,10	0%
T-306	13,70	0%	13,70	0%	13,70	13,70	0%	13,70	0%
T-307	3,20	3%	3,10	0%	3,10	3,10	0%	3,10	0%
T-308	10,90	0%	10,90	0%	10,90	10,90	0%	10,90	0%
VIGAS DA COBERTURA - ARMADURA POSITIVA (Kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	-		-		-	-		-	
T-434	37,60	0%	37,60	0%	37,60	37,60	0%	37,60	0%
T-435	7,60	0%	7,60	0%	7,60	7,60	0%	7,60	0%
T-436	-		-		-	-		-	

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se, portanto, que praticamente não há alterações nas taxas de armaduras positivas, evidenciando que esse não é um parâmetro muito relevante no cálculo das áreas de aço.

4.2.3 Esforço cortante

Os esforços cortantes surgem quando uma viga é submetida a carregamentos, concentradas ou distribuídas ao longo do seu comprimento. São forças que atuam nos elementos e tende a gerar seção transversal de cortes. Na Tabela 11, se apresenta os valores do esforço cortante (V) em percentual (%) e entende-se o coeficiente como a relação entre o esforço solicitante e o esforço resistente, bem como a diferença em relação à referência (DRR) para diferentes valores de resistência do concreto (f_{ck}) entre vigas e pavimentos.

Tabela 11 – Esforço cortante das vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - ESFORÇO CORTANTE V (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	48,30	15%	45,70	9%	42,00	39,10	-7%	36,60	-13%
T-219	46,80	20%	42,40	9%	39,00	36,30	-7%	34,10	-13%
T-220	48,50	20%	43,90	9%	40,30	37,50	-7%	35,20	-13%
T-221	48,40	21%	43,70	9%	40,10	37,30	-7%	34,90	-13%
T-222	47,70	20%	43,10	9%	39,60	36,80	-7%	34,50	-13%
T-223	48,20	21%	43,50	9%	39,90	37,00	-7%	34,70	-13%
T-224	47,60	19%	43,30	9%	39,90	37,20	-7%	35,00	-12%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - ESFORÇO CORTANTE V (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	70,60	20%	64,00	9%	58,90	54,70	-7%	51,20	-13%
T-303	86,30	12%	78,30	2%	76,90	71,50	-7%	67,10	-13%
T-304	93,30	7%	95,20	9%	87,60	82,10	-6%	76,90	-12%
T-305	92,80	3%	93,40	4%	90,20	84,50	-6%	79,20	-12%
T-306	93,60	6%	95,50	9%	87,90	81,80	-7%	76,80	-13%
T-307	94,60	3%	95,30	3%	92,20	85,80	-7%	80,50	-13%
T-308	55,60	19%	50,60	8%	46,70	43,60	-7%	41,00	-12%
VIGAS DA COBERTURA - ESFORÇO CORTANTE V (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	83,90	21%	75,80	9%	69,60	64,70	-7%	65,30	-6%
T-434	29,20	13%	27,40	6%	25,90	26,50	2%	25,30	-2%
T-435	30,00	9%	29,20	6%	27,60	26,30	-5%	25,10	-9%
T-436	91,70	16%	85,80	9%	78,90	73,40	-7%	68,80	-13%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Para a viga V6 do 1º pavimento, ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, observa-se um acréscimo na proporção do esforço cortante de até 9% e 21%. E quando se aumenta o f_{ck} para 30 e 35 MPa, percebe-se uma redução de esforço cortante de até 7% e 13%.

No 2º pavimento, verifica-se na viga V2, que ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, resulta-se em um aumento de até 9% e 20% do esforço cortante. Por outro lado, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, observa-se uma diminuição do coeficiente de esforço cortante em até 7% e 13%.

Sobre a viga V10 do pavimento cobertura, constatou-se que ao variar o f_{ck} para 20 a 15 MPa, ocorre um acréscimo do coeficiente de esforço cortante em até 9% e 21%. No entanto quando se eleva o f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma baixa de até 7% e 13% do esforço cortante.

Portanto, verifica-se que o desempenho do esforço cortante nas vigas está relacionado ao f_{ck} , e tem tendência de redução do esforço cortante à medida que o f_{ck} é elevado, tendo algumas diferenças entre tramos.

4.2.4 Esforço normal

O esforço normal ou tensão normal, é a força interna que atua perpendicularmente à seção transversal das vigas, comprimindo ou tracionando as estruturas. A análise da Tabela 12, mostra os valores do esforço normal (N) em percentual (%), porque o coeficiente se estabelece da relação do esforço solicitante e do esforço resistente, similar ao entendimento do esforço cortante. Como também, a diferença em relação à referência (DRR) para os valores diversos de resistência do concreto (f_{ck}) entre vigas por pavimentos.

Tabela 12 – Esforço normal das vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - ESFORÇO NORMAL N (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	90,80	4%	89,00	2%	87,50	84,30	-4%	83,30	-5%
T-219	57,20	8%	54,40	3%	52,90	52,60	-1%	52,40	-1%
T-220	60,80	4%	58,50	1%	58,20	58,00	0%	57,80	-1%
T-221	60,00	10%	56,50	4%	54,40	53,90	-1%	53,50	-2%
T-222	59,40	8%	56,30	2%	55,20	54,90	-1%	54,70	-1%
T-223	58,90	9%	56,20	4%	54,00	53,50	-1%	53,10	-2%
T-224	89,90	37%	75,80	16%	65,60	58,10	-11%	58,60	-11%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - ESFORÇO NORMAL N (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	87,40	0%	87,30	0%	87,20	87,10	0%	87,00	0%
T-303	74,40	-7%	68,90	-14%	80,30	79,90	0%	79,60	-1%
T-304	76,30	-13%	73,20	-16%	87,60	86,80	-1%	86,20	-2%
T-305	75,90	-7%	80,20	-2%	81,50	92,10	13%	93,10	14%
T-306	75,90	-13%	73,30	-16%	87,00	86,40	-1%	85,90	-1%
T-307	76,90	-1%	81,20	4%	77,80	77,00	-1%	76,40	-2%
T-308	89,10	24%	83,40	16%	72,10	72,90	1%	73,60	2%
VIGAS DA COBERURA - ESFORÇO NORMAL N (%)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	57,80	23%	51,60	10%	46,90	43,00	-8%	40,70	-13%
T-434	42,60	-3%	41,90	-4%	43,70	45,10	3%	46,30	6%
T-435	72,90	-11%	77,90	-5%	81,70	84,60	4%	87,00	6%
T-436	75,80	5%	72,90	1%	72,50	72,10	-1%	71,70	-1%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Para o 1º pavimento, verifica-se na viga V6, que a redução do f_{ck} para 20 e 15 MPa resultou em um aumento de até 16% e 37% do esforço normal. Contudo, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, observa-se uma diminuição do coeficiente de esforço normal de apenas 11%.

Já para a viga V2 do 2º pavimento, em média, ao diminuir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, ressalta-se um acréscimo na proporção do esforço normal de até 16% e 24% simultaneamente. E quando se aumenta o f_{ck} para 30 e 35 MPa, percebe-se uma redução de esforço normal de até 1% e 2%, respectivamente.

Na viga V10 do pavimento cobertura, constatou-se que ao variar o f_{ck} para 20 a 15 MPa, ocorre um acréscimo do coeficiente de esforço cortante em 10% e 23%. E quando se eleva o f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma diminuição de 8% e 13% do esforço normal.

A análise revela que o comportamento do esforço normal das vigas em relação ao f_{ck} , tem tendência de diminuição do esforço normal à medida que o f_{ck} é aumentado, com algumas exceções entre os tramos individuais.

4.2.5 Flecha no tempo infinito

A flecha no tempo infinito ou flecha residual, é a deformação permanente que ocorre nas vigas, devido aos carregamentos aplicados na estrutura. Essas deformações ocorrem devido o relaxamento de tensões e desempenhos viscoelásticos dos materiais utilizados.

Os dados da Tabela 13, exprimem os números da flecha no tempo infinito em milímetros (mm), bem como a diferença em relação à referência (DRR) para diferentes valores de resistência do concreto f_{ck} entre vigas por pavimentos.

Tabela 13 – Flecha no tempo infinito nas vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - FLECHA NO TEMPO INFINITO (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	0,05	25%	0,04	0%	0,04	0,03	-25%	0,02	-50%
T-219	1,18	31%	1,02	13%	0,90	0,81	-10%	0,74	-18%
T-220	0,87	45%	0,70	17%	0,60	0,53	-12%	0,48	-20%
T-221	0,97	39%	0,80	14%	0,70	0,62	-11%	0,56	-20%

T-222	0,91	42%	0,74	16%	0,64	0,57	-11%	0,51	-20%
T-223	1,04	35%	0,88	14%	0,77	0,69	-10%	0,63	-18%
T-224	0,33	38%	0,28	17%	0,24	0,22	-8%	0,19	-21%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - FLECHA NO TEMPO INFINITO (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	1,41	53%	1,41	53%	0,92	0,78	-15%	0,71	-23%
T-303	4,08	45%	3,37	20%	2,81	2,29	-19%	1,88	-33%
T-304	3,66	46%	3,03	21%	2,51	2,06	-18%	1,69	-33%
T-305	3,63	46%	3,00	20%	2,49	2,05	-18%	1,68	-33%
T-306	3,52	49%	2,88	22%	2,37	1,92	-19%	1,58	-33%
T-307	4,41	42%	3,74	20%	3,11	2,57	-17%	2,15	-31%
T-308	1,31	26%	1,16	12%	1,04	0,95	-9%	0,87	-16%
VIGAS DA COBERTURA - FLECHA NO TEMPO INFINITO (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	2,91	29%	2,53	12%	2,26	2,14	-5%	2,02	-11%
T-434	11,92	14%	10,9	5%	10,43	9,96	-5%	9,49	-9%
T-435	9,21	19%	8,28	7%	7,74	7,25	-6%	6,80	-12%
T-436	2,68	18%	2,47	8%	2,28	2,09	-8%	1,91	-16%

* DRR = diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

No 1º pavimento na viga V6, conforme dados apresentados, ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, observa-se um acréscimo da flecha infinita de 17% e 45%. E ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, percebe-se uma redução da flecha infinita de 11% e 20%.

Verifica-se na viga V2, do 2º pavimento, que ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, resulta-se em um aumento de até 53% da flecha residual. No entanto, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, observa-se uma diminuição para 19% e 33%.

Por último, na cobertura, na viga V10, constatou-se que ao variar o f_{ck} para 20 a 15 MPa, decorre crescimento da flecha infinita em 12% e 29%. E com o aumento do f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma diminuição de 8% e 16%, respectivamente.

Nesse ponto, constata-se que a variação de f_{ck} , influencia significativamente a flecha no tempo infinito, porque o módulo de deformação é diretamente relacionado com a resistência de compressão do concreto.

4.2.6 Flecha imediata

A flecha imediata é uma deformação temporária que ocorre mediante a aplicação de cargas nas estruturas, a sua magnitude depende da rigidez, geometria e condições de apoios. É possível compreender os indicadores sobre a flecha imediata dada em milímetro (mm), bem como a diferença em relação à referência (DRR) para diferentes valores de resistência do concreto f_{ck} entre vigas e pavimentos, na Tabela 14.

Tabela 14 – Flecha imediata nas vigas

VIGAS DO 1º PAVIMENTO - FLECHA IMEDIATA (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 6	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-218	0,31	48%	0,26	24%	0,21	0,17	-19%	0,14	-33%
T-219	1,11	32%	0,96	14%	0,84	0,76	-10%	0,69	-18%
T-220	0,82	41%	0,67	16%	0,58	0,51	-12%	0,46	-21%
T-221	0,89	37%	0,74	14%	0,65	0,58	-11%	0,52	-20%
T-222	0,85	39%	0,71	16%	0,61	0,55	-10%	0,49	-20%
T-223	1,01	33%	0,86	13%	0,76	0,68	-11%	0,62	-18%
T-224	0,60	30%	0,52	13%	0,46	0,41	-11%	0,38	-17%
VIGAS DO 2º PAVIMENTO - FLECHA IMEDIATA (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 2	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-302	1,55	67%	1,20	29%	0,93	0,76	-18%	0,68	-27%
T-303	4,26	47%	3,50	21%	2,89	2,32	-20%	1,85	-36%
T-304	3,63	47%	3,00	21%	2,47	2,00	-19%	1,61	-35%
T-305	3,62	47%	2,99	22%	2,46	2,00	-19%	1,61	-35%
T-306	3,50	50%	2,86	23%	2,33	1,86	-20%	1,50	-36%
T-307	4,49	43%	3,81	21%	3,15	2,58	-18%	2,13	-32%
T-308	1,49	24%	1,32	10%	1,2	1,10	-8%	1,01	-16%
VIGAS DA COBERTURA - FLECHA IMEDIATA (mm)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
VIGA 10	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
T-433	2,38	22%	2,13	9%	1,95	1,86	-5%	1,77	-9%
T-434	10,61	13%	9,70	4%	9,37	9,00	-4%	8,61	-8%
T-435	8,57	20%	7,66	7%	7,17	6,70	-7%	6,27	-13%
T-436	2,35	9%	2,27	6%	2,15	1,98	-8%	1,81	-16%

* DRR = Diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Constatou-se na viga V6 do 1º pavimento, que ao variar o f_{ck} para 20 a 15 MPa, sofre um acréscimo de 24% e 48%, e ao elevar-se o f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma baixa de 19% e 33% da flecha imediata.

Para a viga V2 do 2º pavimento, quando se diminui o f_{ck} para 20 e 15 MPa, proporcionalmente sofre um acréscimo da flecha imediata de até 29% e 67%. E aumentando o f_{ck} para 30 e 35 MPa, se resulta em uma redução da flecha imediata de até 20% e 36%.

E para a viga V10 da cobertura, se constata um aumento de 9% e 22% da flecha imediata, ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa. E sofre uma diminuição de 8% e 16% quando se aumenta o f_{ck} .

Com a variação de f_{ck} , assim como na flecha no tempo infinito, confere-se que a interferência da flecha imediata é significativa, e se dá devido a deformação ser diretamente relacionada com a resistência de compressão do concreto.

4.3 LAJES

A laje precisa ter a capacidade de suportar cargas aplicadas na forma de pressão, e a não-conformidade pode ocasionar nesse elemento estrutural, por exemplo, trincas e fissuras, inadequações na armadura, falhas na concretagem, comprometendo assim a segurança e a durabilidade da estrutura.

Desse modo, serão estudadas as variações encontradas na armadura negativa em relação ao diâmetro das armaduras.

4.3.1 Armadura negativa

A armadura negativa em lajes treliçadas refere-se à armadura de reforço colocada na face superior, devendo ser posicionadas sobre as nervuras, e tem o propósito de resistir ao momento fletor negativo induzido pela carga aplicada e promover a continuidade na junção entre elas. Esse tipo de armadura é essencial para aumentar a capacidade de carga e melhorar o desempenho estrutural da laje.

Tabela 15 – Armadura negativa das lajes

LAJE DO 1º PAVIMENTO - ARMADURA NEGATIVA (kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
DIÂMETRO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR

ø 5 mm	11,36	13%	12,94	29%	10,03	7,58	-24%	7,3	-27%
ø6.3 mm	32,10	35%	26,69	13%	23,71	21,01	-11%	20,58	-13%
ø8 mm	185,94	-2%	179,88	-5%	190,28	190,87	0%	185,70	-2%
ø10 mm	83,58	119%	66,26	74%	38,16	35,99	-6%	39,86	4%
ø12.5 mm	8,69	-47%	3,60	-78%	16,26	9,85	-39%	4,45	-73%
ø16 mm	4,34	-44%	17,80	130%	7,73	4,17	-46%	4,08	-47%
ø20 mm	17,77		-		-	-		-	
TOTAL	343,78	20%	307,17	7%	286,17	269,47	-6%	261,97	-8%
LAJE DO 2º PAVIMENTO - ARMADURA NEGATIVA (kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
DIÂMETRO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
ø 5 mm	9,20	52%	9,37	55%	6,04	3,73	-38%	3,59	-41%
ø6.3 mm	36,88	88%	23,28	19%	19,59	17,08	-13%	16,60	-15%
ø8 mm	152,63	-3%	155,95	-1%	157,10	158,14	1%	153,52	-2%
ø10 mm	68,56	114%	56,09	75%	32,06	44,16	38%	43,25	35%
ø12.5 mm	20,13	-52%	15,73	-63%	42,12	27,97	-34%	24,90	-41%
ø16 mm	-		4,43	-43%	7,73	-		-	
TOTAL	287,40	9%	264,85	0%	264,64	251,08	-5%	241,86	-9%
LAJE DA COBERTURA - ARMADURA NEGATIVA (kg)									
f_{ck}	15 MPa		20 MPa		25 MPa	30 MPa		35 MPa	
DIÂMETRO	VALOR	DRR	VALOR	DRR	REF.	VALOR	DRR	VALOR	DRR
ø8 mm	194,41	5%	191,17	3%	185,22	181,90	-2%	175,34	-5%
ø10 mm	17,69	37%	17,83	38%	12,91	9,35	-28%	9,49	-26%
ø12.5 mm	25,00	337%	2,81	-51%	5,72	5,51	-4%	3,97	-31%
TOTAL	237,10	16%	211,81	4%	203,85	196,76	-3%	188,80	-7%

* DRR = Diferença em relação à referência

Fonte: Autoria própria (2024)

Na Tabela 15, a análise dos dados apresentados dispõe sobre a distribuição da armadura negativa em lajes de diferentes pavimentos em relação à resistência do concreto f_{ck} e o diâmetro das barras de aço.

Para a laje do 1º pavimento, ao diminuir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, observa-se um acréscimo no total da armadura negativa de 7% e 20%. E quando se aumenta o f_{ck} para 30 e 35 MPa, percebe-se uma redução da armadura de 6% e 8%.

No 2º pavimento, verifica-se na laje, ao reduzir o f_{ck} para 20 e 15 MPa, resulta-se em um aumento de até 9% no total de armadura. Por outro lado, ao aumentar o f_{ck} para 30 e 35 MPa, observa-se uma diminuição na quantidade de armadura negativa em 5% e 9%.

Em análise à laje do pavimento cobertura, constatou-se que ao variar o f_{ck} para 20 a 15 MPa, ocorre um acréscimo no total da armadura negativa em 4% e 16%. No

entanto quando se eleva o f_{ck} para 30 e 35 MPa, tem-se uma diminuição de 3% e 7% de armadura.

É possível compreender que armadura negativa das lajes, aumenta mediante a redução do f_{ck} pois seu esforço principal é similar ao das vigas. A análise individual por bitolas não é possível pois depende do detalhamento adotado. Já analisando a relação entre os pavimentos, constata-se diferenças de percentuais, isso ocorre devido os pavimentos possuírem carregamentos diferentes.

5. REFORÇO ESTRUTURAL PARA OS CASOS DE NÃO-CONFORMIDADES

Mediante resultados apresentados no item anterior, foram identificadas as não-conformidades nos elementos estruturais – nos pilares, vigas e lajes. Desse modo propõe-se algumas intervenções para correção dessas falhas.

Nos pilares, observa-se que estes são impactados diretamente com as consequências por estarem submetidos a uma compressão vertical. Por isso, com o aumento da resistência característica a compressão do concreto, tem-se uma redução na taxa de aço necessária, e o contrário verifica-se com uma menor resistência à compressão. Para correção dessa não-conformidade sugere-se que sejam aplicados reforços como o aumento da taxa de aço, podendo ser utilizado técnica do tipo encamisamento, essa que reforçar o pilar aumentando a seção, diminuindo assim as tensões.

Sobre as vigas, notou-se que a principal não-conformidade é o aumento das flechas. E mediante os resultados encontrados, se entende que embora estejam principalmente submetidas à flexão, as suas deformações são diretamente relacionadas ao f_{ck} . Nesse sentido, sugere-se um aumento de seção para aumentar a rigidez da mesma e consequentemente os ajustes das áreas de aço para as novas geometrias.

E para as lajes, também sofrem ação de flexão como nas vigas, devido sua esbeltez (medida da proporção de sua altura e o vão que suportam), sendo fator importante a ser considerado no projeto estrutural. Pois quando a laje é muito esbelta, ou seja, quando possui uma espessura reduzida em relação ao seu comprimento e largura, pode ser acometida por suscetíveis deflexões excessivas, vibrações indesejadas e até mesmo instabilidade estrutural, podendo ocasionar problemas como fissuras, deformações permanentes e em casos extremos, o colapso. Conforme verificado é necessário reforçar as lajes aumentando a quantidade de aço, seja executando uma nova camada superior quando possível, ou aumentando a quantidade de apoios para reduzir os esforços atuantes.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou a temática das não-conformidades encontradas em projeto estrutural de concreto armado, apresentando a variação de parâmetros quanto a resistência característica à compressão dos elementos estruturais. É importante destacar que a identificação precoce, das não-conformidades, bem como a análise detalhadas e correção eficaz dos problemas, são ações indispensáveis para garantir a vida útil e a segurança da estrutura.

É possível destacar alguns resultados quando se reduz o f_{ck} para 15 MPa, onde no pilar P13 no 1º pavimento ocorre a necessidade de aumento na taxa de armadura de até 78%; no elemento estrutura viga, no 2º pavimento tem-se a necessidade de armadura negativa de até 18%; e para a laje no 1º pavimento, pode-se aumentar em até 20%.

O estudo das não-conformidades do concreto armado revela uma gama de fatores que podem comprometer a segurança e qualidade das estruturas. Destaca-se ainda que as não-conformidades podem surgir de etapas primitivas, desde a seleção dos materiais, até o controle de qualidade. E as causas geradores dessas inconformidades podem emergir de um mal dimensionamento dos elementos estruturais, da execução inadequada da concretagem, da falta de armadura, e tanto outros fatores.

Nessa perspectiva, sugere-se que advenha uma abordagem proativa entre os profissionais que participam dos processos de construção, afim de notar e corrigir a tempo as não-conformidades. Outro ponto seria um controle de qualidade mais eficaz, e a busca constante por aprimoramentos dos processos construtivos, assim como o cumprimento fiel do projeto estrutural podem auxiliar na construção de estruturas duráveis e essencialmente seguranças, que atendem aos padrões de conformidade.

Como sugestão de trabalho futuros, sugere-se que seja elaborado trabalho com edificações de grande porte, esbeltos, com mais de 10 pavimentos, assim como alterando a resistência mecânica de um único elemento, para um melhor entendimento sobre as possíveis não-conformidades e as soluções mais adequadas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de provas cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico da utilização do cimento Portland**. São Paulo, 2002. Boletim Técnico BT-106. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico da utilização do cimento Portland. São Paulo, 2002. Boletim Técnico BT-106.

BARBOZA, Sergio Lessa Costa. **Comparação de Programas Computacionais para o Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado** / Sergio Lessa Costa Barboza. – 2019. 85 f.: il. color.

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do concreto armado**. São Paulo Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, 2019.

BASTOS, P. S. D. S. **Fundamentos do concreto armado**. Bauru: UNESP, 2006.

BASTOS, Paulo Sergio. Fundamentos do Concreto Armado, **Unespe**, 2023. Disponível em:
<https://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 19 de março de 2024.

FREITAS, Otávio Pereira de. **Não conformidade do concreto em obras**. UNIVERSIDADE TRISUL, 2024. Disponível em:
<https://www.universidadetrisul.com.br/solucoes-construtivas/nao-conformidade-de-concreto-em-obras>. Acessado em: 25 de março de 2024.

GUTFREIND, Henrique. AURICH, Mauten. **Concreto Armado I**. Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul – PUC RS, 2014. Disponível em:
https://www.politecnica.pucrs.br/professores/giugliani/ARQUITETURA_-_Sistemas_Estruturais_II/01_Propriedade_e_Caracteristica_dos_Materiais.pdf. Acesso em: 18 de março de 2024

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle de concreto**. Brasília: Pini, 1992.

LIBIA, Amanda. Projeto Estrutural: o que é e para que serve. **Obra Prima**, 2022. Disponível em: <https://blog.obraprima.eng.br/projeto-estrutural-o-que-e-e-para-o-que-serve/>. Acesso em: 17 de março de 2024.

MAGALHÃES, Fábio Costa. **A problemática dos concretos não conformes e sua influência na confiabilidade de pilares de concreto armado**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PINHEIRO, Libânio M. MUZARDO, Cassiane D. SANTOS, Sandro P. **ESTRUTURAS DE CONCRETO – CAPÍTULO 2. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas Características do Concreto**, 2004. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>. Acesso em: 20 de março de 2024.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. 2007

PINELI, Larissa. Projeto Estrutural: tudo que você precisa saber. **EESCJr**, 2021. Disponível em: <https://eescjr.com.br/blog/projeto-estrutural-tudo-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 19 de março de 2024.

RIBAS, Jeancarlo. **Concepção estrutural: principais desafios do básico ao avançado**. ALTO Qi, 2022.

SANTIAGO, Wagner Carvalho. **Estudo da (não-) conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – São Carlos, 2011.

SCHNEIDER, Nelso. Módulo de elasticidade do concreto: Considerações gerais. **Nelso Schneider**, 2020. Disponível em: <https://nelsoschneider.com.br/modulo-de-elasticidade-concreto/>. Acesso em: 20 de março de 2024.

SILVA FILHO, L. C. P; HELENE, P. Análise de Estruturas de Concreto com Problemas de Resistência e Fissuração. In: ISAIA, G. C. (Editor), **Concreto: Ciência e Tecnologia**. IBRACON, São Paulo, 2011.

VALERIANO, Leticia Silveira. **Estudo da Variabilidade da Resistência a Compressão e da Consistência de Concreto Usinado Utilizado CPII 40**. Universidade Federal de Uberlândia, 2021. Disponível em:

<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/32890/1/EstudoVariabilidadeResist%C3%A2ncia.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2024.

APÊNDICE

RELATÓRIO DE QUANTITATIVOS DE PILARES



Esforços e armaduras de pilares, paredes, cortinas e muros

Projeto Estrutural

Data: 10/03/24

6.- RELATÓRIO QUANTITATIVOS PILARES

Tabela resumo - Térreo						
Pilares	Dimensões (cm)	Fôrmas (m²)	Concreto C25, em geral (m³)	Armaduras CA-50 e CA-60 Estribos Ø6.3 Ø5 (kg)	Taxa (kg/m³)	
P1	30x16	1.01	0.05	2.0	-	40.00
P2, P16 e P24	16x40	3.69	0.21	-	4.8	22.86
P3 e P5	16x40	2.46	0.14	-	5.6	40.00
P4, P6, P19 e P20	16x40	4.92	0.28	-	7.6	27.14
P7, P12, P15 e P21	16x40	4.92	0.28	15.6	-	55.71
P8	16x40	1.23	0.07	-	1.8	25.71
P9	40x17	1.25	0.07	-	4.6	65.71
P10	17x40	1.25	0.07	-	2.5	35.71
P11	17x40	1.25	0.07	4.1	-	58.57
P13, P14 e P23	16x40	3.69	0.21	-	10.2	48.57
P17	16x40	1.23	0.07	-	2.5	35.71
P18	17x40	1.25	0.07	-	3.2	45.71
P22	16x40	1.23	0.07	-	3.1	44.29
Total		29.38	1.66	21.7	45.9	40.72

Tabela resumo - 1º Pavimento											
Pilares	Dimensões (cm)	Fôrmas (m²)	Concreto C15, em geral (m³)	Armaduras CA-50 e CA-60							Taxa (kg/m³)
				Longitudinal				Estribos		Total +10 % (kg)	
				Ø20 (kg)	Ø16 (kg)	Ø12.5 (kg)	Ø10 (kg)	Ø6.3 (kg)	Ø5 (kg)		
P1	30x16	2.51	0.13	41.4	-	-	-	4.2	-	50.2	350.77
P2 e P16	16x40	6.12	0.34	-	75.8	-	-	-	7.8	92.0	245.88
P3 e P5	16x40	6.12	0.34	-	-	87.8	-	-	12.6	110.4	295.29
P4 e P6	16x40	6.12	0.34	-	101.0	-	-	-	9.2	121.2	324.12
P7, P12, P15 e P21	16x40	12.24	0.68	-	-	-	164.0	-	27.6	210.8	281.76
P8	16x40	3.06	0.17	-	-	22.0	-	-	4.1	28.7	153.53
P9	40x17	3.06	0.18	-	-	29.2	-	-	5.0	37.6	190.00
P10	17x40	3.11	0.19	-	-	36.6	-	-	5.8	46.6	223.16
P11	17x40	3.11	0.19	-	-	-	41.0	-	7.1	52.9	253.16
P13, P14 e P23	16x40	9.18	0.51	-	-	-	109.5	-	23.7	146.5	261.18
P17	16x40	3.06	0.17	-	-	36.6	-	-	5.6	46.4	248.24
P18	17x40	3.11	0.19	-	-	51.3	-	-	7.4	64.6	308.95
P19 e P20	16x40	6.12	0.34	-	101.2	-	-	-	9.2	121.4	324.71
P22	16x40	3.06	0.17	-	-	51.3	-	-	7.1	64.2	343.53
P24	16x40	2.95	0.17	-	37.9	-	-	-	3.9	46.0	245.88
Total		72.93	4.11	41.4	315.9	314.8	314.5	4.2	136.1	1239.5	274.18

Tabela resumo - 2º Pavimento								
Pilares	Dimensões (cm)	Fôrmas (m²)	Concreto C25, em geral (m³)	Armaduras CA-50 e CA-60				Taxa (kg/m³)
				Longitudinal		Estribos		
				Ø12.5 (kg)	Ø10 (kg)	Ø5 (kg)	Total +10 % (kg)	
P1	30x16	2.51	0.13	13.9	-	2.7	18.3	127.69
P2	16x40	3.06	0.17	21.4	-	4.1	28.1	150.00

RELATÓRIO DE DISTORÇÕES EM PILARES

Distorções em pilares

Nome da Obra: Projeto Estrutural - Condomínio TCC - Pilares
Projeto Estrutural

Data: 11/03/24

Os valores indicados levam em conta os fatores de deslocamentos definidos para os efeitos multiplicadores de segunda ordem.

Valores máximos

Desaprumo local máximo dos pilares (δ / h)		
Planta	Combinações permanentes ou transitórias	
	Direção X	Direção Y
Caixa D'água	1 / 605 (P10, P11)	1 / 2889 (P10, ...)
Cobertura	1 / 870 (P1, ...)	1 / 2236 (P8, P9)
2º Pavimento	1 / 895 (P1, ...)	1 / 2408 (P8)
1º Pavimento	1 / 770 (P24)	1 / 3423 (P24)
Térreo	1 / 2600 (P1, ...)	1 / 6500 (P1, ...)

Desaprumo total máximo dos pilares (Δ / H)		
Combinações permanentes ou transitórias		
	Direção X	Direção Y
	1 / 922 (P1, ...)	1 / 2963 (P24)

Os valores indicados levam em conta os fatores de deslocamentos definidos para os efeitos multiplicadores de segunda ordem.

Distorções em pilares

Nome da Obra: Projeto Estrutural - Condomínio TCC - Pilares
Projeto Estrutural

Data: 11/03/24

Os valores indicados levam em conta os fatores de deslocamentos definidos para os efeitos multiplicadores de segunda ordem.

Valores máximos

Desaprumo local máximo dos pilares (δ / h)		
Planta	Combinações permanentes ou transitórias	
	Direção X	Direção Y
Caixa D'água	1 / 605 (P10, P11)	1 / 2889 (P10, ...)
Cobertura	1 / 783 (P1, ...)	1 / 2236 (P8, ...)
2º Pavimento	1 / 824 (P1, ...)	1 / 2236 (P8)
1º Pavimento	1 / 770 (P24)	1 / 3423 (P24)
Térreo	1 / 2600 (P1, ...)	1 / 6500 (P1, ...)

Desaprumo total máximo dos pilares (Δ / H)		
Combinações permanentes ou transitórias		
	Direção X	Direção Y
	1 / 877 (P1, ...)	1 / 2883 (P24)

Os valores indicados levam em conta os fatores de deslocamentos definidos para os efeitos multiplicadores de segunda ordem.

RELATÓRIO DE QUANTITATIVO DE VIGAS

Relatório quantitativos de vigas

Obra: Projeto Estrutural

Data: 06/03/2024 15:34:08

Materiais:

Concreto: C25, em geral

Aço: CA-50 e CA-60

	Tipo	A.neg. kg	A.pos. kg	A.est. kg	Total kg	Ø5 kg	Ø6.3 kg	Ø10 kg	Ø12.5 kg	Ø16 kg	Ø20 kg	Ø22 kg	Ø25 kg	V.conc. m³
Térreo														
*V 1														
V-101(V 5-P1)	Alta			0.8	0.8	0.8								0.050
V-102(P1-P2)	Alta	2.3		1.2	3.5	1.2		2.3						0.089
V-103(P2-P3)	Alta	9.3	8.9	3.0	21.2	3.0		18.2						0.237
V-104(P3-P4)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-105(P4-P5)	Alta	11.6	10.8	3.0	25.4	3.0		22.4						0.237
V-106(P5-P6)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-107(P6-P7)	Alta	11.6	10.8	3.0	25.4	3.0		22.4						0.237
V-108(P7-P8)	Alta	6.3	5.8	3.0	15.1	3.0		12.1						0.242
Total V 1		41.1	36.3	20.0	97.4	20.0		77.4						1.566
*V 2														
V-109(P10-P11)	Alta	1.5		1.8	3.3	1.8		1.5						0.148
V-110(P11-P12)	Alta	11.3	8.9	3.0	23.2	3.0		20.2						0.237
V-111(P12-P13)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-112(P13-P14)	Alta	11.2	10.8	3.0	25.0	3.0		22.0						0.237
V-113(P14-P15)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-114(P15-P16)	Alta	11.3	10.8	3.0	25.1	3.0		22.1						0.237
V-115(P16-V 12)	Alta	5.8	5.7	3.0	14.5	3.0		11.5						0.234
Total V 2		41.1	36.2	19.8	97.1	19.8		77.3						1.567
*V 3														
V-116(V 5-V 6)	Alta	3.3	3.9	1.8	9.0	1.8		7.2						0.145
*V 4														
V-117(P17-P18)	Alta			1.8	1.8	1.8								0.147
V-118(P18-P19)	Alta	9.4	8.9	3.0	21.3	3.0		18.3						0.237
V-119(P19-P20)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-120(P20-P21)	Alta	11.7	10.8	3.0	25.5	3.0		22.5						0.237
V-121(P21-P22)	Alta			3.0	3.0	3.0								0.237
V-122(P22-P23)	Alta	11.6	10.8	3.0	25.4	3.0		22.4						0.237
V-123(P23-P24)	Alta	8.2	5.8	2.4	16.4	2.4		14.0						0.192
V-124(P24-V 12)	Alta			0.8	0.8	0.8								0.042
Total V 4		40.9	36.3	20.0	97.2	20.0		77.2						1.566
*V 5														
V-125(P17-P10)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.247
V-126(P10-V 1)	Alta	11.1	11.4	3.0	25.5	3.0		22.5						0.238
Total V 5		11.1	11.4	5.9	28.4	5.9		22.5						0.485
*V 6														
V-127(P18-P11)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.247
V-128(P11-P2)	Alta	11.5	11.5	2.9	25.9	2.9		23.0						0.249
Total V 6		11.5	11.5	5.8	28.8	5.8		23.0						0.496
*V 7														
V-129(P19-P12)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.247
V-130(P12-P3)	Alta	11.5	11.5	2.9	25.9	2.9		23.0						0.249
Total V 7		11.5	11.5	5.8	28.8	5.8		23.0						0.496
*V 8														
V-131(P20-P13)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.246
V-132(P13-P4)	Alta	11.5	11.5	2.9	25.9	2.9		23.0						0.249
Total V 8		11.5	11.5	5.8	28.8	5.8		23.0						0.495
*V 9														
V-133(P21-P14)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.247
V-134(P14-P5)	Alta	11.5	11.5	2.9	25.9	2.9		23.0						0.249
Total V 9		11.5	11.5	5.8	28.8	5.8		23.0						0.496
*V 10														
V-135(P22-P15)	Alta			2.9	2.9	2.9								0.247
V-136(P15-P6)	Alta	11.5	11.5	2.9	25.9	2.9		23.0						0.249
Total V 10		11.5	11.5	5.8	28.8	5.8		23.0						0.496

RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE FLECHA EM VIGAS



Projeto Estrutural

Verificações E.L.U.

Data: 06/03/24

Vigas	VERIFICAÇÕES DE FISSURAÇÃO (ABNT NBR 6118:2014)					Estado
	$W_{k,F,Sup.}$	$W_{k,F,Lat.Dir.}$	$W_{k,F,Inf.}$	$W_{k,F,Lat.Esq.}$	σ_s	
V-255: P7 - V 1	x: 0 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m Passa	PASSA
V-256: V 7 - P24	x: 1.211 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	x: 0.681 m Passa	PASSA
V-257: P24 - V 3	x: 0 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 3.69 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 0.54 m Passa	PASSA
V-258: V 7 - P9	x: 7.481 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 3.621 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	x: 7.191 m Passa	PASSA
V-259: P9 - P8	x: 2.01 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	x: 2.01 m Passa	PASSA
V-260: P8 - V 1	x: 0 m Passa	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	N.A. ⁽¹⁾	x: 0 m Passa	PASSA

Notação:
 $W_{k,F,Sup.}$: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face superior
 $W_{k,F,Lat.Dir.}$: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral direita
 $W_{k,F,Inf.}$: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face inferior
 $W_{k,F,Lat.Esq.}$: Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras: Face lateral esquerda
 σ_s : Armaduras longitudinais mínimas
x: Distância à origem da barra
 η : Coeficiente de aproveitamento (%)
N.A.: Não aplicável

Verificações desnecessárias para o tipo de perfil (N.A.):
⁽¹⁾ A verificação não é necessária, já que não há nenhuma armadura tracionada.
⁽²⁾ A verificação não é necessária, já que a tensão de tração máxima no concreto não supera a resistência à tração do mesmo.

Verificações de flecha			
Vigas	No tempo infinito (Quase permanente)	Ativa (Característica)	Estado
	$f_{T,max} \leq f_{T,lim}$ $f_{T,lim} = L/250$	$f_{A,max} \leq f_{A,lim}$	
V-201: V 9 - V 17	$f_{T,max}$: 3.67 mm $f_{T,lim}$: 107.93 mm	$f_{A,max}$: 3.12 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-202: V 8 - P1	$f_{T,max}$: 0.15 mm $f_{T,lim}$: 5.86 mm	$f_{A,max}$: 0.12 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-203: P1 - P2	$f_{T,max}$: 0.21 mm $f_{T,lim}$: 5.47 mm	$f_{A,max}$: 0.32 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-204: P2 - P3	$f_{T,max}$: 2.79 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 2.92 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-205: P3 - P4	$f_{T,max}$: 2.32 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 2.30 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-206: P4 - P5	$f_{T,max}$: 2.40 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 2.37 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-207: P5 - P6	$f_{T,max}$: 2.26 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 2.24 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-208: P6 - P7	$f_{T,max}$: 3.02 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 3.08 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-209: P7 - P8	$f_{T,max}$: 1.00 mm $f_{T,lim}$: 14.84 mm	$f_{A,max}$: 1.23 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-210: V 15 - P9	$f_{T,max}$: 1.55 mm $f_{T,lim}$: 15.58 mm	$f_{A,max}$: 2.96 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-211: P10 - P11	$f_{T,max}$: 0.74 mm $f_{T,lim}$: 9.52 mm	$f_{A,max}$: 0.70 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-212: P11 - P12	$f_{T,max}$: 1.44 mm $f_{T,lim}$: 16.30 mm	$f_{A,max}$: 1.43 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA
V-213: P12 - P13	$f_{T,max}$: 1.28 mm $f_{T,lim}$: 16.32 mm	$f_{A,max}$: 1.17 mm $f_{A,lim}$: 10.00 mm	PASSA

RELATORIO DE ARMADURAS DE LAJES



Projeto Estrutural

Medição de armaduras de lajes de vigotas

Compr.	Diâmetro					
	Ø5	Ø6.3	Ø8	Ø10	Ø12.5	Ø16
1.65	--	--	1	--	--	--
1.70	--	--	8	--	--	--
1.60+0.10p = 1.70	--	--	1	--	--	--
>>>> Total 1.70	>>	>>	>> 9	>>	>>	>>
1.80	--	--	--	5	--	--
1.85	--	--	2	1	--	--
1.75+0.10p = 1.85	--	--	6	--	--	--
>>>> Total 1.85	>>	>>	>> 8	>> 1	>>	>>
2.00	--	--	10	--	--	--
1.95+0.10p = 2.05	--	--	10	--	--	--
2.10	--	--	3	--	--	--
2.15	--	--	20	--	--	--
2.30	--	--	1	--	--	--
2.35	--	--	2	1	--	--
2.17+0.18p = 2.35	--	--	--	--	--	1
>>>> Total 2.35	>>	>>	>> 2	>> 1	>>	>> 1
2.40	--	--	8	5	--	--
2.45	--	--	2	1	--	--
2.50	--	--	--	4	--	--
2.55	--	--	--	4	--	--
2.85+0.10p = 2.95	--	--	2	--	--	--
3.69+0.11p = 3.80	--	--	1	--	--	--
4.84+0.11p = 4.95	--	--	--	1	--	--
Total m 611.55	42.25	76.40	427.55	58.80	4.20	2.35
Tot. kg+10% 261.97	7.30	20.58	185.70	39.86	4.45	4.08

Grupo de Pisos Número 3: 2º Pavimento

Número Pisos Iguais: 1

Armadura negativa: CA-50 e CA-60

Compr.	Diâmetro					
	Ø5	Ø6.3	Ø8	Ø10	Ø12.5	Ø16
0.59+0.11p = 0.70	--	--	2	--	--	--
0.65+0.10p = 0.75	--	--	4	--	--	--
0.69+0.11p = 0.80	--	--	9	--	--	--
0.65+0.15p = 0.80	--	--	2	--	--	--
>>>> Total 0.80	>>	>>	>> 11	>>	>>	>>
0.65+0.20p = 0.85	--	--	2	--	--	--
0.69+0.16p = 0.85	--	--	--	1	--	--
>>>> Total 0.85	>>	>>	>> 2	>> 1	>>	>>
0.80+0.10p = 0.90	--	--	7	--	--	--
0.81+0.14p = 0.95	--	--	1	--	--	--
0.80+0.15p = 0.95	--	--	3	--	--	--
0.78+0.17p = 0.95	--	1	--	--	--	--
>>>> Total 0.95	>>	>> 1	>> 4	>>	>>	>>
0.82+0.18p = 1.00	--	1	--	--	--	--
0.79+0.21p = 1.00	--	--	1	--	--	--
>>>> Total 1.00	>>	>> 1	>> 1	>>	>>	>>
1.05	--	6	11	--	--	--