

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ISADORA KAROLYNE SILVA BUENO

**ESTUDO E APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DO TQS PÓRTICOS ®
NA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO.**

Goiânia, GO
2021



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Isadora Karolyne Silva Bueno _____

Matrícula: 20181011050391 _____

Título do Trabalho: Estudo e aplicação dos critérios de projeto do TQS pórticos ® na elaboração do projeto estrutural de um edifício residencial em concreto armado. _____

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 05/05/2021

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 19/04/2021.
Local Data

Assinatura do Autor ou Detentor dos
Direitos Autorais

Isadora Karolyne Silva Bueno

**ESTUDO E APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DO TQS PÓRTICOS ®
NA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Engenharia
Civil, do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus
Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil**

Orientador: Prof. Dra. Liana de Lucca
Jardim Borges

Co-orientador: Eng. Civ. Matheus de
Oliveira Soares

**Goiânia, GO
2021**

B8622e Bueno, Isadora Karolyne Silva

Estudo e aplicação dos critérios de projeto dos TQS Pórticos na elaboração do projeto estrutural de um edifício residencial em concreto armado / Isadora Karolyne Silva Bueno. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
127 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Liana de Lucca Jardim Borges.
Coorientador: Eng. Civ. Matheus de Oliveira Soares.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Projeto estrutural. 2. Concreto armado. I. Borges, Liana de Lucca Jardim (orientadora). II. Soares, Matheus de Oliveira. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 624.18

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

Isadora Karolyne Silva Bueno

**ESTUDO E APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PROJETO DO TQS PÓRTICOS ®
NA ELABORAÇÃO DO PROJETO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO
RESIDENCIAL EM CONCRETO ARMADO.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de Engenharia
Civil, do Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus
Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil**

Aprovado em 19 de março de 2021:



Liana de Lucca Jardim Borges, D.ra (IFG)
(Orientadora)



Matheus de Oliveira Soares, Eng. Civ.
(Co-orientador)



Claúdio Marra Alves M.a (IFG)
(Examinador interno)



Matilde Batista Melo M.a (IFG)
(Examinadora interna)

Goiânia, GO
2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus que sempre me guiou e é meu principal alicerce diante todas as situações vividas. À minha família, em especial, minha mãe, Deigly Silva, meu pai biológico, Ademar Paulino, meu pai de criação, Ronnivon Santos e a minha madrinha Glenda Ferreira, que foram pessoas fundamentais em toda minha trajetória, me dando sempre todo suporte necessário e me incentivando nos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, por terem estado sempre ao meu lado durante toda essa jornada. Ao meu namorado, por toda paciência.

A minha orientadora, Profa. Dra. Lianna de Lucca Jardim Borges, por todo conhecimento compartilhado, por todo suporte e correções durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu co-orientador, Eng. Civ. Matheus de Oliveira Soares, que esteve sempre disponível em ajudar, além de ter compartilhado muitas experiências e conhecimento acerca da utilização do programa TQS®.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte dessa jornada tão importante da minha vida.

RESUMO

Com o avanço da informática tem-se que os projetos estruturais vêm sendo cada vez mais executados com o auxílio de ferramentas computacionais. Tais ferramentas, são de suma importância no mercado atual, visto que tem um papel significativo na otimização de tempo para execução de um projeto estrutural, como também no auxílio para que o comportamento do modelo estrutural se aproxime do mais real possível. Todavia, é importante salientar que para a utilização correta dos *softwares* computacionais, o profissional deve estar sempre atento aos embasamentos teóricos pelo qual o programa é regido, visto que é de responsabilidade do engenheiro utilizar os critérios de projeto adequados para que a estrutura esteja condizente com as normas de segurança. Com base nisso, este trabalho consiste no estudo de um edifício de concreto armado de múltiplos pavimentos, utilizando o programa TQS[®], onde será aprofundado os conhecimentos acerca dos critérios de projeto disponibilizados pelo programa referente a análise do pórtico espacial. Para isso, foram estudadas as entradas de valores existentes no programa para os critérios de pórtico espacial, de forma que fosse possível compreender o funcionamento de cada critério e aplicar os conhecimentos obtidos na análise do edifício em estudo. Logo, foi realizada a escolha da análise e aplicação de dois critérios de projeto. Sendo que o primeiro critério escolhido se refere a flexibilização das ligações, onde foi possível analisar as variações de momentos e deslocamento no edifício em uma situação onde houve a consideração da flexibilização e na situação onde não houve a consideração da flexibilização das ligações. Já o segundo critério escolhido para aplicação e análise se trata da transferência dos esforços de 2º ordem, onde foi realizada uma variação dos valores limites do coeficiente Gama-Z, afim de analisar se haveria uma diferença de esforços para as duas situações escolhidas.

Palavras-chave: ferramentas computacionais, projeto estrutural, programa TQS, critérios de projeto, pórtico espacial.

ABSTRACT

With the advancement of information technology, structural projects have been increasingly carried out with the aid of computational tools. Such tools are of paramount importance in the current market, since they have a significant role in optimizing time for the execution of a structural project, as well as in helping the behavior of the structural model to approach as real as possible. However, it is important to note that for the correct use of computer software, the professional must always be aware of the theoretical bases by which the program is governed, since it is the responsibility of the engineer to use the appropriate design criteria so that the structure is consistent with safety standards. Based on this, this work consists of the study of a multi-storey reinforced concrete building, using the TQS[®] program, where the knowledge about the design criteria provided by the program regarding the analysis of the spatial portal will be deepened. For this purpose, the entries of existing values in the program for the spatial frame criteria were studied, so that it was possible to understand the functioning of each criterion and apply the knowledge obtained in the analysis of the project under study. Therefore, the choice of analysis and application of two design criteria was made. Since the first criterion chosen refers to the flexibility of the connections, where it was possible to analyze the variations of moments and displacement in the building in a situation where there was the consideration of the flexibility and in the situation where there was no consideration of the flexibility of the connections. The second criterion chosen for application and analysis is the transfer of 2nd order efforts, where a variation of the limit values of the Gamma-Z coefficient was carried out, in order to analyze whether there would be a difference in efforts for the two situations chosen.

Keywords: computational tools, structural design, TQS program, design criteria, spatial frame.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 2.1 — Simulação modelo estrutural.
- Figura 2.2 — Modelo grelhas somente vigas.
- Figura 2.3 — Modelo grelhas vigas + lajes.
- Figura 2.4 — Modelo de Pórtico espacial.
- Figura 2.5 — Verificação dos estados-limites em um elemento estrutural (viga).
- Figura 2.6 — Verificação dos estados-limites nos pórticos espaciais.
- Figura 2.7 — Listagem critérios de projeto do TQS®.
- Figura 3.1 — Planta arquitetura tipo.
- Figura 3.2 — Corte A arquitetura.
- Figura 3.3 — Corte B arquitetura.
- Figura 3.4 — Cobrimentos adotados.
- Figura 3.5 — Ações vento.
- Figura 3.6 — Modelo de cálculo adotado.
- Figura 3.7 — Corte esquemático do edifício.
- Figura 3.8 — Elementos estruturais presentes na modelagem.
- Figura 3.9 — Lançamento estrutural para o pavimento tipo
- Figura 3.10 — Modelagem 3D, programa TQS®.
- Figura 4.1 — Consideração da seção T, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.2 — Consideração da seção T, modelador TQS®.
- Figura 4.4 — Fator de engastamento, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.5 — Fator de engastamento, modelador TQS®.
- Figura 4.6 — Majoração da rigidez axial dos pilares, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.7 — Multiplicador da rigidez axial para efeitos construtivos, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.8 — Pilares genéricos com eixos principais, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.9 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.10 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.11 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.®.
- Figura 4.12 — Simulação dos trechos rígidos, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.13 — Separação dos modelos para ELU e ELS, editor de critérios pórtico espacial TQS®.
- Figura 4.14 — Coeficiente NLF para vigas, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.15 — Coeficiente NLF para pilares, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.16 — Coeficiente NLF para lajes, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.17 — Coeficiente NLF para lajes (Modelo VI), editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.18 — Transferência de esforços axiais para vigas, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.19— Tolerância para forças, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.20 — Tolerância para momento fletores, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.21— Critérios para cálculo do γ_z , editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 4.22— Critérios para transferência de esforços de segunda ordem, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Figura 5.1— Diagrama de deslocamentos das lajes do pavimento tipo.

Figura 5.2— Diagrama de momento fletor das lajes do pavimento tipo.

Figura 5.3— Deslocamentos máximos das vigas no pórtico espacial.

Figura 5.4— Viga com deslocamento mais crítico na situação do ELS

Figura 5.5— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial

Figura 5.6— Diagrama de momento fletor da pior situação para viga com altura de 40 cm

Figura 5.7— Diagrama de momento fletor da pior situação para viga com altura de 50 cm

Figura 5.8— Duplicação do edifício para análise da consideração ou não da flexibilização das ligações

Figura 5.9— Consideração do critério de flexibilização no edifício “TCC- ISADORA” para o processamento.

Figura 5.10— Consideração do critério de flexibilização no edifício “TCC- ISADORA- 1” para o processamento.

Figura 5.11— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial com a consideração da flexibilização.

Figura 5.12— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial sem a consideração da flexibilização.

Figura 5.13— Região escolhida para analisar a adoção da flexibilização entre as ligações.

Figura 5.14— Diagrama de momento fletor: região com ligação não flexibilizadas.

Figura 5.15— Diagrama de momento fletor: região com ligação flexibilizada

Figura 5.16— Deslocamentos horizontais no edifício com a consideração da flexibilização das ligações.

Figura 5.17— Deslocamentos horizontais no edifício sem a consideração da flexibilização das ligações.

Figura 5.18— Coeficiente Gama-Z no edifício com a consideração da flexibilização das ligações.

Figura 5.19— Coeficiente Gama-Z no edifício sem a consideração da flexibilização das ligações.

Figura 5.20— Coeficiente Gama-Z calculado pelo edifício com os critérios *default*.

Figura 5.21— Primeira consideração dos valores limites do Gama-Z na transferência de esforços.

Figura 5.22— Segunda consideração dos valores limites do Gama-Z na transferência de esforços.

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 — Critérios pórtico espacial quanto ao MODELO

Quadro 2.2 — Critérios pórtico espacial quanto às VIGAS

Quadro 2.3 — Critérios pórtico espacial quanto aos PILARES

Quadro 2.4 — Critérios pórtico espacial quanto às LIGAÇÕES

Quadro 2.5 — Critérios pórtico espacial quanto à NÃO-LINEARIDADE FÍSICA

Quadro 2.6 — Critérios pórtico espacial quanto à ESTABILIDADE GLOBAL

Quadro 2.7 — Critérios pórtico espacial quanto ao DESAPRUMO GLOBAL

Quadro 2.8 — Critérios pórtico espacial quanto ao ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

Quadro 2.9 — Critérios pórtico espacial quanto ao P-DELTA

Quadro 2.10 — Critérios pórtico espacial quanto ao VENTO

Quadro 2.11 — Critérios pórtico espacial quanto à NÃO-LINEARIDADE FÍSICA
GEOMÉTRICA

Quadro 2.12 — Critérios pórtico espacial quanto ao MODELO VI

Quadro 2.13 — Critérios pórtico espacial quanto à PRECISÃO DE RESULTADOS

Quadro 2.14 — Critérios pórtico espacial quanto à LISTAGEM

Quadro 5.1 — Análise das seções dos pilares devido ao esforço solicitante

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 — Peso específico parede tipo.

Tabela 3.2 — Peso específico parede áreas molhadas.

Tabela 3.3 — Carregamentos lineares (paredes).

Tabela 3.4 — Carregamentos concentrados.

Tabela 3.5 — Carregamentos por área (lajes).

Tabela 5.1 — Análise do ELS para lajes do pavimento tipo com maiores deslocamentos

Tabela 5.2 — Análise do ELU para lajes do pavimento tipo com maiores solicitações

Tabela 5.3 — Análise do ELS para a viga com maior deslocamento real

Tabela 5.4 — Análise do ELU para vigas do pavimento tipo com maiores solicitações

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1	Considerações iniciais..... 1
1.2	Justificativa 1
1.3	OBJETIVOS 2
1.3.1	Objetivo geral..... 2
1.3.2	Objetivos específicos 2
1.4	Metodologia 3
1.5	Estrutura do trabalho..... 3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1	Introdução 5
2.2	Trabalhos desenvolvidos..... 5
2.2.1	CARVALHO, FIGUEIREDO, FURLAN (2000). 5
2.2.2	ASSIS (2019). 6
2.2.3	KRISTINER (2019). 7
2.2.4	SILVEIRA (2009). 8
2.3	Etapas de um projeto estrutural..... 9
2.3.1	Concepção estrutural..... 9
2.3.2	Modelo estrutural 10
2.3.3	Análise estrutural 13
2.3.4	Dimensionamento e detalhamento 14
2.3.5	Emissão das pranchas..... 15
2.4	Critérios de projeto 15
2.4.1	Listagem critérios de projeto FORMAS 17
2.4.2	Listagem critérios GRELHAS 17
2.4.3	Listagem critérios PÓRTICO ESPACIAL 17
2.4.4	Listagem critérios LAJES 23
2.4.5	Listagem critérios VIGAS 23
2.4.6	Listagem critérios PILARES 23
CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DO PROJETO EM ESTUDO	25
3.1	Introdução 25
3.2	Projeto arquitetônico 25
3.3	Concepção estrutural..... 28

3.3.1	Dados do edifício	28
3.3.2	Carregamentos vertical e de vento	29
3.3.3	Apresentação do modelo estrutural.....	31
CAPÍTULO IV – CRITÉRIOS ANÁLISE PÓRTICO ESPACIAL		35
4.1	Vigas	35
4.1.1	Consideração de seção T	35
4.1.2	Inércia para vigas sem rigidez à torção	36
4.1.3	Fator de engastamento parcial em vigas	37
4.2	Pilares.....	38
4.2.1	Majoração da rigidez axial para efeitos construtivos.....	38
4.2.2	Multiplicador da rigidez axial para efeitos construtivos.....	39
4.2.3	Pilares não-retangulares com eixos principais	40
4.3	Ligações viga-pilar	41
4.3.1	Flexibilização de ligações	41
4.3.2	Multiplicador de largura de apoio para coeficiente de mola (LEPMOL) .	43
4.3.3	Divisor de coeficiente de mola (REDMOL)	43
4.3.4	Offset-rígido.....	44
4.3.5	Separação de modelos para ELU e ELS	44
4.4	Não-linearidade física (Modelo ELU)	46
4.4.1	Não-linearidade física para vigas	46
4.4.2	Não-linearidade física para pilares.....	47
4.4.3	Não-linearidade física para lajes	48
4.5	Não-linearidade física (Modelo ELS).....	49
4.5.1	Não-linearidade física para lajes	49
4.6	Transferência de esforços	49
4.6.1	Transferência de força normal para vigas	49
4.6.2	Tolerância para transferência de forças das grelhas.....	50
4.6.3	Tolerância para transferência de momentos das grelhas.....	51
4.7	Estabilidade global.....	52
4.7.1	Cálculo do Gama-Z (γ_Z).....	52
4.7.2	Transferência dos esforços de 2º ordem (γ_Z)	54
CAPÍTULO V – ANÁLISE E RESULTADOS.....		56
5.1	Introdução.....	56
5.2	Análise das lajes	57

5.2.1	ELS das lajes	57
5.2.2	ELU das lajes	59
5.3	Análise das vigas	61
5.3.1	ELS das vigas	61
5.3.2	ELU das vigas	63
5.4	Análise das seções dos pilares	65
5.5	Análise do critério de flexibilização das ligações.....	69
5.5.1	Análise dos momentos fletores	72
5.5.2	Deslocamento horizontal.....	75
5.6	Análise do critério transferência dos esforços de 2º ordem (γZ)	79
CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES.....		82
6.1	Sugestões para Futuras Pesquisas	83

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A evolução da informática tem proporcionado cada vez mais o acesso a informações, com isso, novas tecnologias vêm surgindo de forma avassaladora no mercado, proporcionando maior rapidez e agilidade em processos antes feitos de forma manual. Como consequência os projetistas estão buscando se adaptar a tais ferramentas para a execução das atividades pertinentes à elaboração de um projeto.

Os projetos estruturais eram feitos apenas com o auxílio de enciclopédias para pesquisa, calculadora e réguas. Com isso, todos os cálculos e detalhamentos levavam meses para serem concluídos. No entanto, com o passar do tempo, foram desenvolvidos programas e ferramentas que substituíram a forma da execução de projetos, fazendo com que o tempo das atividades fossem minimizados drasticamente e a análise do comportamento das estruturas chegasse o mais próximo possível da realidade.

“Esse enorme avanço, ou melhor, revolução tecnológica, teve e tem um papel importantíssimo na Engenharia de Estruturas, influenciando de forma direta e significativa a maneira como os projetos estruturais de edifícios de concreto são hoje elaborados.” (KIMURA, 2018)

Tendo em vista todo esse avanço, a exigência do mercado de projetos estruturais vem crescendo bastante, sendo preciso cada vez mais profissionais qualificados que tenham o domínio de ferramentas inovadoras para melhor análise estrutural em um espaço de tempo reduzido. Todavia, é imprescindível que os *softwares* criados para o estudo das estruturas sejam regidos a partir de embasamentos teóricos do engenheiro responsável pelo projeto. Logo, o profissional deve sempre se atentar a normas e ter consigo os fundamentos básicos de estrutura. Segundo Kimura (2018), a utilização de *softwares* veio para aperfeiçoar a Engenharia das estruturas e não substituí-la.

1.2 Justificativa

Há muitos *softwares* disponíveis no mercado para a realização de análises e detalhamentos estruturais, dentre eles destaca-se o programa CAD/TQS®. Sabe-se ainda que a utilização adequada do programa e configuração adequada dos critérios a serem considerados

no projeto é de total responsabilidade do engenheiro. Diante disso, a pesquisa está pautada na necessidade do conhecimento, por parte dos projetistas, dos critérios de projeto relativos à análise estrutural dos pórticos pertencentes a um edifício. Com isso, permitirá o aprofundamento acerca dos critérios de projeto que devem ser definidos na etapa de concepção estrutural. Visto que as definições adequadas de tais critérios apresentam grande relevância nos resultados obtidos. Sendo então, a partir disso levantados e aprofundados conhecimentos na análise estrutural de um edifício.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Realizar o estudo dos critérios de projeto referente a análise de pórtico espacial, de forma que sejam utilizados os critérios de projeto mais apropriados, no desenvolvimento de um projeto estrutural de um edifício em concreto armado de múltiplos pavimentos, utilizando o programa TQS®.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Realizar um estudo bibliográfico sobre os critérios de projeto apresentados pelo programa TQS®;
- b) Estudar acerca dos critérios de projeto relativos à Análise de Pórtico Espacial;
- c) Fazer a modelagem estrutural do edifício que servirá como base para as análises a serem desenvolvidas, utilizando o programa TQS®;
- d) Realizar o processamento global apenas dos esforços e correções, utilizando os critérios de projeto adotados;
- e) Desenvolver uma análise local e global dos elementos estruturais quanto aos ELS e ELU, utilizando os critérios de projeto adotados;
- f) Realizar o processamento global dos esforços e armaduras, e suas correções;
- g) Elaborar uma análise de aplicação para dois critérios estudados referente ao pórtico espacial.

1.4 Metodologia

Para o desenvolvimento total do trabalho foram realizadas algumas etapas, de forma que no final fossem atendidos todos os objetivos propostos pelo trabalho. As etapas consistiram em:

- a) Pesquisar na literatura científica técnica, nas normas de projeto da Associação Brasileira de Normas Técnicas, como também nos próprios manuais e no site da empresa proprietária do programa TQS®, os fundamentos dos critérios de projeto, especificamente nos critérios de projeto referentes à análise de Pórticos Espaciais.
- b) Inserir no arquivo do edifício do projeto os critérios adequados, sendo todos os critérios adotados justificados para o caso em estudo.
- c) Realizar o processamento do edifício para a verificação dos “avisos leves e médios” e dos “erros”.
- d) Fazer os ajustes e correções de forma que sejam atendidos os avisos e erros.
- e) Realizar a análise dos deslocamentos e dos esforços dos elementos estruturais. ELS e ELU (local e global).
- f) Por fim, foi feita uma análise acerca da utilização dos critérios de projeto referente a flexibilização das ligações e a utilização do coeficiente Gama-z. Salientando que a escolha de aplicação dos mesmo se deu ao fato de que conforme os estudos, tais critérios poderiam apresentar mudanças significativas quando fosse alterado o valor *default* do programa.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 5 (cinco) capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, onde é apresentado todos os objetivos da pesquisa, as considerações iniciais e contextualização do trabalho, além da justificativa para a elaboração do mesmo.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, sendo apresentado autores com pesquisas relevantes ao tema, as etapas para o desenvolvimento de um projeto estrutural e a fundamentação teórica acerca dos critérios de projeto.

No capítulo 3, tem-se uma apresentação da arquitetura que servirá como base para o desenvolvimento da análise estrutural, que será utilizado para o estudo da aplicação dos critérios

de análise do Pórtico Espacial. Além disso, o capítulo apresenta um estudo inicial da concepção estrutural.

O capítulo 4 aborda o estudo aprofundado dos critérios de projeto referente a análise do pórtico espacial no programa TQS.

No capítulo 5 é apresentada a análise estrutural, local e global, dos deslocamentos e esforços nos elementos estruturais do edifício, em relação aos Estados Limites Último e de Utilização. Além disso, é feita a aplicação da alteração de dois critérios de projeto referente a análise do pórtico espacial.

No capítulo 6 tem-se as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentados as referências e o apêndice.

CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução

Este capítulo aborda a fundamentação teórica para a elaboração de um projeto estrutural no programa TQS utilizando os critérios de projeto mais adequados. Para isso, inicialmente são relatados alguns trabalhos já desenvolvidos sobre o assunto, visando um maior conhecimento sobre a utilização do *software* no desenvolvimento de projetos estruturais. Em sequência, é apresentado e detalhado todas as etapas que compõe a elaboração de um projeto estrutural. Por fim, é ressaltado a definição de critérios de projetos e sistematizado os critérios do programa TQS® que serão estudados.

2.2 Trabalhos desenvolvidos

Entre os assuntos pertinentes para a seleção de publicações referentes ao tema, diversas abordagens são apresentadas: trabalhos desenvolvidos acerca do *software* TQS®, análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado e edição de critérios de projeto.

2.2.1 CARVALHO, FIGUEIREDO, FURLAN (2000).

Salienta-se que as pesquisas relacionadas ao desenvolvimento de projetos estruturais com a utilização de softwares vieram com a revolução da era digital, onde começou a ser possível a análise e dimensionamento de estruturas de forma mais rápida e eficaz. Sendo então, importante o conhecimento dessa evolução dos sistemas operacionais para a realização de projetos estruturais.

Segundo Carvalho et al. (2000), as primeiras calculadoras portáteis surgiram na década de 70, fazendo com que a partir daí o cálculo estrutural ganhasse velocidade e precisão, na mesma época houve o surgimento de computadores e alguns programas de cálculo. Nesse sentido, Carvalho et al. (2000), destaca que:

“Juntamente com os computadores pessoais apareceram vários programas que serviam, inicialmente, para automatizar as operações de cálculo. Não se introduzia nenhuma melhoria no modelo de cálculo. A partir do uso sistemático de programas e seguindo a filosofia de que era necessário não apenas agilizar os procedimentos de cálculo, mas também possibilitar o seu refinamento e detalhamento, surgem as primeiras versões do SISTRUT® e TQS®, que ainda admitem, como no procedimento usual de análise, que a estrutura seja decomposta em elementos mais

simples (discretização), resolvendo cada um isoladamente e considerando a ação de um no outro (CARVALHO et al., 2000, p. 3). ”

Ainda segundo Carvalho et al. (2000) o emprego de programas de computadores no desenvolvimento dos projetos nas diversas áreas já é praticamente universal, sendo difícil encontrar uma empresa de projeto que não utilize recursos computacionais em suas tarefas. Entretanto, destacam que a utilização de sistemas operacionais na utilização de projetos estruturais, apresenta grande relevância, visto que há uma melhora no entendimento do comportamento estrutural. Além disso, os sistemas possibilitam a modelagem e simulação de resultados que permite uma maior análise crítica da estrutura.

2.2.2 ASSIS (2019).

Tendo em vista a importância dos programas computacionais para o desenvolvimento de projetos estruturais é importante o entendimento das etapas que compreendem o projeto. Além do entendimento das etapas é necessário compreender a interface do programa e a maneira como o mesmo funciona, dando ênfase também nos conhecimentos teóricos a respeito do concreto armado.

Assis (2019) apresentou um estudo do dimensionamento estrutural de uma edificação de 5 pavimentos em concreto armado utilizando o programa TQS®. Segundo Assis (2019), as etapas para realizar o estudo consistem em lançar as cargas atuantes em todos os elementos estruturais, processar o edifício no programa TQS e fazer as modificações necessárias de acordo com os erros encontrados e outras necessidades.

Ainda de acordo com Assis (2019), para o desenvolvimento do dimensionamento estrutural de uma edificação, a primeira etapa consiste na definição da estrutura a partir do projeto arquitetônico. Segundo a autora, essa etapa engloba a localização vigas, posição pilares e dimensões preliminares dos diversos elementos. “As primeiras definições são feitas de acordo com os vãos das lajes e vigas, altura do edifício, nº de pilares em cada direção. ” (ASSIS, 2019).

Assis (2019) destaca ainda que as fases seguintes para a elaboração do projeto a definição de quais materiais serão utilizados no edifício e o levantamento de cargas atuantes nos elementos estruturais da edificação, para que assim seja possível dar início no dimensionamento da estrutura com a utilização do software TQS®.

Para a realização do dimensionamento utilizando o sistema CAD/TQS, Assis (2019), destaca que os passos necessários são:

- a) Criar um novo edifício;
- b) Escolher a ABNT NBR 6118:2014 como a norma em uso;

- c) Adotar um modelo estrutural;
- d) Definir o número de pavimentos existentes e seus respectivos pés-direitos e modelo estrutural para cálculo de cada pavimento;
- e) Definir os materiais utilizados e cobrimentos;
- f) Adicionar a força do vento exercida na edificação;
- g) No editor gráfico lançar os pilares, vigas e lajes em todos os pavimentos;
- h) Lançar as cargas de alvenaria sobre as vigas, as cargas permanentes e acidentais sobre as lajes e as cargas de paredes sobre as lajes;
- i) Realizar o processamento global do edifício;
- j) Observar os erros e fazer a correção dos mesmos.

Como resultado do dimensionamento de uma edificação, Assis (2019), salienta em seu processamento alguns resultados que podem ser pertinentes no processamento de uma edificação. Desta forma, segundo Assis (2019), o primeiro ponto a destacar é que no processo de cálculo dos esforços de lajes por tabelas obtêm-se valores aproximados ao do TQS®, visto que no estudo em questão resolveu cada pavimento como grelhas de lajes planas.

Além disso, as vigas cuja dimensão da base são 12 cm, apresentam no estudo o seguinte erro: Número de ferros por camada inadequado. O TQS® sugere nesses casos aumentar a seção ou editar as armaduras para assumir apenas 1 ferro por camada. (ASSIS, 2019). Nesses casos, a autora apresenta como solução aumentar a base dessas vigas.

Quanto aos pilares, Assis (2019), destaca que o TQS® gera relatórios com os resultados obtidos. Tais relatórios possibilitam que o projetista faça uma análise do dimensionamento gerado pelo programa, possibilitando a redução da seção dos pilares, por exemplo, quando viável, para que assim seja possível fazer um refinamento afim de reduzir custos.

2.2.3 KRISTINER (2019).

Outro estudo a destacar, é o de Kristiner (2019), que fez uma análise comparativa com enfoque na estabilidade global de edifícios de múltiplos pavimentos utilizando o modelo IV e o modelo VI do software CAD/TQS. Kristiner (2019) desenvolveu dois modelos de edifícios com dez e vinte pavimentos cada, utilizando os modelos IV e VI, para posteriormente analisar os parâmetros de estabilidade global, a taxa de armadura dos edifícios processados, além do quantitativo de materiais em cada modelo.

Com base no estudo de Kristiner (2019), os modelos de cálculo IV e VI se diferenciam pelo fato de que no modelo IV é realizado o uso do sistema de pórtico espacial para vigas e pilares associado a um modelo de laje. Já no modelo VI é feito o uso do pórtico espacial que engloba em um único modelo pilares, vigas e lajes.

Como resultado das análises dos edifícios processados nos diferentes modelos do *software*, Kristiner (2019), ressalta que o modelo VI proporciona a redução do coeficiente da instabilidade global em modelos estruturais, que consideram a relevante influência da laje no recebimento de cargas horizontais. Já o modelo IV realiza a consideração da rigidez da laje de forma aproximada.

2.2.4 SILVEIRA (2009).

Há também vários estudos referentes a critérios de projeto específicos, dentre eles tem-se estudos sobre o modelo de grelhas. Entre esses estudos vigentes, destaca-se o de Silveira (2009), que aborda a análise de solicitações em modelos de grelha de viga de concreto armado.

Segundo Silveira (2009), nos cálculos de estruturas, normalmente utiliza-se a premissa de que uma viga apoiada sobre outra viga apresenta o apoio simples, ou seja, nesses casos tem-se que os deslocamentos são impedidos, permitindo apenas o giro. Diante disso, o trabalho propôs o critério da consideração da inércia à torção das vigas que apoiam outras vigas, através de modelos de grelha desenvolvidos. Visto que, a solução pode ser uma opção economicamente favorável, além de poder gerar uma distribuição mais uniforme nos diagramas de momentos fletores da viga apoiada.

De acordo com o estudo de Silveira (2009) a obtenção de um melhor desempenho da estrutura através da consideração de torções nas vigas em uma análise de grelhas, recomenda-se que alguns critérios sejam atendidos. Entre eles destaca-se que (SILVEIRA, 2009, p. 67):

- a) A consideração da inércia em análises de grelha só é viável economicamente se as vigas tiverem altura superior a 60cm;
- b) Para que a consideração da inércia seja econômica é importante evitar grandes vãos com cargas usuais de projeto;
- c) Os vãos ótimos para a consideração de torção são de ordem de 4 metros, para cargas usuais de edifícios comerciais e residenciais, sendo ideal que não ultrapasse os 6 metros.
- d) Em situações onde a torção das vigas suporte está em patamares mais baixos, a altura da viga pode ser reduzida, ou a base das vigas de borda aumentadas.
- e) Recomenda-se evitar que uma viga suporte apoie várias vigas intermediárias, quanto menos vigas se apoiarem, menor será o efeito de torção;
- f) Em situações onde as alturas das vigas estão limitadas pela arquitetura, o projetista pode utilizar o recurso da torção para reduzir a seção das vigas apoiadas sem aumentar a flecha [...]

Além dos trabalhos condizentes ao assunto estudado, outros materiais pesquisados de grande relevância para o presente trabalho são os manuais e documentos fornecidos pelo TQS®.

Tais manuais apresentam de forma clara e objetiva toda a interface do programa e os sistemas que constituem o *software*, permitindo ao leitor maior facilidade no desenvolvimento de atividades do projeto. Além disso, descreve os critérios de projeto existentes em todos os sistemas, de forma que o projetista estrutural adote os mais adequados para o desenvolvimento do projeto.

2.3 Etapas de um projeto estrutural

2.3.1 Concepção estrutural

A concepção estrutural consiste na escolha de um sistema estrutural que funcione como a parte resistente do edifício, ou seja, é um lançamento da estrutura (PINHEIRO, 2003).

Segundo o mesmo autor, esta etapa é uma das mais importantes do projeto estrutural, visto que consiste na escolha dos elementos a serem adotados. Desta forma, o posicionamento e a escolha dos elementos estruturais corretos formam um sistema estrutural eficiente capaz de transmitir os esforços da superestrutura para a fundação.

“A concepção estrutural deve levar em conta a finalidade da edificação e atender, tanto quanto possível, às condições impostas pela arquitetura. O projeto arquitetônico representa, de fato, a base para a elaboração do projeto estrutural. Este deve prever o posicionamento dos elementos de forma a respeitar a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos. Evidentemente, a estrutura deve também ser coerente com as características do solo no qual ela se apóia. (ALVA, 2007, p. 1). ”

Sendo assim, tem-se que na maioria dos casos, o projetista estrutural ao iniciar um projeto tem como base as limitações impostas pela arquitetura para definir uma concepção estrutural. Dentre essas limitações, têm-se a verticalidade da arquitetura, o caráter quantitativo da mesma, ou seja, as dimensões impostas pelo projeto arquitetônico, bem como disposições dos ambientes. Com isso, para cada projeto cabe ao engenheiro estrutural procurar a melhor solução para conceber uma estrutura que atenda aos requisitos impostos.

Vale ressaltar que nesta etapa é de suma importância que haja uma compatibilidade com os demais projetos como instalações hidráulicas, elétricas, ar condicionado central, cabo e internet, etc. Tal compatibilidade garante que haja uma maior eficiência entre os projetos, para que atenda requisitos básicos de desempenho, durabilidade, segurança e economia.

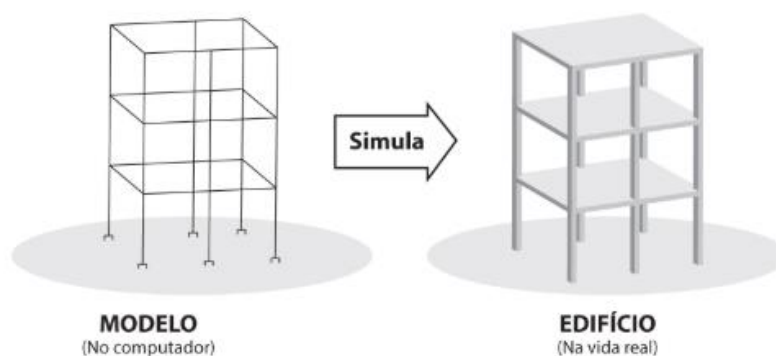
Salienta-se que durante todas as etapas de um projeto estrutural, desde a concepção, devem ser atendidos os requisitos da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 6118:2014 - Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.

2.3.2 Modelo estrutural

O modelo estrutural é a fase do projeto onde é incorporado todas as teorias e hipóteses que descrevem o comportamento da estrutura diante as solicitações atuantes. Ou seja, tem-se que na fase da modelagem é feita uma simulação da estrutura. Tem-se ainda que as hipóteses para a elaboração da modelagem são pensadas de acordo com: as leis físicas, como exemplo, o equilíbrio entre as forças e entre tensões, com a compatibilidade entre deslocamentos e deformações, como também com as características dos materiais que compõe a estrutura da edificação (MARTHA, 2017).

Devido aos grandes avanços tecnológicos, hoje o projetista estrutural dispõe-se de várias ferramentas e *softwares* para o auxílio de uma modelagem estrutural mais eficiente. Com isso, Kimura (2018), destaca que toda análise estrutural de um edifício realizada num computador é baseada na adoção de um certo modelo estrutural (ou modelo numérico). Sendo assim, conforme retratado na Figura 2.1, para Kimura a modelagem computacional trata-se de um protótipo que procura simular um edifício real no computador.

Figura 2.1 — Simulação modelo estrutural.



Fonte: KIMURA, 2018.

Destaca-se assim que a modelagem computacional, permite que o projetista tenha um modelo bem próximo da realidade, possibilitando maiores análises em um curto período de

tempo. Todavia, cabe sempre ao engenheiro projetista tomar as diretrizes baseada em uma fundamentação teórica para a utilização dos *softwares*.

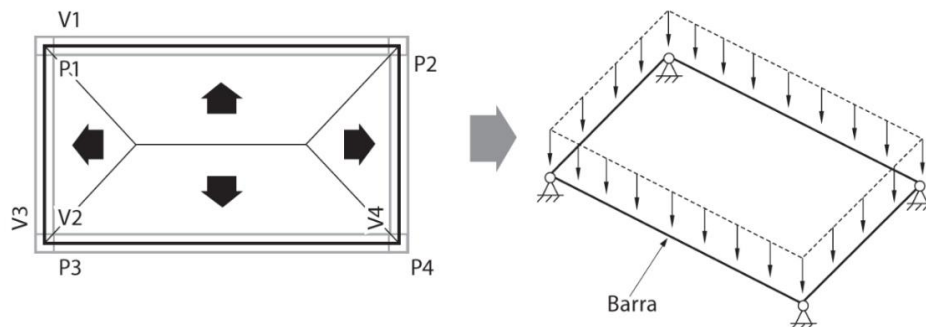
A análise estrutural de edifícios usuais de concreto armado é baseada principalmente na combinação de dois modelos: grelhas de lajes e vigas e pórtico espacial. Os modelos de grelhas são utilizados para simular o pavimento do edifício, já o de pórtico espacial simula o edifício de forma global (KIMURA, 2018).

2.3.2.1 Modelo de grelhas

O modelo de grelhas é composto por 2 (dois) modelos usuais: grelhas somente de vigas e grelhas de lajes e vigas.

O modelo de grelhas somente de vigas é utilizado em pavimentos onde não existem lajes e onde as lajes são calculadas como dissociadas nas vigas, como exemplo, nos pavimentos de vigas baldrame. Em suma, esse modelo é direcionado para a análise estrutural de um pavimento, onde é considerado a ação de todas as vigas. Nesse modelo os pilares são representados por apoios simples. A Figura 2.2 representa o modelo de grelhas somente de vigas (KIMURA, 2018).

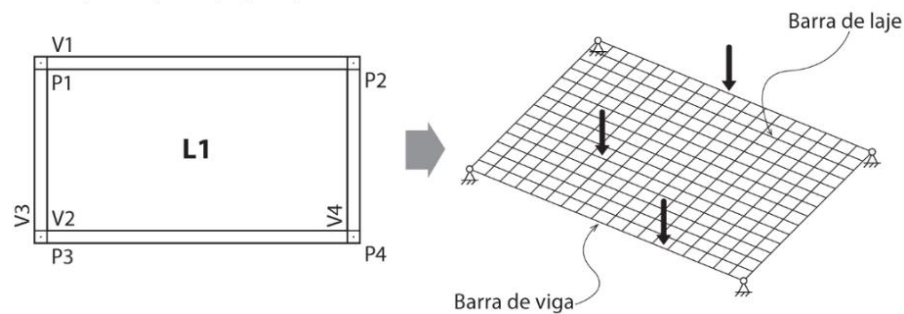
Figura 2.2 — Modelo grelhas somente vigas.



Fonte: KIMURA, 2018.

Já o modelo de grelhas de vigas e lajes é composto de elementos lineares dispostos no plano horizontal do piso que simulam as vigas e as lajes. Esses elementos lineares formam uma malha de barras submetida a cargas verticais, conforme mostra a Figura 2.3. Assim como no modelo de grelhas somente de vigas, nesse modelo os pilares também são representados por apoios simples (KIMURA, 2018).

Figura 2.3 — Modelo grelhas vigas + lajes.



Fonte: KIMURA, 2018.

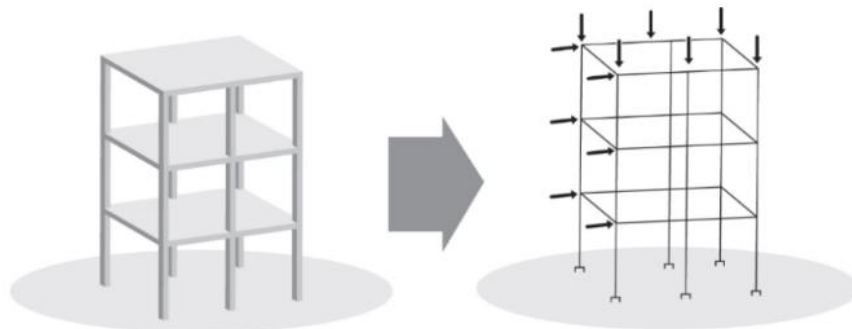
De forma geral, Kimura (2018) destaca que o modelo de grelha é utilizado na modelagem de cada pavimento que compõe a edificação, sendo possível por meio deste modelo o cálculo de esforços e deslocamentos nas lajes e vigas provocados da atuação das cargas verticais.

2.3.2.2 Modelo de pórtico espacial

O modelo de pórtico espacial consiste num modelo tridimensional do edifício, esse modelo é composto de barras que representam todos os pilares e vigas, permitindo uma avaliação bastante completa e eficiente do comportamento global da estrutura (KIMURA, 2018).

Kimura (2018) destaca que o modelo de pórtico espacial é empregado na análise do edifício como um todo, sendo possível o cálculo de deslocamentos e esforços nas vigas e pilares provocados da atuação das cargas verticais e horizontais. A Figura 2.4 representa o modelo de pórtico espacial.

Figura 2.4 — Modelo de Pórtico espacial.



Fonte: KIMURA, 2018.

2.3.3 Análise estrutural

A análise estrutural consiste na etapa do projeto onde é feita a avaliação da resposta da estrutura diante das ações aplicadas sobre a mesma. Ou seja, consiste no cálculo e análise dos deslocamentos e dos esforços solicitantes nas lajes, vigas, e pilares do edifício. Vale ressaltar que a análise da viga é feita após a correção/ajuste e processamento das lajes, assim como os pilares somente são analisados após o ajuste e processamento das vigas. Logo, essa etapa da elaboração do projeto estrutural é uma das mais importantes, visto que com os resultados das análises que o dimensionamento e o detalhamento dos elementos são realizados, como também a avaliação do comportamento do edifício (KIMURA, 2018).

Nesse sentido, de acordo com Kimura (2018), análise estrutural é uma etapa onde os efeitos das ações ou cargas sobre a estrutura são calculados, ou seja, calculam-se os deslocamentos e esforços solicitantes por meio de um modelo que simule a estrutura de forma real.

Além disso, na análise estrutural também se avalia o comportamento global do edifício quanto a resistência e à estabilidade (ELU por instabilidade) como também ao desaprumo global (ELS deformação).

Conforme a norma brasileira ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), nos estados limites últimos (ELU) a segurança da estrutura de concreto deve ser validada através do estado limite ultimo da perda de equilíbrio da estrutura, do esgotamento da capacidade resistente da estrutura, das solicitações dinâmicas, do colapso progressivo, bem como dos estados limites últimos que podem ocorrer em casos espaciais. Já os estados limites de serviço são relacionados com a durabilidade das estruturas, aparência, conforto e boa utilização funcional da edificação.

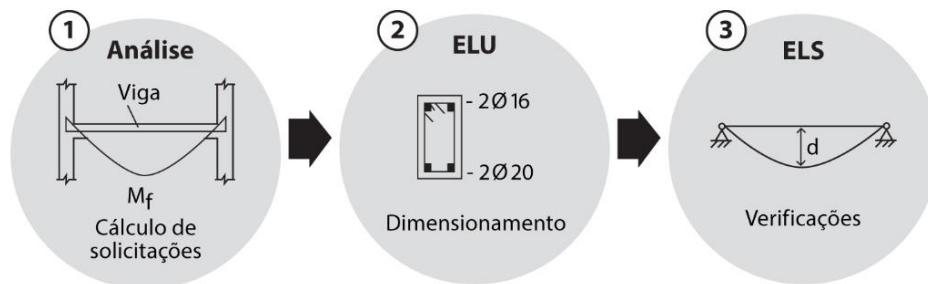
Na norma brasileira ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014) é enfatizado que toda análise de estrutura deve partir de um modelo estrutural adequado ao objetivo da análise. Sendo assim, o modelo deve ser feito de forma que componha os elementos estruturais básicos e formem sistemas resistentes, que representem com clareza todos os caminhos percorridos pelas ações até os apoios da estrutura.

Ainda segundo a norma brasileira ABNT NBR 6118 (ABNT, 2014), a análise estrutural apresenta como objetivo a determinação dos efeitos das ações em uma estrutura, para a validação dos estados-limites últimos e de serviço.

Em geral, tem-se que em projetos de estruturas de concreto armado os estados-limite são utilizados de forma que inicialmente é feito a análise estrutural do edifício, sendo nessa

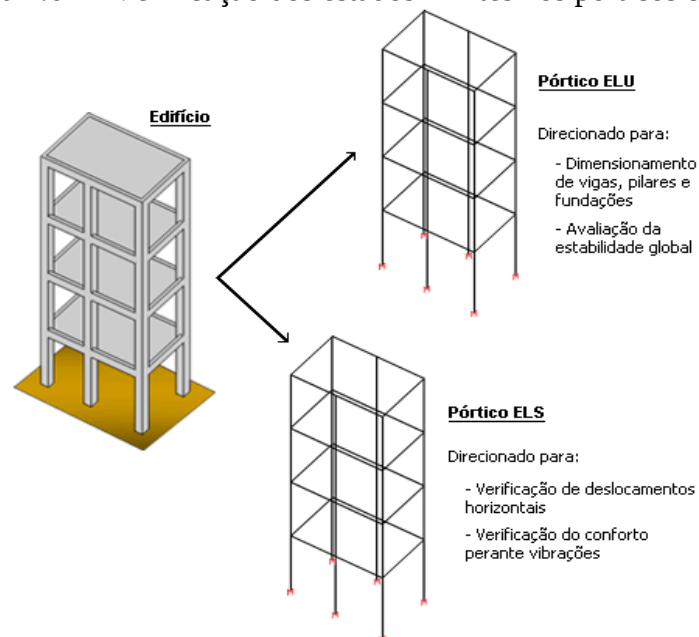
etapa realizado o cálculo dos esforços atuantes nos elementos estruturais. Posteriormente, é feito o dimensionamento das armaduras dos elementos, atendendo à segurança no estado-limite último. Normalmente o ELS por deformação excessiva (flecha) é mais crítico que o ELU (ruptura), portanto, normalmente é verificado primeiramente (KIMURA, 2018). A Figura 2.5 e 2.6 apresentam, respectivamente, a finalidade dos estados-limites na análise de um elemento estrutural (viga) e a simulação dos estados-limites no pórtico espacial.

Figura 2.5 — Verificação dos estados-limites em um elemento estrutural (viga).



Fonte: KIMURA, 2018.

Figura 2.6 — Verificação dos estados-limites nos pórticos espaciais.



Fonte: Manual TQS.

2.3.4 Dimensionamento e detalhamento

O dimensionamento e detalhamento consiste na parte do projeto onde são definidas as armaduras necessárias para os elementos estruturais. Salienta-se que essa etapa é feita com base

nas solicitações dos esforços atuantes nos elementos, de forma que os mesmos atendam todos os requisitos de segurança impostos pela norma brasileira ABNT NBR 6118 (KIMURA, 2018).

Tem-se no sistema CAD/TQS® o dimensionamento é feito com base na realização de algumas etapas. Em suma o processo consiste inicialmente na criação de base de dados do edifício, para que assim seja realizado o lançamento das informações geométricas através do modelador estrutural, como também o lançamento das informações sobre o carregamento. Em seguida deve-se definir os critérios de projeto e a geração dos modelos de pórtico espacial e grelha. Sendo assim, com a geração do modelo é possível a análise de resultados do dimensionamento dos elementos estruturais. Por fim, após o dimensionamento é possível o detalhamento dos elementos (TQS, 2015).

2.3.5 Emissão das pranchas

A emissão das pranchas é a fase final da elaboração do projeto, ou seja, é o produto final que permite a execução da estrutura na obra. As pranchas devem apresentar de forma organizada todos os desenhos necessários para a execução, como plantas de locação dos pilares, plantas de formas e todos os detalhamentos necessários. Além disso, é imprescindível que sejam disponibilizadas notas no projeto com todas as especificações da execução e dos materiais, como também legendas que facilite o entendimento do projeto.

2.4 Critérios de projeto

Para a elaboração do projeto estrutural de um edifício utilizando programas computacionais comerciais, é necessário a edição de um conjunto de parâmetros que controlam a definição das formas, a geração e análise dos modelos numéricos, o dimensionamento e detalhamento das armaduras, a geração de desenhos etc. Esses parâmetros são denominados Critérios de Projeto (TQS, 2015).

O programa TQS® possui diversos critérios de cálculo e dimensionamento que permitem ao engenheiro escolher, por exemplo, o espaçamento das barras da grelha, o cálculo de flexão composta normal nas lajes, o modelo de cálculo de cortante nas vigas, etc. Enfim, cada detalhe do modo de cálculo pode ser alterado pelo engenheiro estrutural (TQS, 2015).

Kimura (2018) ainda ressalva que por meio dos critérios de projeto é possível que o engenheiro controle o funcionamento do software, sendo possível a otimização do projeto. O

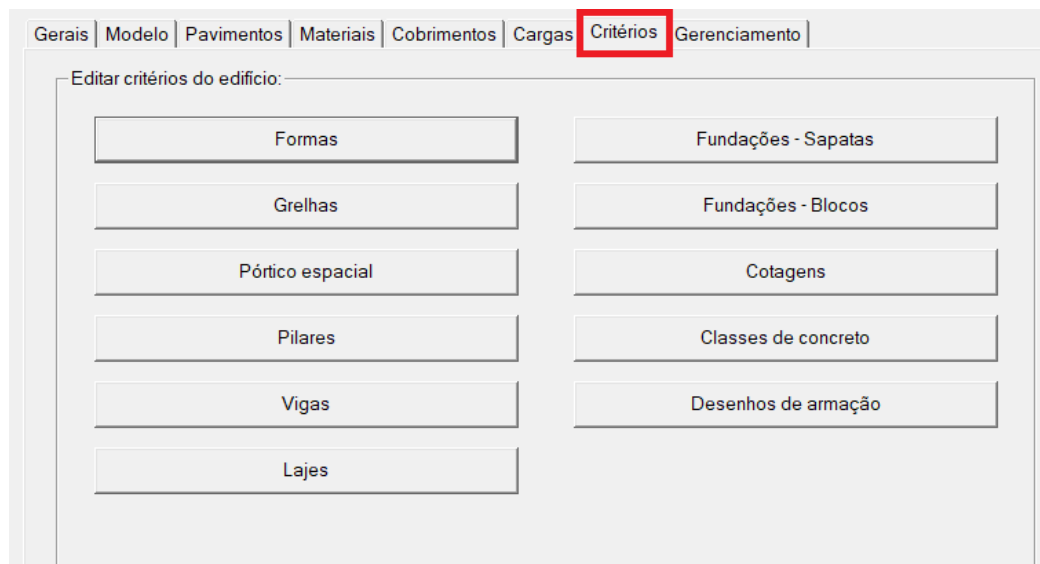
autor enfatiza que quanto mais critérios forem disponíveis no *software* maior é a autonomia do projetista durante o uso do sistema computacional.

Dessa forma, tem-se que os critérios de projeto nada mais são do que os parâmetros necessários para que o projeto seja desenvolvido de forma que garanta a segurança do edifício como também fatores como economia, sendo responsabilidade do projetista a configuração adequada dos mesmos de acordo com as características do edifício.

Tem-se que os critérios de projetos existentes no software são descritos conforme os sistemas presentes no CAD/TQS®. Diante disso, o programa apresenta critérios específicos para FORMAS, LAJES, VIGAS, PILARES, GRELHAS e PÓRTICOS.

Salienta-se ainda que os critérios de projeto disponíveis pelo sistema CAD/TQS®, podem ser definidos pelo engenheiro de forma que fiquem registrados nos arquivos utilizados por todos projetos criados, sendo critérios gerais nos escritórios de projeto. Com também podem ser do tipo de critério que precisam ser revistos frequentemente, de acordo com a característica de cada novo projeto (TQS, 2015). A Figura 2.7 apresenta a listagem de critérios disponíveis no programa TQS®.

Figura 2.7 — Listagem critérios de projeto do TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

No APÊNDICE A encontram-se os quadros com os critérios *default* do programa para formas, grelhas, lajes, vigas e pilares;

2.4.1 Listagem critérios de projeto FORMAS

Os critérios relativos ao projeto de formas dividem-se em algumas categorias, existindo critérios quanto a geometria, as cargas, vigas, pilares, lajes, escadas e instalações. De forma geral, esses critérios servem como parâmetros para a modelagem estrutural.

2.4.2 Listagem critérios GRELHAS

Os critérios de grelhas podem ser divididos em dois tipos distintos, que são os critérios gerais e os critérios quanto ao tipo de laje. Nos critérios gerais tem-se que são definidos os parâmetros comuns a todos os tipos de laje e as inércias das vigas. Já nos critérios por tipo de laje, são estabelecidos parâmetros para cada tipo de laje de maneira distinta, podendo as lajes serem planas, nervuradas, etc. Além disso, nos critérios de grelha específicos para cada tipo de laje tem-se que pode ser definido como o modelo de grelha será gerado, quais são os valores mínimos para discretização, as características dos apoios, plastificações, características da malha, etc (TQS, 2015).

2.4.3 Listagem critérios PÓRTICO ESPACIAL

Os critérios de projeto de pórtico espacial contêm os parâmetros gerais que são utilizados na modelagem do pórtico espacial. Além disso, são estabelecidos critérios específicos para os elementos estruturais, que são as vigas e pilares. Nos critérios de pórtico espacial são listados também parâmetros quanto a estabilidade global do edifício, ao desaprumo global, ao Estado limite de serviço e Estado limite último, a ação do vento no pórtico, etc. A listagem dos critérios de pórticos espacial está disposta do Quadro 2.1 ao 2.14

Quadro 2.1 — Critérios pórtico espacial quanto ao MODELO

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - MODELO	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Peso específico concreto	2,5 tf/m ³
Considera deformação por força cortante	Não
Módulo de elasticidade	Secante majorado em 10% ($E_{cs} * 1.1$)
Separa modelos p/ ELU e ELS	Sim
Norma de ações	NBR-8681

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.2 — Critérios pórtico espacial quanto às VIGAS

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - VIGAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
SEÇÃO T	Resistência característica à compressão	$f_{ck} = 2500 \text{ tf/m}^2$
TORÇÃO	Divisor p/ vigas SEM predominância de torção	$I = I_t / 100$
	Divisor p/ vigas COM predominância de torção	$I = I_t / 1$
RIGIDEZ LATERAL	Considera rigidez lateral alta	Em vigas com laje
	Valor da rigidez lateral alta	Valor fixo
	Multiplicador da rigidez lateral	100000
	Valor fixo da rigidez lateral	10 m4
ENGASTE PARCIAL	Fator de engastamento parcial [ENGVIG]	1
VIGAS-FAIXA	Divisor de inércia à flexão	$I = I_c / 1$
ESFORÇOS AXIAIS	Transferência de esforços axiais	Sim
TRANSFERÊNCIA GRELHA-PÓRTICO	Tolerância p/ forças	0 tf
	Tolerância p/ momentos fletores	0 tf.m

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.3 — Critérios pórtico espacial quanto aos PILARES

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - PILARES		
	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
EIXOS PRINCIPAIS	Pilares genéricos c/ eixos principais	Calcula eixos principais
RIGIDEZ AXIAL DE PILARES	Majora rigidez axial	Sim, área multiplicada por MULAXI
	Fator de aumento da rigidez axial dos pilares [MULAXI]	3
	Eliminar MULAXI em carregamentos c/ vigas de transição c/ inércia normal	Não
	Multiplicador da rigidez axial de pilares de compatibilização	0,1
MOLAS NA FUNDAÇÃO	Coeficiente de mola à rotação X	0
	Coeficiente de mola à rotação Y	0
	Coeficiente de mola à rotação Z	50000
	Coeficiente de mola à translação X	50000
	Coeficiente de mola à translação Y	50000
	Coeficiente de mola à translação Z	0
NÚCLEOS RÍGIDOS	Comprimento mínimo da faixa	30 cm
	Comprimento máximo da faixa	100 cm
	Comprimento máximo em larguras de faixa	5
	Número mínimo de faixas por lâmina	1

(continua)

(conclusão)

	Divisor de inércia à torção laminar	2
PILAR DISCRETIZADO	Multiplicador de I_y das barras horizontais	1
	Número de divisões verticais da discretização	5

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.4 — Critérios pórtico espacial quanto às LIGAÇÕES

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - LIGAÇÕES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
TRECHOS RÍGIDOS	Simulação dos trechos rígidos	Offsets rígidos
FLEXIBILIZAÇÃO	Flexibiliza ligações viga-pilar	Sim
	Divisor do coeficiente de mola [REDMOL]	1
	Multiplicador da largura da viga [LEPMOL]	1,5

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.5 — Critérios pórtico espacial quanto à NÃO-LINEARIDADE FÍSICA

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - NLF		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ELU	Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas	0,4
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares	0,8
	Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes	0,3
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares parede	0,8
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares parede fissurados	0,8
	Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas protendidas	0
	Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes protendidas	0
ELS	Coeficiente de NLF p/ lajes (p/ Modelo VI)	1
	Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas	1
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares	1
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares parede	1
	Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares parede fissurados	1

(continua)

(conclusão)

	Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas protendidas	1
	Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes protendidas	1

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.6 — Critérios pórtico espacial quanto à ESTABILIDADE GLOBAL

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – ESTABILIDADE GLOBAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CÁLCULO DE GAMAZ	Valores dos esforços	Esforços de cálculo
	Número mínimo de pisos p/ aplicação de γz	4
	Coeficiente de não-linearidade física [COELNF]	1
	Cargas verticais p/ cálculo de momentos de 2ª ordem	Total
TRANSFERÊNCIA DE ESFORÇOS	Considera γz na transferência	Sim
	Multiplicador de γz	0,95
	Valor mínimo de γz	1,1
	Valor máximo de γz	1,3
DESLOCAMENTO DE CARGAS VERTICAIS	Considera deslocamentos horizontais das cargas verticais	Sim
	Fator de redução dos desloc. por peso próprio	0,5
	Fator de redução dos desloc. por carga permanente	0,75
CLASSIFICAÇÃO	Índice p/ classificar a deslocabilidade da estrutura	FAVt
	Valor máximo de referência p/ considerar deslocabilidade	1,1
LAJES PLANAS	Transfere esforços p/ carregamento vertical	Não

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.7 — Critérios pórtico espacial quanto ao DESAPRUMO GLOBAL

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – DESAPRUMO GLOBAL	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Norma p/ cálculo das imperfeições globais	NBR 6118:2014
Razão mínima quando desaprumo preponderante	$\theta_{1\min} = 1 / 300$
Número de prumadas p/ cálculo do ângulo θ_a	$n = 1$

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.8 — Critérios pórtico espacial quanto ao ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – ELS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
DESLOCAMENTOS LIMITES	Deslocamento vertical	L / 250
	Deslocamento horizontal	H / 1700
	Deslocamento horizontal entre pisos	H _i / 850
NORMA	Norma p/ verificação de deslocamentos	NBR 6118
CARGAS VERTICAIS	Verifica desloc. horizontais c/ cargas verticais	Não
P-DELTA	Calcula modelo ELS c/ P-Delta	Não

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.9 — Critérios pórtico espacial quanto ao P-DELTA

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL P-DELTA		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CONVERGÊNCIA	Número máximo de iterações	50
	Tolerância relativa	0,001
ANÁLISE EM DOIS PASSOS	Calcula efeito P-Delta em dois passos	Sim
	Multiplicador da rigidez axial de pilares	1
	Considera os deslocamentos horizontais por carregamentos verticais	Não
PÓS-ANÁLISE	Multiplicador de esforços pós-análise	1

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.10 — Critérios pórtico espacial quanto ao VENTO

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – VENTO	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Corrige momentos torsores de túnel de vento	Sim
Considera lajes s/ vigas na área sujeita a vento	Sim
Norma para cálculo de vento	NBR6123

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.11 — Critérios pórtico espacial quanto à NÃO-LINEARIDADE FÍSICA GEOMÉTRICA

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL - NLFG		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
DISCRETIZAÇÃO	Comprimento máximo de barra de viga	0 m
	Comprimento máximo de barra de pilar	0 m

(continua)

(conclusão)

COMBINAÇÕES	Combinações analisadas	Todas ELU1 e ELU2
NLF	Calcula EI a partir da relação $Mx1/r$	Nas vigas e pilares
	Combinação p/ cálculo de rigidez	Calcular EI p/ cada combinação
	Rigidez pela reta ou curva	Rigidez pela curva oblíqua
	Ponderador de rigidez p/ viga	0
	Ponderador de rigidez p/ pilar	0
NLG	Considera não-linearidade geométrica	Sim
PISOS ANALISADOS	Piso inicial	-1
	Piso final	-1
IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS	Considera imperfeições geométricas	Sim
	Verifica $M1d,min$	Sim
FLUÊNCIA	Coefficiente de fluência	$\varphi = 0$
VERIFICAÇÃO ELU	Verificação de ruptura à flexão oblíqua	Sim

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.12 — Critérios pórtico espacial quanto ao MODELO VI

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – MODELO VI	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Manter arquivos p/ re-análise estrutural	Sim

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.13 — Critérios pórtico espacial quanto à PRECISÃO DE RESULTADOS

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – PRECISÃO DE RESULTADOS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Valor mínimo da somatória de força externa a ser considerada p/ verificação	0,5 tf
Máxima diferença entre a somatória de forças externas e as reações	2 %

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

Quadro 2.14 — Critérios pórtico espacial quanto à LISTAGEM

CRITÉRIOS PÓRTICO ESPACIAL – LISTAGEM	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Lista entrada de dados	Não
Lista resultados nodais	Não

(continua)

(conclusão)

Lista resultados em barras	Não
Lista reações de apoio	Sim

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

2.4.4 Listagem critérios LAJES

Nos critérios de projeto de lajes, são designados parâmetros necessários para dimensionamento e detalhamento das lajes, sendo especificados critérios para lajes nervuradas, treliçadas, maciças e etc. Além disso, os critérios de projeto das lajes apresentam critérios específicos para o detalhamento e dimensionamento de acordo com o esforço atuante, podendo ser punção, cisalhamento e flexão. Salienta-se ainda, que nesses critérios são definidos os materiais e armadura existentes para cada tipo de detalhamento.

2.4.5 Listagem critérios VIGAS

Nos critérios de projeto de vigas são listados os critérios necessários para o dimensionamento e detalhamento das vigas do edifício. Para o dimensionamento das vigas existem parâmetros quanto a cada tipo de esforço atuante, como torção, flexão e cisalhamento. Além disso, nos critérios de projeto de vigas são definidos parâmetros quanto às armaduras existentes para o detalhamento, à disposição das barras, aos espaçamentos entre as barras, ancoragem das armaduras, ao tipo de estribos, etc. Salienta-se também que nas vigas são definidos critérios quando a fissuração, às flechas, ao dimensionamento e detalhamento em caso que há furos presentes nas vigas.

2.4.6 Listagem critérios PILARES

Assim como nos critérios dos outros elementos estruturais, os critérios de projeto dos pilares também apresentam parâmetros necessários para o dimensionamento e detalhamento do elemento. Nos critérios de projeto dos pilares são apresentados alguns critérios quanto aos esforços atuantes no pilar para a realização apropriada do dimensionamento. Com isso, são estabelecidos, por exemplo, critérios de esforços quanto às imperfeições geométricas e aos efeitos de segunda ordem. Além disso, nos pilares são definidos critérios relacionados às verificações de dimensionamento e ponderadores.

Quanto ao detalhamento os critérios de projeto dos pilares apresentam parâmetros relacionados as armaduras longitudinais e transversais, sendo então definidos os arranques, traspases das armaduras, etc.

CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO DO PROJETO EM ESTUDO

3.1 Introdução

Este capítulo aborda o desenvolvimento inicial do projeto estrutural em estudo. Sendo apresentado o projeto arquitetônico que servirá como base para a concepção estrutural, os dados gerais do edifício, as cargas atuantes, como também a modelagem estrutural.

3.2 Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico do edifício em estudo foi cedido pelo Co-orientador, Engenheiro Civil Matheus de Oliveira Soares. O edifício é composto por pavimento térreo, 3 (três) pavimentos tipo, cobertura e reservatório superior. Salienta-se ainda que o edifício possui finalidade residencial, sendo então utilizados parâmetros que atendam a finalidade do mesmo.

O pavimento térreo é semelhante ao tipo, não possuindo vagas de garagem, visto que as vagas de garagem estão dispostas em uma área ao redor da edificação. Tanto o pavimento térreo quanto o pavimento tipo, possuem 6 (seis) apartamentos por andar, sendo 2 (dois) modelos distintos de apartamento. O primeiro modelo de apartamento compõe 2 (dois) apartamentos do andar, possuindo uma área total de 73 m², o apartamento é composto por 1 (uma) suíte, 2 (dois) quartos, 1 (um) banheiro social, 1 (uma) sala, 1 (uma) cozinha/área de serviço, 1 (uma) laje técnica e 1 (uma) varanda. Já o segundo modelo de apartamento compõe 4 (quatro) apartamentos do andar, cuja área é de 64 m², sendo composto por 1 (uma) suíte, 1 (um) quarto, 1 (um) banheiro social, 1 (uma) sala, 1 (uma) cozinha/área de serviço, 1 (uma) laje técnica e 1 (uma) varanda.

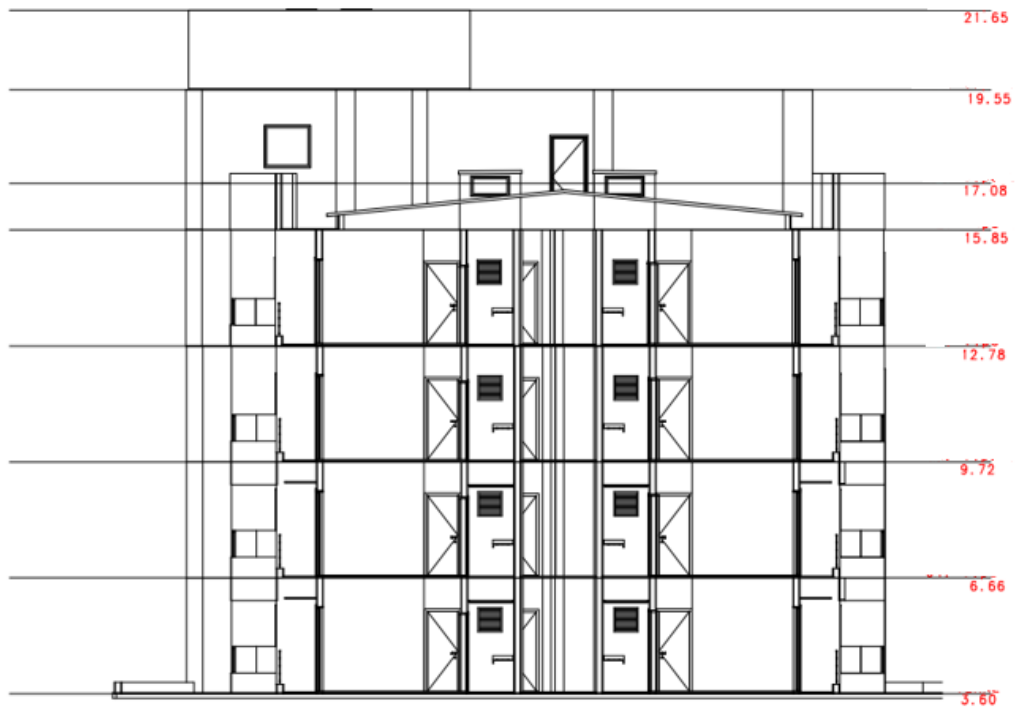
O acesso aos pavimentos é dado pela escada e elevadores, sendo 1 (um) elevador de serviço e o outro elevador social. A planta arquitetônica comum ao pavimento térreo e ao pavimento tipo é mostrada na Figura 3.1, sendo também apresentado os cortes do edifício nas Figuras 3.2 e 3.3.

Figura 3.1 — Planta arquitetura tipo.



Fonte: Projeto cedido pelo Co-orientador.

Figura 3.2 — Corte A arquitetura.



Fonte: Projeto cedido pelo Co-orientador.

Figura 3.3 — Corte B arquitetura.



Fonte: Projeto cedido pelo Co-orientador.

Tem-se ainda que o edifício apresenta paredes com espessura acabada de 17 cm, sendo considerado 1,5 cm de revestimento interno e externo, composto por chapisco, emboço e reboco. Já as paredes das áreas molháveis apresentam espessura acabada de 18,5 cm, devido a consideração da placa cerâmica. Logo tem-se que os blocos utilizados para a vedação são os blocos cerâmicos furado, cuja dimensões são 14x19x39 cm. Os pesos específicos das paredes são listados na Tabela 3.1 e Tabela 3.2.

Tabela 3.1 — Dados gerais parede tipo.

Parede tipo	Interno	Centro	Externo
Material	Argamassa	Alvenaria	Argamassa
Peso específico (tf/m ³)	1,9	1,3	1,9
Espessura (m)	0,015	0,14	0,015
Espessura total parede (m)	0,17		
Pé direito (m)	3,06		
Carga linear (tf/m)	0,70		

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3.2 — Dados gerais parede áreas molhadas.

Parede tipo	Interno	Centro	Externo	
Material	Argamassa	Alvenaria	Argamassa	Revestimento
Peso específico (tf/m ³)	1,9	1,3	1,9	2,1

(continua)

(conclusão)

Espessura (m)	0,015	0,14	0,015	0,015
Espessura total parede (m)	0,185			
Pé direito (m)	3,06			
Carga linear (tf/m)	0,79			

Fonte: Autoria Própria.

3.3 Concepção estrutural

A elaboração da concepção estrutural é realizada com base nas características da arquitetura, para isso algumas considerações são de suma importância para o desenvolvimento do projeto, como as características básicas do edifício e ações atuantes. Sendo possível a partir disso a elaboração da modelagem estrutural adequada.

3.3.1 Dados do edifício

Para a elaboração da concepção estrutural em estudo foi considerado inicialmente um concreto um concreto da classe C30. Além disso, a classe de agressividade ambiental adotada foi do tipo II, considerada moderada.

Os cobrimentos foram adotados de acordo com a norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014). O programa TQS[®] apresenta em sua interface os valores dos cobrimentos já adotados pela norma de acordo com cada classe de agressividade, logo tem-se que os valores de cobrimentos para os elementos estruturais são listados na Figura 3.4.

Figura 3.4 — Cobrimentos adotados.

Gerais	Modelo	Pavimentos	Materiais	Cobrimentos	Cargas	Crítérios
Cobrimentos em cm						
		Inferior	Superior	Diferença secundária		
Lajes em geral		2,5	2,5	1	1	
Lajes protendidas		3	3	1		
Vigas		3				
Pilares		3				
Fundações		3			1	

Fonte: CAD/TQS[®].

Além, disso tem-se que em todos os pavimentos foi considerado o modelo de grelhas de lajes planas, com exceção do pavimento térreo onde considerou-se o modelo de grelhas somente vigas.

3.3.2 Carregamentos vertical e de vento

As cargas verticais adotadas no projeto foram definidas conforme especificações da norma brasileira NBR 6120 (ABNT, 2019). Sendo consideradas ações permanentes separadas das acidentais na estrutura, assim como oferece o programa. As Tabelas 3.3, 3.4 e 3.5 apresentam os carregamentos lineares, concentrados e por área, respectivamente, atuantes na estrutura.

Tabela 3.3 — Carregamentos lineares (paredes).

Carregamento linear (paredes)	Carga (tf/m)
Parede geral	0,70
Parede áreas molhadas	0,79
Parede platibanda	0,39
Parede cobertura	0,96
Parede reservatório	0,54

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3.4 — Carregamentos concentrados.

Carregamento concentrado	Carga (tf)
Vigas de apoio elevador	0,5
Viga entre as caixas do elevador	1

Fonte: Autoria Própria.

Tabela 3.5 — Carregamentos por área (lajes).

Carregamento por área (lajes)	Carga (tf/m²)
Carregamento permanente lajes tipo	0,20
Carregamento acidental lajes tipo	0,15
Carregamento permanente lajes cobertura	0,20
Carregamento acidental lajes cobertura	0,20
Carregamento permanente lajes escada	0,20
Carregamento acidental lajes escada	0,25
Carregamento permanente lajes hall	0,20
Carregamento acidental lajes hall	0,30
Carregamento permanente lajes casa de máquinas	0,20

(continua)

(conclusão)

Carregamento acidental lajes casa de máquinas	0,75
Carregamento reservatório	2,40
Carregamento permanente lajes topo do reservatório	0,20
Carregamento acidental lajes topo do reservatório	0,20

Fonte: Autoria Própria.

Já as cargas de vento são adotadas de acordo com: a velocidade característica do vento que é determinada com base na velocidade básica da região de estudo; o fator do terreno S1, ou fator topográfico, que nesse caso equivalente a 1,0 por se tratar de um terreno predominantemente plano; o fator S2 que leva em consideração a ocupação da região e a maior dimensão horizontal e vertical e, por fim, o fator S3 relacionado a finalidade de uso da edificação, igual a 1,0.

Os dados em questão são baseados na NBR6123 (ABNT, 1988) e servem como base para a determinação do coeficiente de arrasto do vento, sendo que o programa TQS® realiza esse cálculo de forma automática após inserção dos dados. O vento foi considerado de baixa turbulência. A figura 3.5 apresenta os coeficientes de arrasto calculados pelo programa.

Figura 3.5 — Ações vento.

A interface do software TQS® apresenta a aba 'Vento' selecionada. À esquerda, há campos de entrada para os seguintes parâmetros:

- V0 - Velocidade básica: 35
- S1 - Fator do terreno: 1.00
- S2 - Categoria de rugosidade: IV
- S2 - Classe da edificação: B
- S3 - Fator estatístico: 1.00

À direita, há uma tabela com os seguintes dados:

	Ângulo	C.A.	Def Cot	Cot ini
1	90	1.13	Não	0
2	270	1.13	Não	0
3	0	0.91	Não	0
4	180	0.91	Não	0

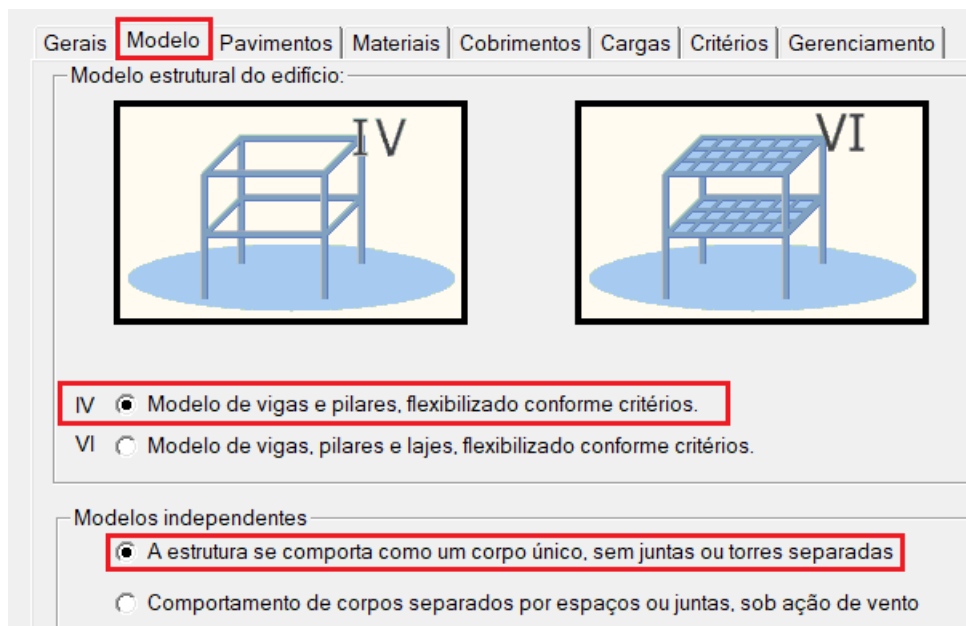
Abaixo da tabela, há o campo 'Cota inicial para aplicação de vento' e três botões: 'Inserir', 'Apagar' e 'Calcular CAs'.

Fonte: CAD/TQS®.

3.3.3 Apresentação do modelo estrutural

A modelagem estrutural compreende a fase de lançamento do edifício que servirá como base para análise, dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais. Para isso, foi adotado o modelo IV de cálculo, disponibilizado pelo programa TQS[®], além disso o edifício será estudado na forma de modelos independentes, conforme a Figura 3.6.

Figura 3.6 — Modelo de cálculo adotado.



Fonte: CAD/TQS[®].

Tem-se que a modelagem estrutural do edifício foi realizada de acordo com os limites impostos pelo projeto arquitetônico. Inicialmente foram lançadas as vigas, para que assim as lajes fossem delimitadas, a partir destas foram estabelecidos os pilares de canto e extremidade, e por fim os intermediários. A disposição final foi proposta visando a maximização do conforto do usuário e a estética do ambiente, sendo assim os pilares foram posicionados de tal maneira que não atrapalhasse a circulação nos ambientes.

Salienta-se que o lançamento iniciou-se pelo pavimento tipo sendo em seguida feita a compatibilização com os outros pavimentos existentes, pois a ideia era adotar pilares nas mesmas posições nos diferentes pavimentos de forma a eliminar a necessidade de estruturas de transição que encarecem o projeto.

Além disso, tem-se que a modelagem proposta para o edifício em estudo apresenta lajes maciças e vigas e pilares com seções retangulares. Os pilares foram propostos inicialmente com seções de 14X40, como critério para o lançamento dos pilares partiu-se da premissa de que os pilares devem ser alinhados para a formação de pórticos. Além disso, teve-se o cuidado para que sempre que possível a menor dimensão do pilar estar embutida na parede, no intuito de evitar a formação de “dentes” no edifício. Salienta-se ainda que o número mínimo de pilar e máximo de pilar em um pavimento. Para as vigas, adotou-se a largura de forma que as mesmas fossem embutidas na alvenaria. Já para a determinação das alturas das mesmas, segundo Carvalho (2014), tem-se as seguintes situações:

Para vigas biapoiadas:

$$H_{estimado} = \frac{L}{10} \quad (3.1)$$

Para vigas contínuas:

$$H_{estimado} = \frac{L}{12} \quad (3.2)$$

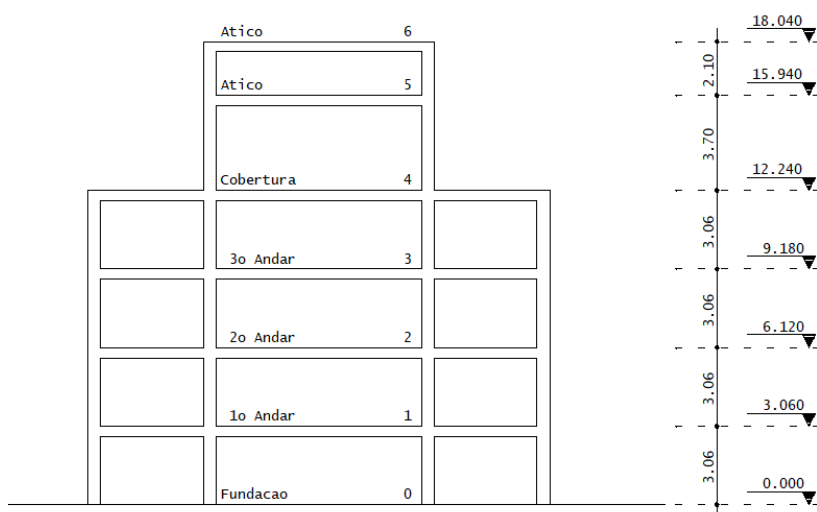
Onde, L é o maior vão da viga.

Para a estimativa inicial das alturas das lajes foi-se utilizado o “método dos vãos”, sendo assim para tal determinação utilizou-se a premissa que $H_{est} = L/50$. Sendo assim todas as lajes foram adotadas inicialmente com altura estimada de 14 cm.

Logo, tem-se que a modelagem estrutural foi realizada com base nas considerações listadas. A Figura 3.7 apresenta o corte esquemático do lançamento estrutural. Já a Figuras 3.8 apresenta uma representação dos elementos estruturais presentes na modelagem. Por fim, tem-se que nas Figuras 3.9 e 3.10 são representadas, respectivamente, o lançamento do edifício para o pavimento tipo, e o modelo 3D gerado pelo programa TQS® do edifício em estudo.

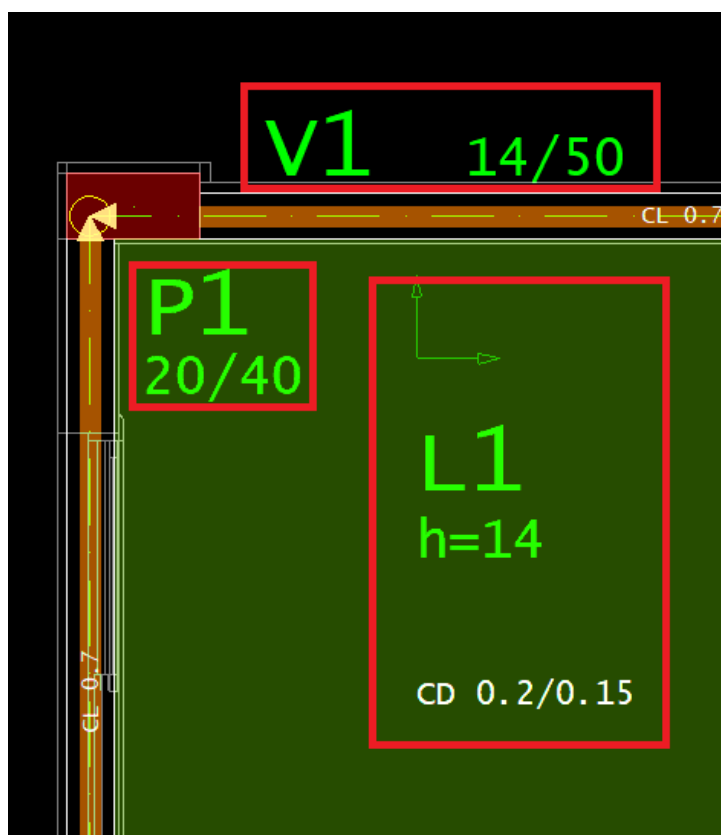
Figura 3.7 — Corte esquemático do edifício.

Corte esquemático



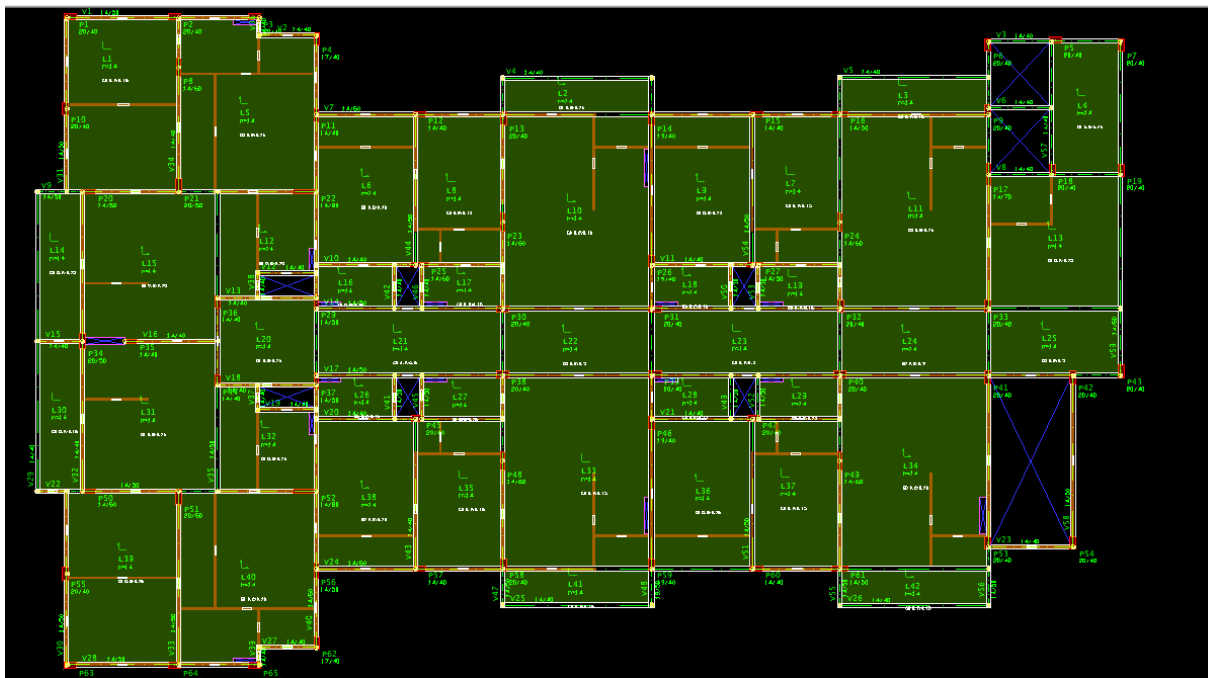
Fonte: CAD/TQS®.

Figura 3.8 — Elementos estruturais presentes na modelagem.



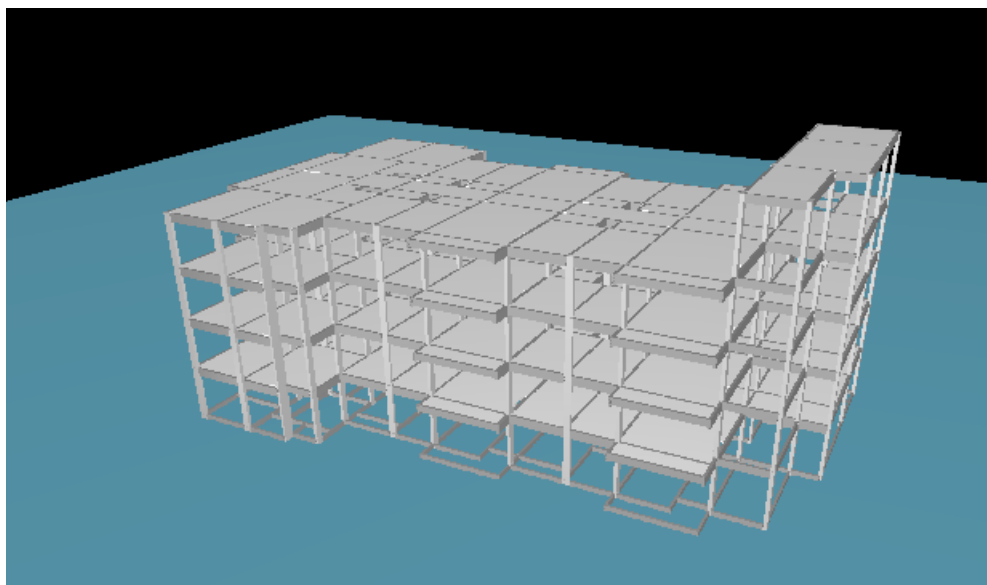
Fonte: CAD/TQS®.

Figura 3.9 — Lançamento estrutural para o pavimento tipo



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 3.10 — Modelagem 3D, programa TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

CAPÍTULO IV – CRITÉRIOS ANÁLISE PÓRTICO ESPACIAL

4.1 Vigas

4.1.1 Consideração de seção T

Segundo a NBR6118:2014 (ABNT, 2014) a consideração da seção T em uma viga é feita com o intuito de garantir as distribuições de esforços internos, tensões, deformações e deslocamentos na estrutura de forma mais próxima ao real possível.

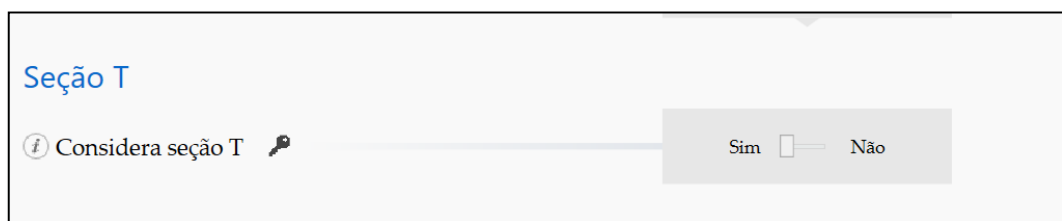
Sendo assim, quando ocorre de a estrutura ser modelada com a consideração automática da ação entre vigas e lajes, pode-se ter o mesmo efeito considerando a adoção de uma largura colaborante que esteja associada à viga, formando assim uma seção T. (ABNT, 2014)

No sistema CAD/TQS tem-se que a consideração ou não da mesa colaborante nas seções das vigas do pórtico espacial pode ser ajustado pelo projetista durante a execução do projeto. O programa TQS apresenta uma entrada de valor para tal critério, onde é considerado:

- 0: nas situações onde é realizado o cálculo da inércia das vigas com seção T em todo vão;
- 1: em situações de vigas com inércia de seção retangular.

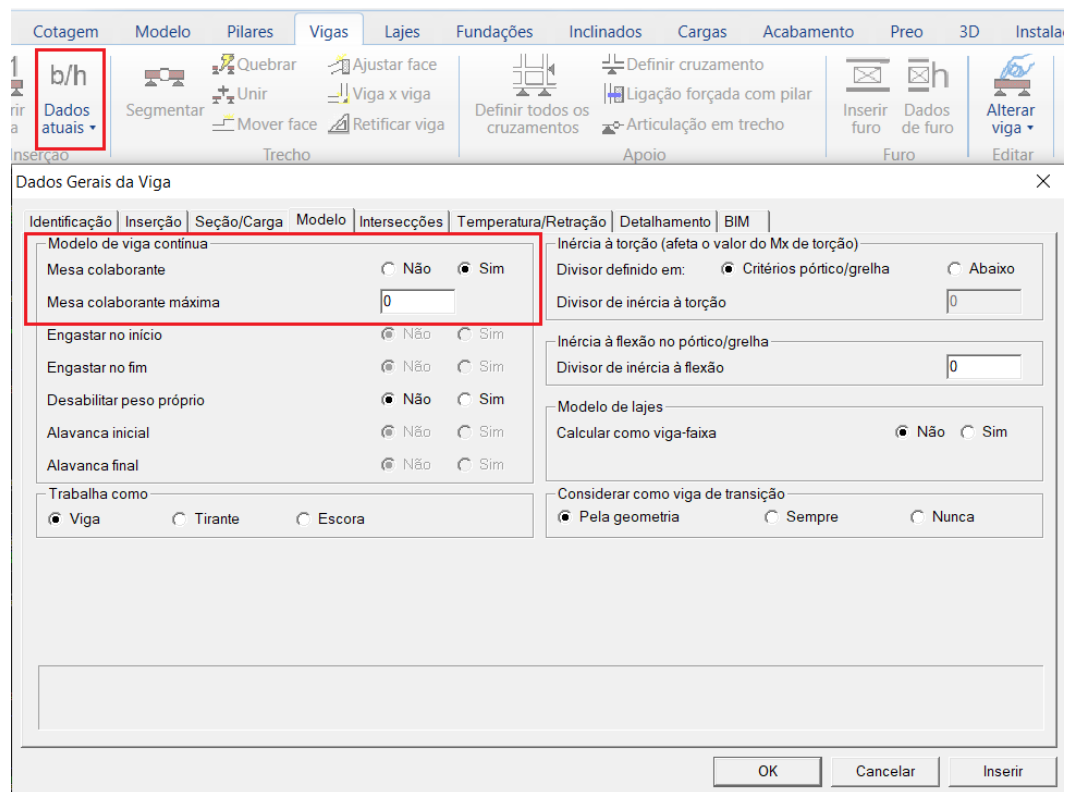
A entrada de valores no programa CAD/TQS para a consideração de seção T pode ser dada pela configuração inicial dos critérios de pórtico espacial no editor do edifício, conforme mostra a Figura 4.1. Como também, durante a fase de modelagem na aba de configuração dos dados das vigas, conforme mostra a Figura 4.2.

Figura 4.1 — Consideração da seção T, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 4.2 — Consideração da seção T, modelador TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

Salienta-se ainda que o valor da inércia de seções com a mesa colaborante pode ser acessado através do visualizador de pórtico espacial.

4.1.2 Inércia para vigas sem rigidez à torção

Quanto a esse critério, sabe-se que ele se baseia em um divisor da rigidez á torção das barras de viga do pórtico espacial, de modo em que a torção não se sobressaia. Além disso, esse valor teórico da inércia à torção da seção retangular deverá ser fracionado pelo valor deste critério. Sendo assim, o divisor representará uma porcentagem da rigidez integral. (TQS Informática Ltda.)

De acordo com Kimura (2018), no momento em que a torção não for indispensável ao equilíbrio da estrutura, no caso de uma peça submetida à torção de compatibilidade (compatibilidade de deformação), é justificável uma maior redução da rigidez. No que diz respeito à torção de equilíbrio, onde a torção é considerada fundamental ao equilíbrio da

estrutura, a rigidez à torção não poderá ser desprezada, e nesse caso é preciso indicar no modelador estrutural que a viga possui tendência à torção.

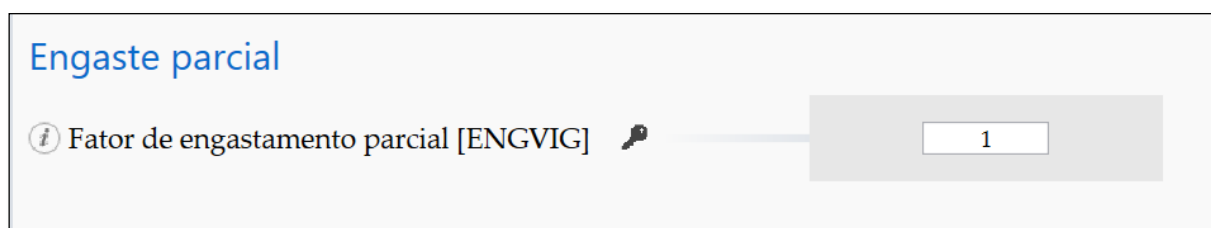
Dessa forma, o TQS[®] estabelece como entrada para este critério, todo número real maior que zero. No que se refere às vigas, onde não se tem a intenção de detalhar esforços de torção, ainda sim, existe a obrigação de se considerar certa inércia e verificar se os esforços de torção são relevantes e precisam ser combatidos com armaduras. Além disso, o CAD/VIGAS em função dos esforços encontrados na etapa de análise, consegue estabelecer se as armaduras especiais devem ser detalhadas para combater torção. (TQS Informática Ltda.)

4.1.3 Fator de engastamento parcial em vigas

Quanto ao fator de engastamento parcial em vigas (ENGVIG - termo utilizado no CAD/TQS), compreende-se que este critério determina um fator geral de engastamento parcial para todos os vãos de vigas, não considerando balanços. Além disso, o programa TQS[®] aponta uma entrada de valor para tal critério que varia de zero a um. Sendo que o zero faz referência a articulação, enquanto o valor um refere-se ao engastamento (TQS Informática Ltda).

A Figura 4.4 mostra como o fator de engastamento pode ser definido inicialmente no editor geral de critérios de pórtico espacial.

Figura 4.4 — Fator de engastamento, editor de critérios pórtico espacial TQS[®].



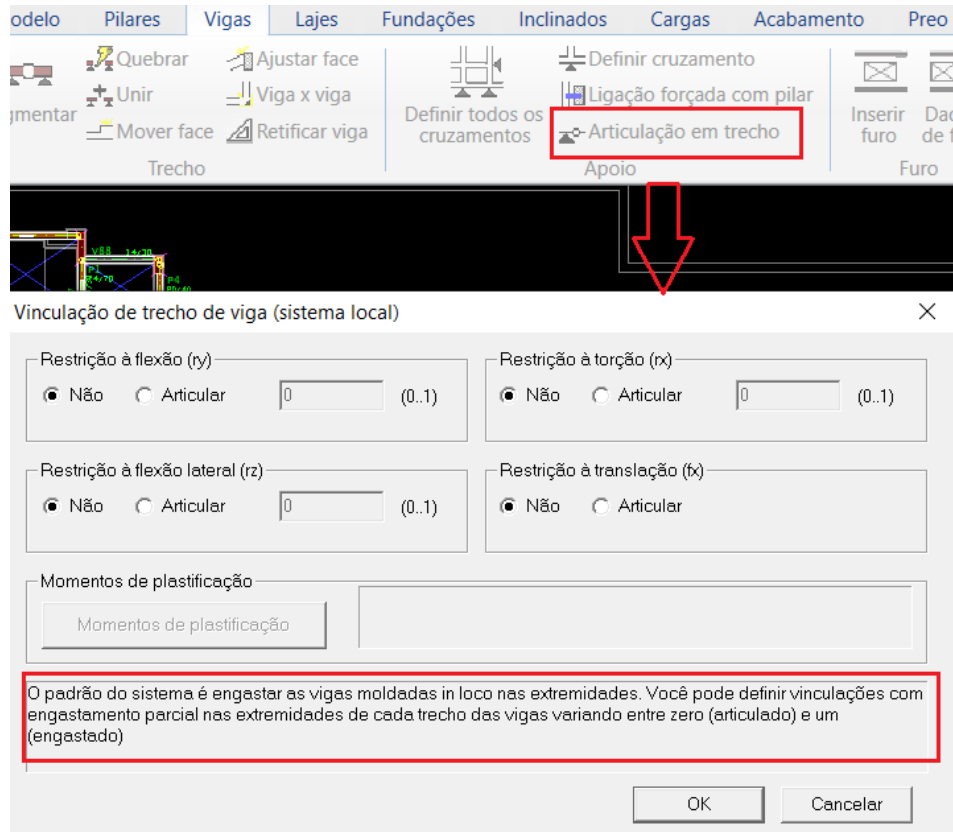
Fonte: CAD/TQS[®].

Sabe-se ainda, que o conceito desse fator de engastamento é equivalente ao fator α_R encontrado na ABNT NBR 9062:2017 que estabelece normas de projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Em razão do *default*, o programa TQS[®] considera que todas as vigas têm continuidade nos apoios ($\alpha_R = 1$), e o momento nos apoios será decorrente do equilíbrio do pórtico.

Além do mais, este fator de engastamento parcial promove uma multiplicação próxima do momento negativo no apoio por ENGVIG. Sendo que, além do fator ENGVIG, pode-se

ainda dentro do modelador estrutural de Formas, fixar este fator ou articular apoios independentes para cada viga, conforme mostra a Figura 4.5. (TQS Informática Ltda.)

Figura 4.5 — Fator de engastamento, modelador TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

4.2 Pilares

4.2.1 Majoração da rigidez axial para efeitos construtivos

No que se refere aos efeitos construtivos, é válido observar que um edifício de múltiplos pavimentos não é construído de forma instantânea, visto que, o que realmente ocorre é que as cargas verticais vão sendo acrescentadas aos poucos conforme o andamento da construção. (TQS Informática Ltda.)

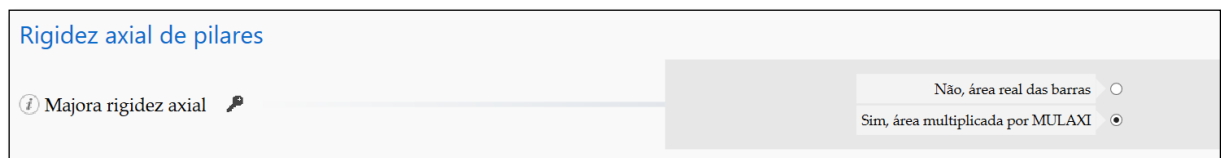
Deste modo, para adicionar os efeitos construtivos na estrutura, a CAD/TQS passou a utilizar o MULAXI no intuito de compensar essa deficiência. Assim, ele majora a rigidez axial dos pilares do pórtico espacial, que nada mais é do que ampliar a área da seção transversal dos pilares, com o objetivo de se aproximar do comportamento real. Ressalta-se ainda, que a

majoração da área de pilares é considerada apenas em análise do comportamento das ações verticais (TQS Informática Ltda.). Sendo assim, o TQS® estabelece uma entrada de valor para este critério, onde:

- 0: Não considera majoração da rigidez;
- 1: Considera a majoração da rigidez axial.

E essa condição é controlada através do gerenciador TQS, selecionando primeiramente a opção “Sistemas”, e em seguida abrindo a aba “Pórticos-TQS”, escolhe-se logo após a opção “Critérios” seguida de “Critérios Gerais” e por fim, seleciona-se a opção “Pilares” - “Rigidez axial dos pilares” (Ver Figura 4.5). (TQS Informática Ltda.)

Figura 4.6 — Majoração da rigidez axial dos pilares, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

4.2.2 Multiplicador da rigidez axial para efeitos construtivos

Este critério define o multiplicador da rigidez axial de pilares (MULAXI) para consideração aproximada dos efeitos construtivos, logo, também possui como objetivo se aproximar do comportamento real. Ou seja, tal critério tem por objetivo aumentar a rigidez axial do pilar de forma que os deslocamentos sejam reduzidos. (TQS Informática Ltda.)

Segundo Fortes (2019), o critério não atende o cálculo para análise de ações horizontais, como o vento. Visto que, a majoração da rigidez axial nos pilares atua apenas nas correções de efeitos construtivos.

Além disso, é determinado que esse multiplicador seja utilizado apenas quando a consideração aproximada dos efeitos construtivos via majoração da rigidez axial de pilares estiver ativada. Dessa forma, o *software* TQS® estabelece como entrada para este parâmetro, todo número real maior que zero. (TQS Informática Ltda.)

O valor comum do majorador axial de pilares utilizado em projetos de edificações é igual a 3. Quanto a utilização desse valor, Fortes (2019) destaca que:

“O valor do MULAXI=3, advém da média obtida para um projeto elaborado na década de 1990, pelo programa SAP. Nesse projeto específico, foi feito um estudo da variação da área axial dos pilares, de maneira a obter deslocamentos similares entre os diferentes pilares e, consequentemente, momentos fletores negativos nas vigas sobre os apoios centrais. Para que os valores de momento fletor nas vigas aproximassem de um modelo com apoios indeslocáveis, foi necessário um aumento da área do pilar de 1 a 5 vezes. Dessa forma, optou-se em adotar a média, ou seja, MULAXI=3. Posteriormente, nos anos 2000, outro engenheiro realizou um estudo para um projeto de múltiplo pavimentos, obtendo também um valor próximo de 3. Logo tornou-se convencional utilizar MULAXI=3 (FORTES, 2019, p. 96 e 97).”

A figura 4.6 mostra a entrada do valor desse majorador axial no TQS®, que por *default* é igual a 3, podendo ser alterado na aba de gerenciador dos critérios de pórtico espacial durante a elaboração do projeto em estudo.

Figura 4.7 — Multiplicador da rigidez axial para efeitos construtivos, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

A imagem mostra uma barra de entrada de dados do software TQS. À esquerda, há um ícone de ajuda e o texto "Fator de aumento da rigidez axial dos pilares [MULAXI]". À direita, há um campo de entrada com o número "3" digitado.

Fonte: CAD/TQS®.

4.2.3 Pilares não-retangulares com eixos principais

Com base no acervo de informações do sistema TQS®, foi verificado que este critério se trata de como o programa irá considerar o cálculo dos pilares não retangulares, comumente denominados como pilares de seções genéricas, de acordo com os eixos de inércia do pilar. Ou seja, através deste critério é possível controlar o eixo dos pilares genéricos, podendo ser calculados com inércia paralela aos eixos principais, ou paralelas aos eixos globais. (TQS Informática Ltda.)

Salienta-se ainda que esse tipo de pilar é encontrado, na maior parte das edificações, servindo como estrutura de contraventamento. Com isso, observa-se que os pilares não-retangulares conseguem absorver momentos fletores causados pela ação de cargas horizontais. (TQS Informática Ltda.)

Sendo assim, o sistema TQS® oferece aos usuários uma entrada de valor para este critério, onde:

- 0: Não calcula eixos principais;
- 1: Calcula.

Por *default* do programa, ver Figura 4.8, tem-se que o valor adotado para o critério na elaboração de um projeto estrutural é a consideração do cálculo com eixos principais

Figura 4.8 — Pilares genéricos com eixos principais, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

Por fim, de acordo com os manuais do programa TQS®, ao considerar o cálculo do pilar pelos eixos principais, o sistema CAD/Pilar segue algumas etapas no tratamento destes pilares, onde:

- Inicialmente são estabelecidos os eixos principais de inércia da seção;
- Em seguida, as solicitações devem ser projetadas nas direções destes eixos principais de inércia;
- Com isso, deve-se ainda estabelecer a excentricidades acidentais em função das dimensões de um retângulo envolvente da seção genérica, retângulo este com os lados paralelos aos eixos centrais de inércia;
- E por fim, é realizado o cálculo das armaduras que são calculadas em função destes eixos centrais de inércia.

4.3 Ligações viga-pilar

4.3.1 Flexibilização de ligações

As ligações entre viga e pilar de um edifício são regiões consideradas de suma importância, visto que é onde ocorre a transferência de esforços, o que tem um impacto direto nos resultados de esforços e deslocamentos destes elementos estruturais. Tem-se ainda que

segundo Kimura (2018), os trechos onde possuem ligações viga-pilar em estruturas de concreto simulados por pórticos espaciais, precisam de um tratamento particular no momento da modelagem estrutural, visto que, a não calibração trará resultados distantes da realidade, tornando o cálculo de um edifício de concreto utilizando pórtico espacial totalmente inexecutável na prática.

No caso do Pórtico-TQS, a flexibilização das ligações ocorre no momento em que a rigidez efetiva na ligação viga-pilar é inserida ao modelo através de "molas" que são posicionadas nos extremos das barras. (TQS Informática Ltda.) Ou seja, esse tratamento, por meio da utilização de molas, permite, por exemplo, que uma ligação não seja considerada apenas engaste sem giro, como também considera uma ligação liberada ao giro, sendo esse meio termo um comportamento definido como semirrígido. (KIMURA, 2018)

Sabe-se ainda que essa rigidez das "molas" de flexibilização é definida aproximadamente pela divisão $\frac{EI}{L}$, sendo ela estabelecida pelo pilar junto às barras das vigas, onde:

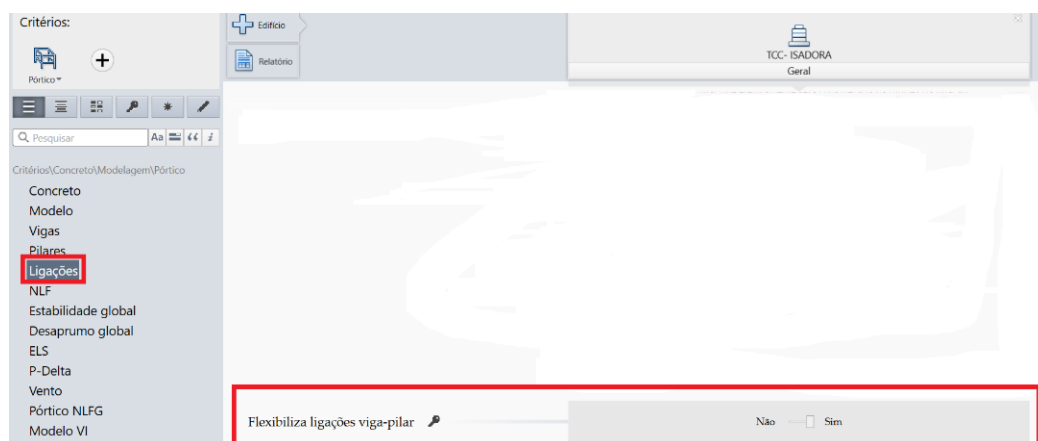
E: Trata-se do módulo de elasticidade longitudinal do pilar;

L: Trata-se do pé-direito do pilar;

I: Trata-se do momento de inércia calculado a partir de uma seção equivalente do pilar, sendo ela considerada na rigidez da ligação.

O programa TQS disponibiliza aos usuários uma entrada de valor para este critério, conforme mostra a Figura 4.9, onde ao escolher a opção “sim” é considerada flexibilização das ligações, ou seja, é considerada a ligação flexível. Já a opção “não” significa a não consideração da flexibilização, ou seja, trata-se de uma ligação rígida.

Figura 4.9 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

No que se refere aos comandos necessários para o acesso deste critério, conforme apresentado na Figura 4.9, tem-se que inicialmente é preciso ir no gerenciador TQS, selecionando primeiramente a opção “Sistemas”, e em seguida abrindo a aba “Pórticos-TQS”, escolhe-se logo após a opção “Critérios” seguida de “Critérios Gerais” e depois seleciona-se a opção “Ligações” - “Flexibilização”. (TQS Informática Ltda.)

Feito isso, são definidos dois parâmetros nos critérios gerais do Pórtico-TQS sendo eles: LEPMOL (Multiplicador largura equivalente de pilar apoio independente) e REDMOL (Redutor do coeficiente de mola), onde os mesmos permitem que o usuário faça considerações no cálculo da rigidez dessas molas. (TQS Informática Ltda.)

4.3.2 Multiplicador de largura de apoio para coeficiente de mola (LEPMOL)

Este critério representa um dos parâmetros definidos nos critérios gerais do pórtico-TQS, sendo ele o LEPMOL, que nada mais é, que o multiplicador da largura de apoio para cálculo do coeficiente de mola que simula a rigidez da ligação viga-pilar. Logo, esse fator é responsável por modificar a rigidez K da “mola”. (DINIZ, 2019)

É apresentado pelo *software* TQS uma entrada de valor para este critério, conforme mostra a Figura 4.10, onde por *default* do programa, o valor do coeficiente é igual a 1,5.

Figura 4.10 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

A imagem mostra uma interface de usuário com um campo de entrada rotulado "Multiplicador da largura da viga [LEPMOL]". À direita do campo, há um ícone de chave e um botão com o valor "1,5".

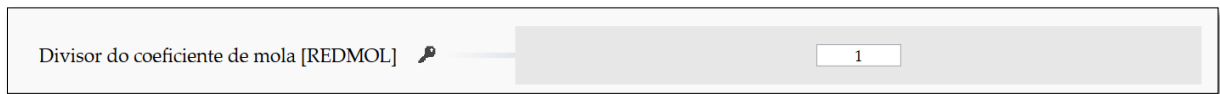
Fonte: CAD/TQS®.

4.3.3 Divisor de coeficiente de mola (REDMOL)

Quanto ao critério divisor de coeficiente de mola, sabe-se que esse fator representa um dos parâmetros definidos nos critérios gerais do pórtico-TQS, conhecido como REDMOL, que nada mais é que o divisor de coeficiente de mola que simula a rigidez da ligação viga-pilar. Além disso, esse parâmetro é o que multiplica a largura da viga resultando na largura da seção proporcional do pilar para cálculo do momento de inércia. (DINIZ, 2019)

O *software* TQS estabelece como entrada de valor para este critério, conforme mostra a Figura 4.11, onde o divisor do coeficiente de mola é igual a 1 por *default*.

Figura 4.11 — Flexibilização das ligações, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

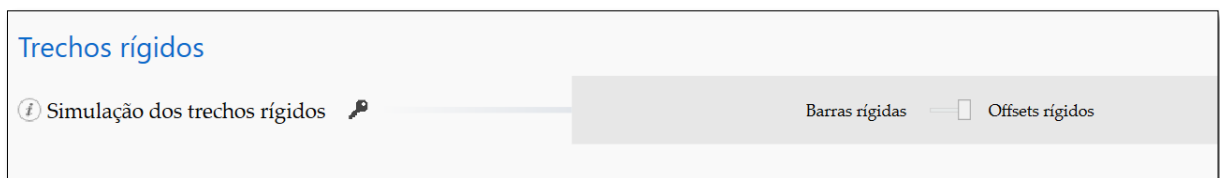
4.3.4 Offset-rígido

O sistema CAD/TQS, permite ao usuário a consideração de trechos rígidos nas ligações de viga e pilar da estrutura. Para isso, o programa disponibiliza ao usuário duas opções de consideração dos trechos rígidos, podendo ser considerado a Barra rígida ou o Offset-rígido, que nada mais é do que um vetor tridimensional definido junto aos nós inicial e final, que simula uma barra rígida entre o nó e o ponto do apoio da barra.

Nesse critério, em ambas entradas de valores possíveis para o critério é possível ter resultados eficazes. Todavia, o que diferencia é que no fornecimento de cargas sobre a barra e a listagem de esforços permanecem sendo realizados no trecho da barra fora do offset-rígido. Também é possível observar que o offset rígido se sobressai à barra rígida, pois no que se refere aos modelos gerados pelo CAD/Formas do offset rígido, em média, têm a metade do número de nós dos modelos com barra rígida. (TQS Informática Ltda.)

O TQS permite aos usuários duas alternativas para este critério, sendo elas a consideração de “Barras rígidas” ou de “Offsets rígidos”, conforme mostra a Figura 4.12.

Figura 4.12 — Simulação dos trechos rígidos, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

4.3.5 Separação de modelos para ELU e ELS

Quanto a separação de modelos para ELU e ELS, sabe-se que quando um edifício é realizado com o modelo IV ou com o modelo VI, é possível definir com o critério em questão,

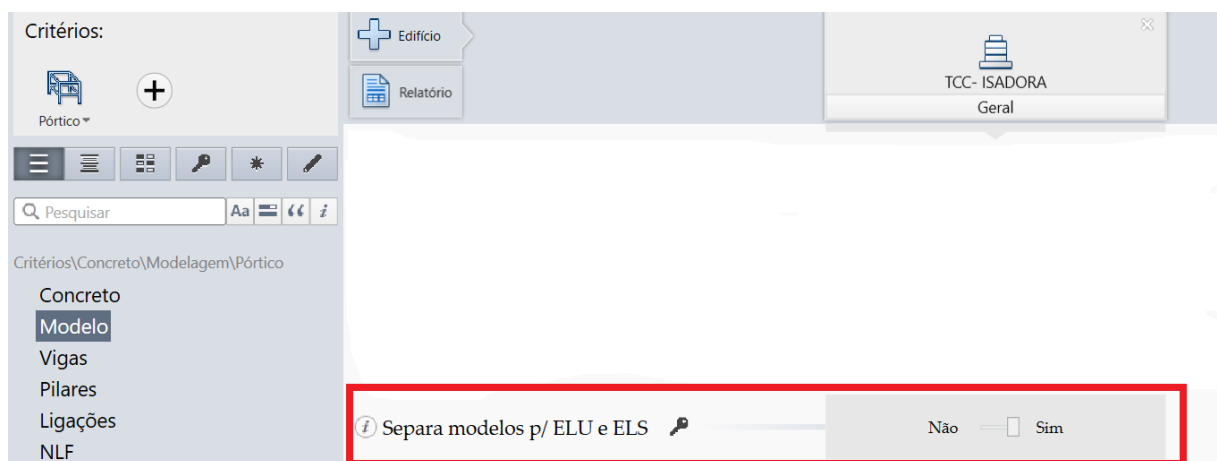
a formação de dois pórticos espaciais, sendo eles o pórtico ELU e o pórtico ELS. (TQS Informática Ltda.)

Sendo que, no modelo do pórtico ELU é possível calcular os esforços para se obter o dimensionamento das vigas, pilares e elementos de fundação. Além de também ser possível a obtenção da verificação da estabilidade global do edifício por meio desse modelo. (TQS Informática Ltda.)

No modelo de pórtico ELS, por sua vez, é possível a obtenção de cálculos dos deslocamentos horizontais entre piso e no topo do edifício, possibilitando assim a verificação de ELS-DEF que faz referência a deformações excessivas. Além disso, por meio desse modelo, também é possível a verificação do nível de conforto da edificação diante vibrações provocadas por ações dinâmicas. (TQS Informática Ltda.)

Neste contexto, tem-se que a diferença entra os modelos está pautada no nível de rigidez dos elementos. Com base nisso, o programa TQS apresenta no critério duas opções “sim” ou “não”, conforme mostra a Figura 4.13. Ao escolher a opção “sim” tem-se que é considerada a separação do modelo. Já quando o usuário optar por não separar o modelo, tem-se que será utilizado apenas o pórtico ELU para a verificação de ELU e ELS.

Figura 4.13 — Separação dos modelos para ELU e ELS, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®

4.4 Não-linearidade física (Modelo ELU)

4.4.1 Não-linearidade física para vigas

A NBR 6118 (ABNT, 2014), referente a não-linearidade física (NLF), define uma correção de rigidez em pilares, vigas e lajes com a intenção de representar a não linearidade física aproximada na análise dos esforços globais de 2º ordem. Sendo assim, a consideração da NLF proposta pela norma admite valores de ponderação da rigidez dos elementos para análise dos efeitos globais de segunda ordem, sendo eles:

$$(EI)_{SEC} = 0,4E_{ci}I_c \quad (\text{Para Vigas}) \quad (4.1)$$

$$(EI)_{SEC} = 0,8E_{ci}I_c \quad (\text{Para Pilares}) \quad (4.2)$$

$$(EI)_{SEC} = 0,3E_{ci}I_c \quad (\text{Para Lajes}) \quad (4.3)$$

Onde:

I_c = Inércia da seção bruta do concreto, incluindo, quando for o caso, as mesas colaborantes, em seção T. (m⁴)

E_{ci} = Módulo de elasticidade do concreto (N/m²)

$(EI)_{SEC}$ = Rigidez secante (Nm²)

No caso das vigas, a não-linearidade física é obtida por meio da equação $(EI)_{SEC} = 0,4E_{ci}I_c$, quando $A'_s \neq A_s$ e $(EI)_{SEC} = 0,5.E_{ci}I_c$ quando $A'_s = A_s$. Onde, A_s refere-se a armadura de tração e A'_s trata-se da armadura de compressão, no caso de vigas com armadura dupla.

Sendo assim, a NLF em questão é responsável por determinar o multiplicador $(EI)_{SEC}$ para determinar de maneira aproximada a não-linearidade em vigas. Deste modo, o sistema TQS apresenta uma entrada nesse caso onde é considerado todo número real maior que zero. Conforme a NBR6118 (ABNT, 2014) o valor ideal para tal critério é 0,4, conforme mostra a entrada de valor no programa pela Figura 4.14. (TQS Informática Ltda.)

Figura 4.14 — Coeficiente NLF para vigas, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas	0,4
Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares	0,8
Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes	0,3

Fonte: CAD/TQS®.

Salienta-se ainda, que esse coeficiente é considerado na geração do pórtico espacial ELU, da qual os resultados vão nortear a avaliação da estabilidade global do edifício, assim como para o dimensionamento das armaduras dos elementos.

4.4.2 Não-linearidade física para pilares

No caso dos pilares, a NLF é obtida por meio da equação $(EI)_{SEC} = 0,8E_{ci}I_c$. Sendo assim, o NLF é responsável por determinar o multiplicador $(EI)_{SEC}$ para considerar aproximadamente a não-linearidade em pilares. Portanto, o TQS estabelece como valor para este caso, todo número real maior que zero. Sendo que, segundo estabelece a NBR6118 (ABNT, 2014) o valor deste coeficiente é igual a 0,8 (Ver Figura 4.15). (TQS Informática Ltda.)

Figura 4.15 — Coeficiente NLF para pilares, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas	0,4
Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares	0,8
Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes	0,3

Fonte: CAD/TQS®.

Semelhante aos casos das vigas, nos pilares também é observado a adoção desse coeficiente na geração do pórtico espacial ELU, e os resultados servirão de base para a avaliação da estabilidade global do edifício, assim como para o dimensionamento das armaduras dos elementos.

4.4.3 Não-linearidade física para lajes

Referente as lajes no modelo ELU, o coeficiente da não-linearidade física é obtido por meio da equação $(EI)_{SEC} = 0,3E_{ci}I_c$. Sendo então, essa NLF responsável por determinar o multiplicador $(EI)_{SEC}$ para considerar aproximadamente a não-linearidade em lajes. Diante disso, o sistema TQS estabelece como entrada para este critério todo número real maior que zero. Todavia, de acordo com as prescrições normativas da NBR6118 (ABNT, 2014) o valor adotado para o coeficiente é 0,3 (TQS Informática Ltda.). A Figura 4.16 apresenta a entrada do valor para este coeficiente no programa.

Figura 4.16 — Coeficiente NLF para lajes, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Coeficiente de não-linearidade física p/ vigas	0,4
Coeficiente de não-linearidade física p/ pilares	0,8
Coeficiente de não-linearidade física p/ lajes	0,3

Fonte: CAD/TQS®.

Deste modo, no que se refere as lajes, verifica-se que esse coeficiente é adotado na geração do pórtico espacial ELU do modelo VI, na qual os resultados vão nortear a análise da estabilidade global do edifício, como também para o dimensionamento das armaduras dos elementos. (TQS Informática Ltda.)

4.5 Não-linearidade física (Modelo ELS)

4.5.1 Não-linearidade física para lajes

Em relação a não-linearidade para lajes no modelo ELS, sabe-se que esse parâmetro em questão determina o coeficiente de não-linearidade física para lajes (ELS- Modelo VI), que é definido por meio do multiplicador de $(EI)_{SEC}$ para consideração da NLF em lajes aproximada, no pórtico espacial ELS do Modelo VI, onde os resultados contribuirão para avaliação em serviço dos deslocamentos horizontais do edifício e das flechas dos pavimentos. (TQS Informática Ltda.)

Nesse contexto, o sistema TQS oferece aos usuários uma entrada de valor para este critério considerando todo número real maior que zero. Sendo que segundo as prescrições da NBR6118 (ABNT, 2014) o valor *default* para este critério é igual a 1. A figura 4.17 mostra a janela onde ocorre a entrada deste critério no TQS.

Figura 4.17 — Coeficiente NLF para lajes (Modelo VI), editor de critérios pórtico espacial TQS®.

A imagem mostra uma interface de usuário do software TQS. No topo, há uma barra azul com o texto "ELS". Abaixo, há uma barra cinza com o texto "Coeficiente de NLF p/ lajes (p/ Modelo VI)" e um ícone de chave. À direita, há uma caixa de entrada com o valor "1".

Fonte: CAD/TQS®.

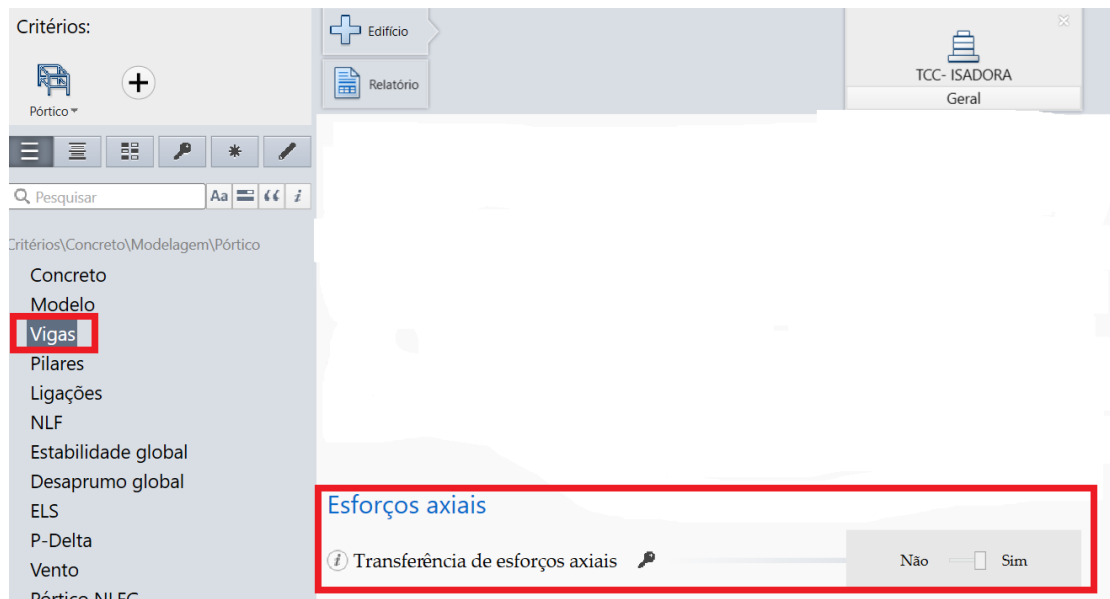
4.6 Transferência de esforços

4.6.1 Transferência de força normal para vigas

Este critério relaciona a transferência de esforços axiais para vigas, logo, ao considerar a entrada 1: “Sim”, automaticamente o sistema irá transferir os esforços axiais para dimensionamento e detalhamento por meio do TQS Vigas. (TQS Informática Ltda.)

Portanto, as vigas serão dimensionadas com flexão normal composta. E para este caso sistema TQS apresenta uma entrada de valor, conforme mostra a figura 4.18, onde pode ser feita a escolha de “sim” ou “não” para a transferência de esforços axiais para vigas.

Figura 4.18 — Transferência de esforços axiais para vigas, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

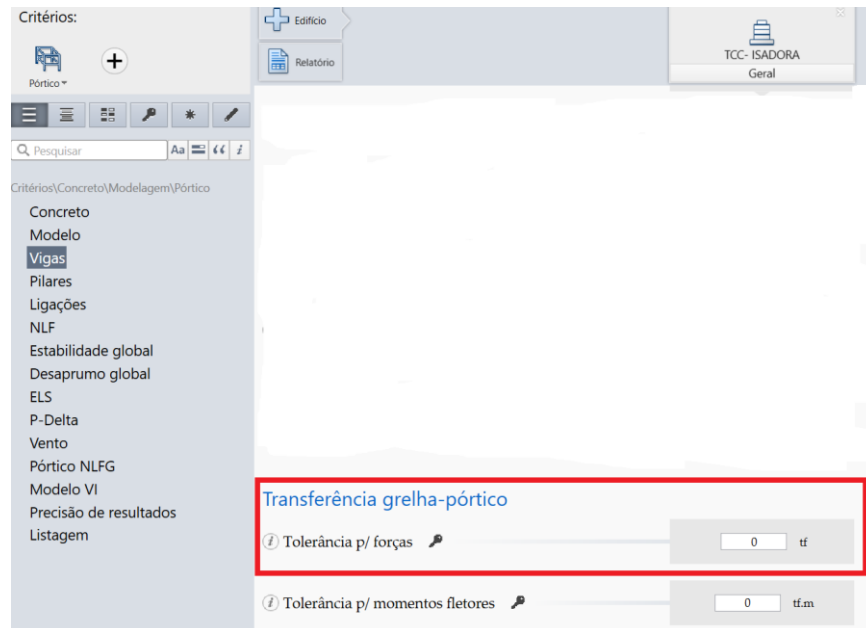
4.6.2 Tolerância para transferência de forças das grelhas

A tolerância para transferência de forças das grelhas, pode ser considerada quando se tem a intenção de desprezar os valores de forças que são transferidos das grelhas para o pórtico espacial. (TQS Informática Ltda.)

No entanto, valores na qual o módulo for menor que a tolerância não serão transferidos, favorecendo assim, a verificação do modelo. Em casos onde a tolerância for zero, todos os valores serão transferidos. O *software* TQS considera para este critério todo número real maior ou igual a zero e utiliza-se a unidade de medida tf. (TQS Informática Ltda.)

Logo conforme mostra a Figura 4.19, o valor *default* para este critério é igual a 0 tf.

Figura 4.19— Tolerância para forças, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

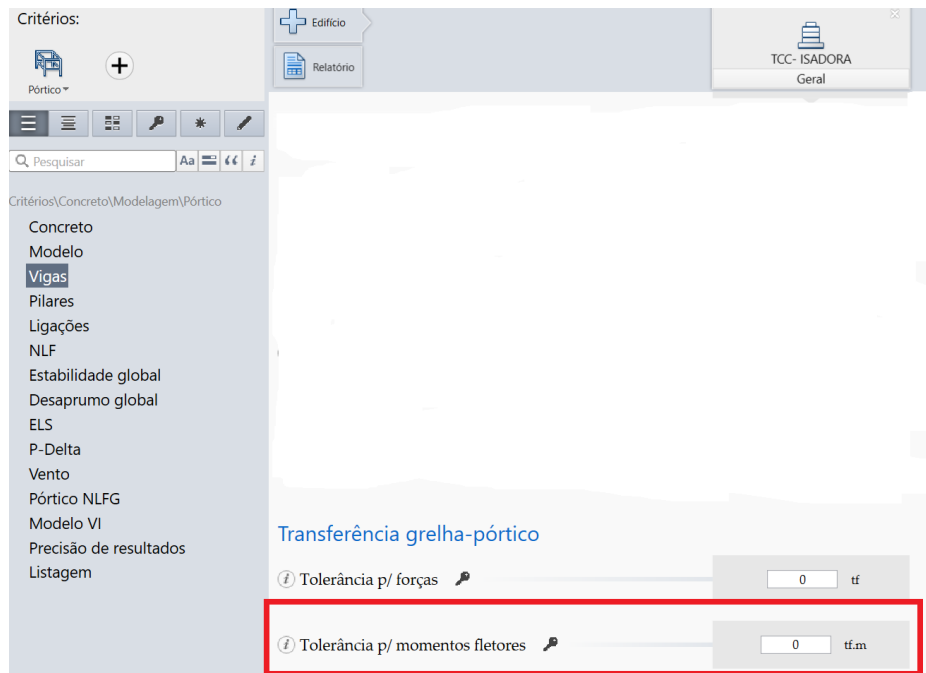
4.6.3 Tolerância para transferência de momentos das grelhas

A tolerância para transferência de momentos das grelhas, assim como o critério anterior, pode ser considerada quando se tem a intenção de desprezar os valores de momentos fletores que são transferidos das grelhas para o pórtico espacial. (TQS Informática Ltda.)

Sabe-se ainda, que os valores em que o módulo for menor que a tolerância, não serão transferidos, melhorando assim, a verificação do modelo. Em casos onde a tolerância for zero, serão transferidos todos os valores. Além disso, o programa TQS também considera para este critério todo número real maior ou igual a zero e é utilizado a unidade de medida tf.m. (TQS Informática Ltda.)

Logo conforme mostra a Figura 4.20, o valor *default* para este critério é igual a 0 tf.m.

Figura 4.20 — Tolerância para momento fletores, editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

4.7 Estabilidade global

4.7.1 Cálculo do Gama-Z (γ_z)

Segundo Moncayo (2011) o coeficiente γ_z tem como função avaliar a estabilidade global de um edifício estrutural de concreto armado. Além disso, o coeficiente tem a função de fazer uma estimativa dos esforços de segunda ordem presente na estrutura pela majoração dos esforços de primeira ordem. Diante disso, o programa TQS estabelece alguns parâmetros para o cálculo desse coeficiente, tais parâmetros são baseados na NBR6118 (ABNT, 2014).

Tem-se ainda que a partir do coeficiente γ_z é possível estimar se a estrutura é de nós fixos ou nós móveis. Sendo que, quando $\gamma_z \leq 1,1$, a estrutura é considerada de nós fixos, já quando $1,1 < \gamma_z \leq 1,3$, a estrutura é considerada de nós móveis (MONCAYO, 2011).

Segundo a NBR6118 (ABNT, 2014) o valor de γ_z é dado através da seguinte expressão:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}} \quad (4.4)$$

Onde:

$\Delta M_{tot,d}$: é a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, podendo ser também ser chamado de momento de tombamento;

$M_{1,tot,d}$: é o somatório dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, sendo que tais forças são obtidas na análise de 1º ordem.

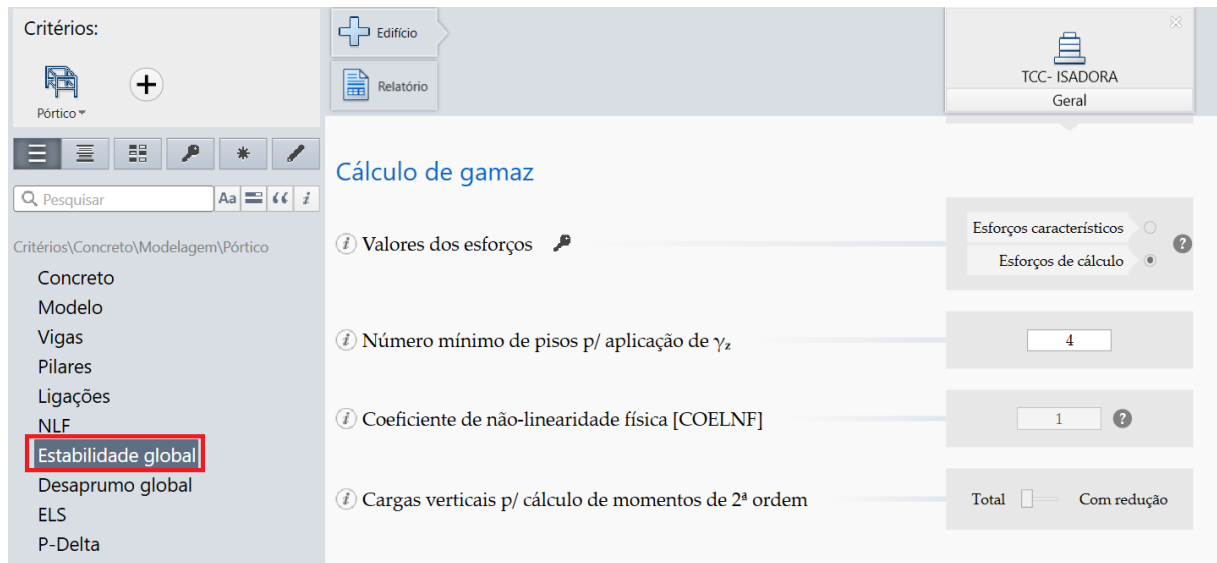
A figura 4.21 mostra os critérios que são adotados no programa TQS[®] para o cálculo do coeficiente γ_z . O primeiro critério está relacionado aos valores dos esforços a serem utilizados no cálculo. Com esse critério é estabelecido com quais esforços o γ_z será calculado, podendo ser calculado com esforços característicos não-majorado, ou por esforços de cálculos majorados pelos coeficientes de ponderação das ações no ELU. Sendo assim, o programa apresenta duas opções de escolha para definição de tal critério: “Esforços característicos” ou “esforços de cálculo”, logo conforme as orientações da NBR6118 (ABNT,2014) o cálculo é feito com base nos esforços de cálculo. (TQS Informática Ltda.)

Além disso, a NBR6118 (ABNT, 2014) apresenta que o cálculo do coeficiente γ_z só é válido para estruturas que tenham no mínimo 4 andares. Dessa forma, o segundo critério de cálculo do coeficiente γ_z adotado no TQS[®] para o número mínimo de pisos para aplicação de γ_z , apresenta o valor *default* igual a 4.

O terceiro critério de cálculo do γ_z no programa está relacionado ao coeficiente de não-linearidade física (COELNF). Esse coeficiente tem a função de estimar a redução de rigidez igual para vigas e pilares e segundo as prescrições da NBR6118 (ABNT, 2014) o valor para o coeficiente é igual a 1. Salienta-se ainda que esse coeficiente pode ser definido no programa caso não houver a redução da rigidez através das condições de contorno do pórtico, como também se não houver redução através de coeficientes para vigas e pilares nos critérios do ELU.

Por fim, o último critério pertinente ao cálculo do γ_z diz respeito a consideração das cargas verticais para o cálculo de momentos de 2º ordem. Tais cargas são consideradas a soma das cargas permanentes e acidentais, podendo ser consideradas as cargas totais ou as cargas com redução nos carregamentos do edifício. Por *default*, o programa considera as cargas totais no somatório para o cálculo dos momentos.

Figura 4.21— Critérios para cálculo do γ_z , editor de critérios pórtico espacial TQS®.



Fonte: CAD/TQS®.

4.7.2 Transferência dos esforços de 2º ordem (γ_z)

Conforme estabelece a NBR 6118 (ABNT, 2014), a partir do valor desse coeficiente γ_z é possível ter a estimativa dos esforços finais totais. Com base nisso, o programa TQS® apresenta um critério onde é possível determinar a consideração automática na transferência de esforços por meio deste coeficiente.

Ainda segundo a NBR6118 (ABNT, 2014) a determinação dos esforços globais de 2º ordem podem ser dados por meio de uma simples multiplicação dos esforços horizontais, ou seja, uma majoração da combinação de carregamento considerada por $0,95\gamma_z$, sendo válido esse processo apenas para $\gamma_z \leq 1,3$.

Com isso, o programa considera por *default* que os esforços provenientes das combinações ELU transferidos para o dimensionamento dos elementos sejam majorados pelo coeficiente $0,95\gamma_z$. (TQS Informática Ltda.)

Outro critério de projeto existente no programa relacionado a transferência de esforços do coeficiente, está na definição do valor mínimo e máximo de γ_z . Conforme a NBR6118 (ABNT, 2014) o valor máximo para o coeficiente é 1,3. Moncayo (2013) afirma que valores acima disso está relacionado a elevada instabilidade do edifício, já quando os valores de γ_z é inferior a 1,0 significa que a estrutura está totalmente instável.

Diante da descrição dos critérios para transferência de esforços de 2º ordem, a figura 4.22, apresenta a aba do programa TQS® onde é possível fazer a edição dos critérios.

Figura 4.22— Critérios para transferência de esforços de segunda ordem, editor de critérios pórtico espacial TQS®.

Crítérios:

Pórtico

Edifício

Relatório

TCC- ISADORA

Geral

Transferência de esforços

Considera γ_z na transferência ☐ Não ☒ Sim ?

Multiplicador de γ_z ?

Valor mínimo de γ_z

Valor máximo de γ_z

Crítérios\Concreto\Modelagem\Pórtico

- Concreto
- Modelo
- Vigas
- Pilares
- Ligações
- NLF
- Estabilidade global**
- Desaprumo global

Fonte: CAD/TQS®.

CAPÍTULO V – ANÁLISE E RESULTADOS

5.1 Introdução

Com base na metodologia apresentada no trabalho, a análise dos resultados será baseada na análise estrutural dos elementos estruturais (lajes, vigas e pilares), como também na validação dos resultados obtidos através do ajuste adequado dos critérios de análise do pórtico espacial.

Tem-se ainda que, conforme estudado, grande parte dos critérios referentes a análise do Pórtico Espacial são regidos pela NBR6118 (ABNT, 2014), logo os valores adotados no programa para os critérios apresentam em alguns casos uma limitação para serem flexibilizados, visto que por *default*, apresentam os valores regidos pela norma. Diante disso, fez-se a escolha de aplicação de dois dos critérios estudados no Capítulo IV, que ao serem modificados, poderiam ter algum efeito na análise da estrutura, sendo eles o critério de flexibilização das ligações e do cálculo do Gama-Z.

Toda a análise estrutural com a ajuda de um *software* é baseada em um modelo capaz de simular o comportamento da estrutura mais próximo da realidade, sendo atualmente baseada na combinação de dois modelos, grelha e pórtico espacial. O modelo de grelha é utilizado para o cálculo do pavimento de forma isolada, enquanto o pórtico espacial permite a análise global da estrutura.

Além disso, sabe-se que antes de qualquer análise estrutural e processamento de uma estrutura são realizadas as etapas de definição do modelo estrutural e suas propriedades, lançamento dos elementos estruturais e carregamento e as definições dos critérios de projeto, conforme já visto nos capítulos anteriores. Sendo que, para a análise do edifício estudado foram feitas análises com base no modelo de cálculo IV do TQS, sendo ajustados os critérios de forma que permitisse o comportamento mais real da estrutura.

Os elementos estruturais no modelo IV de cálculo são discretizados com base nos estados limites da estrutura ELU e ELS. Para a análise das lajes, tem-se que as mesmas são discretizadas em grelhas, sendo possível a análise dos esforços no ELU e de deslocamento no ELS. Já as vigas podem ser analisadas a partir das grelhas e do pórtico espacial, sendo possível a análise de esforços no ELU a partir do pórtico espacial e a análise dos deslocamentos no ELS a partir das grelhas. Quanto aos pilares, tem-se que os mesmos devem ser analisados a partir do pórtico espacial.

Diante disso, foram realizados o processamento e análise dos pavimentos do edifício, sendo realizadas as correções dos erros de processamento de maneira que permitisse que cada pavimento fosse discretizado em grelhas, para que a partir das mesmas fossem realizadas as análises dos esforços e deslocamentos das lajes. Como também a formação do pórtico espacial que permitiu a análise das vigas e pilares do edifício em estudo. Para que por fim, fosse feita a análise acerca dos critérios de projeto referente a análise do Pórtico espacial.

É importante salientar que não houve uma preocupação de otimização do lançamento do edifício em estudo, visto que o objetivo está pautado na parte da análise.

5.2 Análise das lajes

Para a verificação das lajes foram realizadas análises das grelhas no ELS e ELU, sendo que no ELS foram verificadas as flechas, já o ELU possibilitou a verificação da altura mínima efetiva estabelecido por norma. Sendo assim, tem-se que para essa análise foi realizado primeiro a constatação de que as lajes estão dentro dos limites para o ELS, e logo após a análise para o ELU. Essa ordem de verificação, foi realizada pelo fato de que caso o elemento não passar nos limites das flechas do ELS, a solução seria aumentar as espessuras das lajes. Ao aumentar a espessura, tem-se que, conseqüentemente, uma mudança nas solicitações atuantes devido a carga permanente, o que resultará no aumento do momento fletor de cálculo, que é necessário para realizar a análise do cálculo da altura mínima da laje.

5.2.1 ELS das lajes

Conforme a NBR6118 (ABNT, 2014), tem-se que as flechas limites para lajes apoiadas podem ser calculadas através da fórmula:

$$F_{lim} = \frac{L}{250} \quad (5.1)$$

Sendo:

L o menor vão da laje em cm.

Já para lajes em balanço a norma estabelece que a flecha limite é dada por:

$$F_{lim} = \frac{L}{125} \quad (5.2)$$

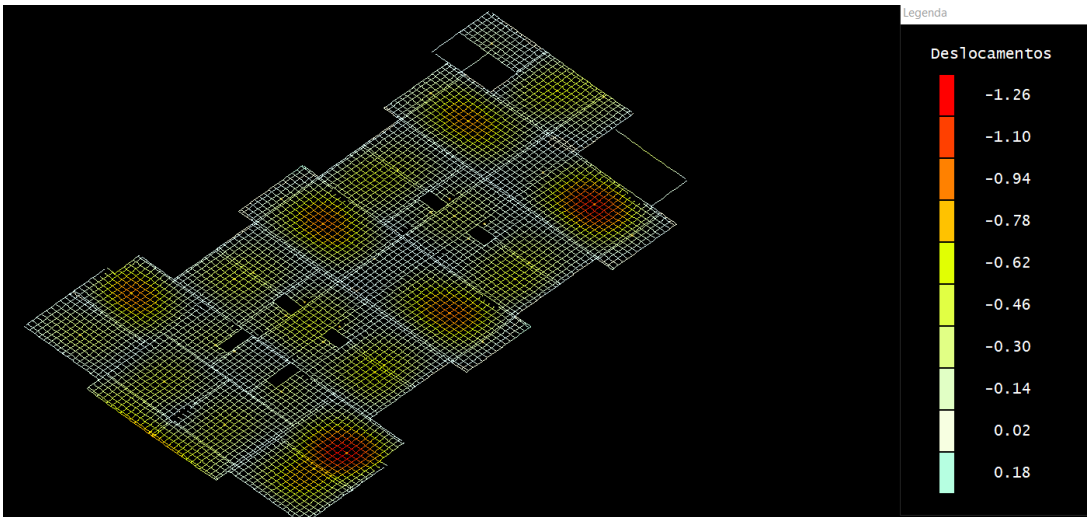
Sendo:

L o menor vão da laje em cm.

Sendo assim, na verificação dos deslocamentos foi feita uma análise comparativa entre a flecha limite estabelecida pela norma e a flecha obtida pela discretização das grelhas. Para a visualização dos deslocamentos limites das lajes utilizou-se o caso 11 que se trata das verificações do estado limite de serviço. A Figura 5.1 apresenta o diagrama de deslocamento geral das lajes do pavimento tipo do edifício em estudo, onde os maiores deslocamentos estão sinalizados pela cor vermelha, conforme a mostra a legenda presente na imagem.

A tabela 5.1 apresenta a análise comparativa entre os deslocamentos obtidos no projeto com os deslocamentos limites permitidos, para as lajes do pavimento tipo com as piores situações de deslocamento.

Figura 5.1— Diagrama de deslocamentos das lajes do pavimento tipo.



Fonte: CAD/TQS®.

Tabela 5.1 — Análise do ELS para lajes do pavimento tipo com maiores deslocamentos

LAJE	h (cm)	L (cm)	f_{lim} (NBR) (cm)	f_{oo} (TQS) (cm)	Situação ELS
L40	14	444	1,776	1,26	OK
L34	14	481	1,924	1,19	OK

Fonte: Autoria Própria.

Como as lajes L34 e L40 são as que apresentaram as piores situações de deslocamento e estão dentro dos limites estabelecidos pela norma, constatou-se que as outras lajes também estão dentro dos limites aceitáveis para o ELS.

5.2.2 ELU das lajes

Para a verificação do ELU, é necessário analisar se a seção resiste ao momento fletor de cálculo pelo qual está submetido. Nesse sentido, Carvalho (2014), apresenta que tanto para as lajes, quanto para as vigas, é necessário determinar a menor altura útil do elemento (d_{min}) que seja capaz de resistir ao momento. Segundo a NBR6118 (ABNT, 2014), o momento máximo é dado pela profundidade da linha neutra onde $x/d=0,45$ para concretos de classe até C50. Sendo assim, a altura útil mínima tanto para lajes, quanto para vigas, pode ser determinada pela seguinte equação:

$$d_{min} = 2 \sqrt{\frac{1,4 * Mk}{bw * fcd}} \quad (5.3)$$

Sendo:

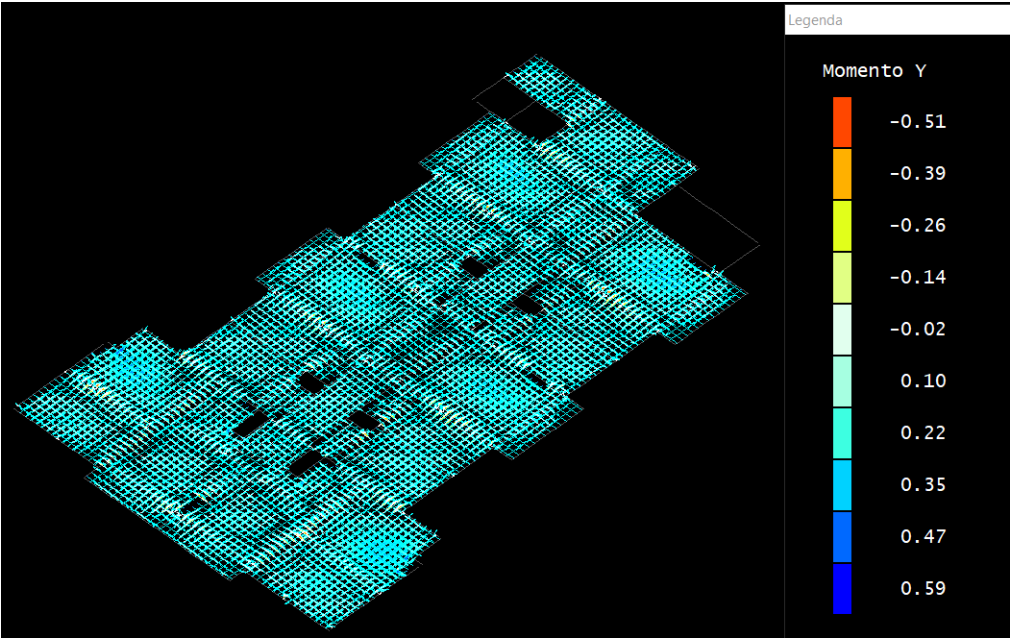
Mk : Momento fletor máximo atuante (kN.m);

bw : Largura da seção transversal;

fcd : Resistência de cálculo do concreto (kN/cm²)

Para a realização da análise, foi feita a verificação da altura mínima para a pior solicitação de momento, em módulo, das lajes do pavimento tipo. O momento fletor máximo para a análise foi obtido pelo diagrama de momento- M_y , do visualizador de grelhas, conforme mostra a Figura 5.2.

Figura 5.2— Diagrama de momento fletor das lajes do pavimento tipo.



Fonte: CAD/TQS®.

Logo, com base nos dados apresentados, a Tabela 5.2 apresenta a análise comparativa entre a altura mínima, das lajes do pavimento tipo, que apresentam o momento fletor máximo solicitante, com a altura adotada no projeto. Sendo assim, tem-se que a altura adotada para todas as lajes foi igual a 14 cm, visto que tal altura suporta o momento mais crítico analisado.

Tabela 5.2 — Análise do ELU para lajes do pavimento tipo com maiores solicitações

LAJE	Md (tf.m)	b_w (m)	f_{cd} (tf/m²)	d_{min} (cm)	h_{min} (cm)	$h_{adotado}$ (cm)	Situação ELU
L40	0,59	1,00	1.785,71	4,30	8,30	14,00	OK
L34	0,51	1,00	1.785,71	4,00	6,00	14,00	OK

h_{min} : d_{min} +cobrimento+ Ø/2;
 $h_{adotado}$: Espessura da laje adotada.

Fonte: Autoria Própria.

5.3 Análise das vigas

De forma análoga as lajes, foi realizada a verificação das vigas para o ELS e ELU. A análise foi realizada com base nos resultados do pórtico espacial.

5.3.1 ELS das vigas

Conforme já visto no trabalho, tem-se que no ELS é necessário realizar a análise do deslocamento limite. Nas vigas, o valor de deslocamento limite é dado por:

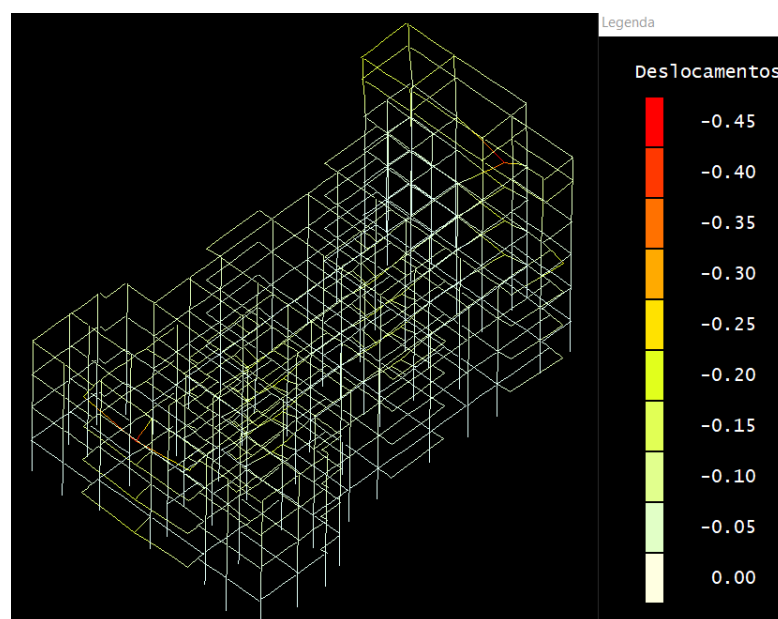
$$F_{lim} = \frac{L}{250} \quad (5.4)$$

Onde:

L é o vão da viga em cm;

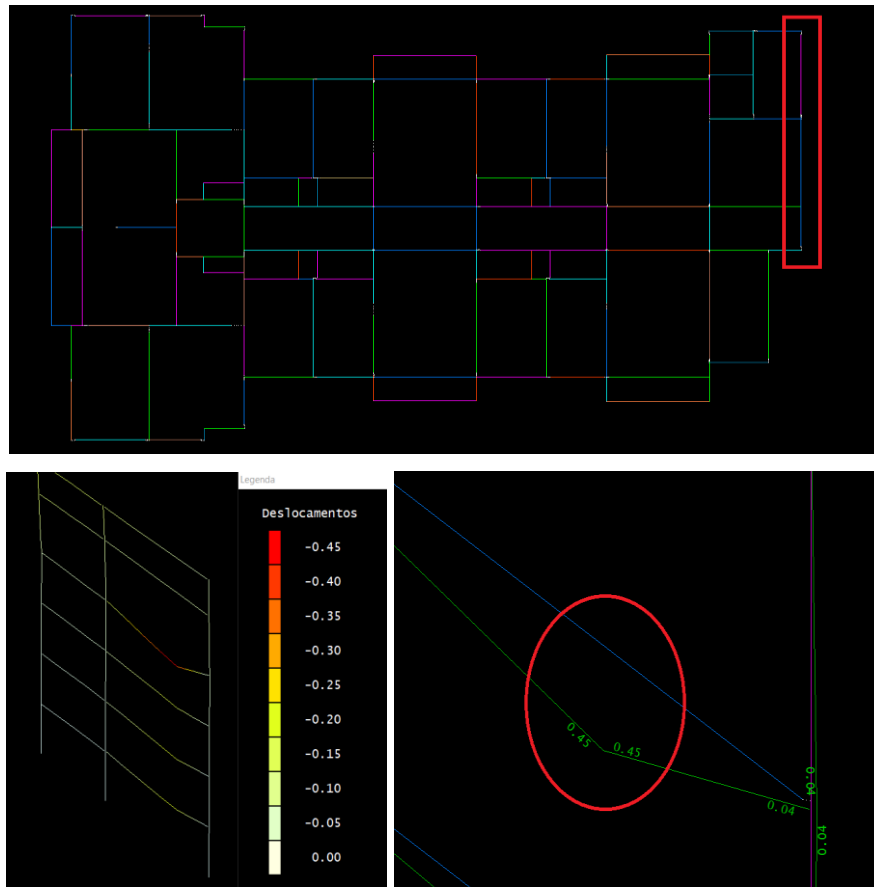
Sendo assim, foi feita uma análise comparativa entre a flecha limite estabelecida pela norma e a flecha obtida pelo programa. Na Figura 5.3 é apresentado a variação de valores de deslocamentos das vigas no edifício. Para isso, utilizou o visualizador de pórtico espacial considerando o caso de combinação para análise “Todas permanentes e acidentais dos pavimentos”. A partir da Figura 5.3 foi também possível identificar a viga com a flecha mais crítica “V59”, conforme mostra a Figura 5.4.

Figura 5.3— Deslocamentos máximos das vigas no pórtico espacial.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.4— Viga com deslocamento mais crítico na situação do ELS



Fonte: CAD/TQS®.

Feita a visualização dos deslocamentos dados pelo programa fez-se uma análise comparativa com o valor do deslocamento real dado pela viga “V59”, com o valor limite permitido, conforme mostra a Tabela 5.3. Como a viga “V59” estão dentro dos limites para o ELS, constatou-se que as outras vigas do edifício também estão.

Tabela 5.3 — Análise do ELS para a viga com maior deslocamento real

VIGA	h (cm)	L (cm)	f_{lim} (NBR) (cm)	f_{00} (TQS) (cm)	Situação ELS
V59	50	650	2,60	0,49	OK

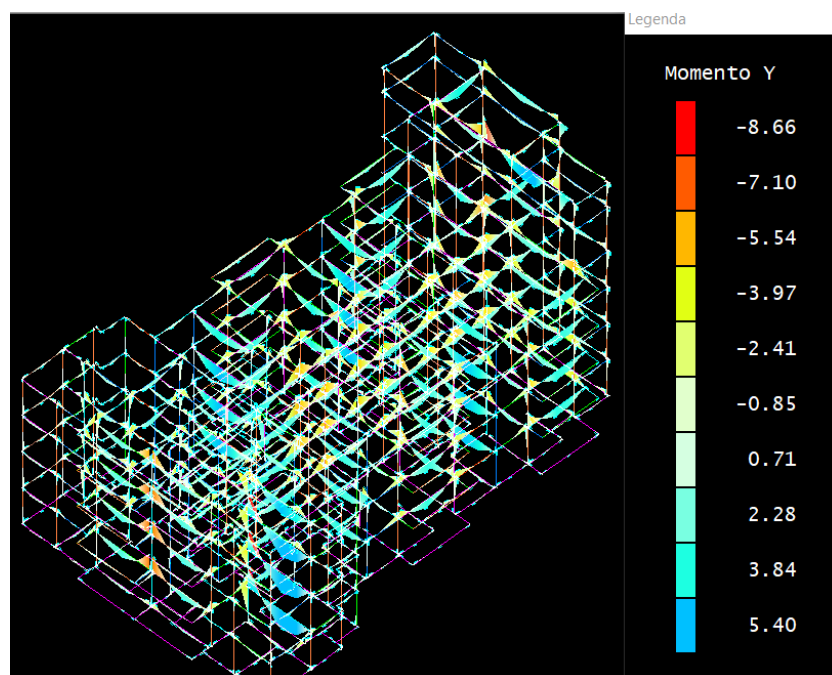
Fonte: Autoria Própria.

5.3.2 ELU das vigas

De forma análoga ao processo feito pelas lajes, a verificação do ELU nas vigas consiste na verificação da altura útil mínima para viga. Para isso, utilizou-se a Equação 5.3, levando em consideração que no caso das vigas, bw é igual à largura da viga.

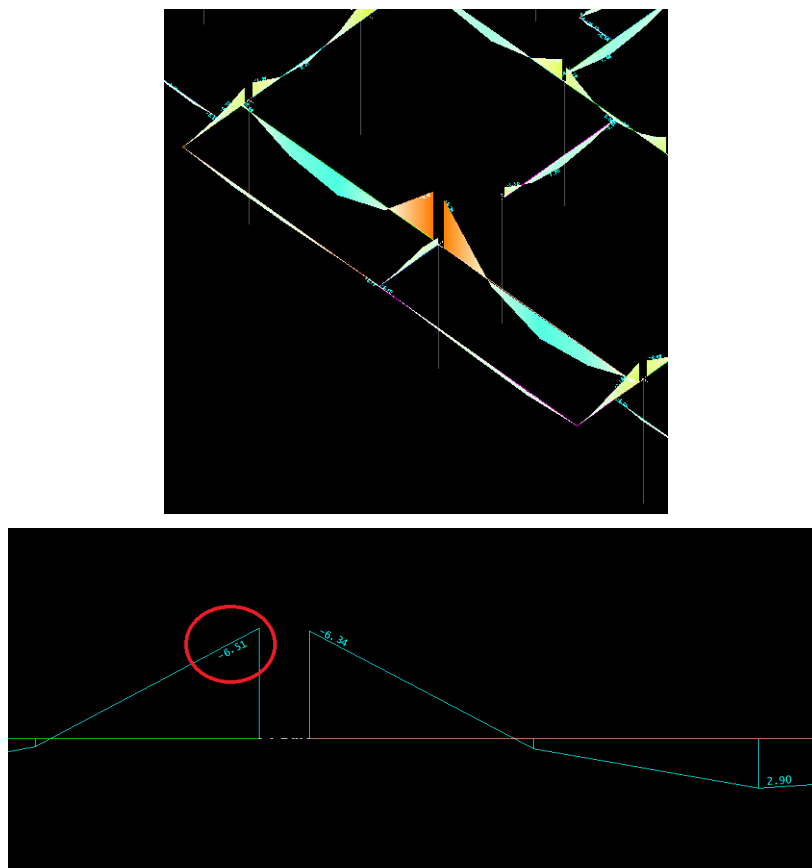
Na Figura 5.5 é possível ver os diagramas de momento fletor do edifício para as vigas através do visualizador pórtico espacial. A partir da análise do pórtico geral foi identificado as regiões com a pior situação de momento no pavimento tipo, para cada altura de viga. O pavimento tipo do edifício apresentava vigas com altura de 40 e 50 cm. Sendo assim, foi realizada a verificação das alturas mínimas para cada tipo de viga, considerando a pior solicitação de momento. As Figuras 5.6 e 5.7, mostram, respectivamente, a pior situação de momento para vigas com 40 e 50 cm de altura.

Figura 5.5— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial



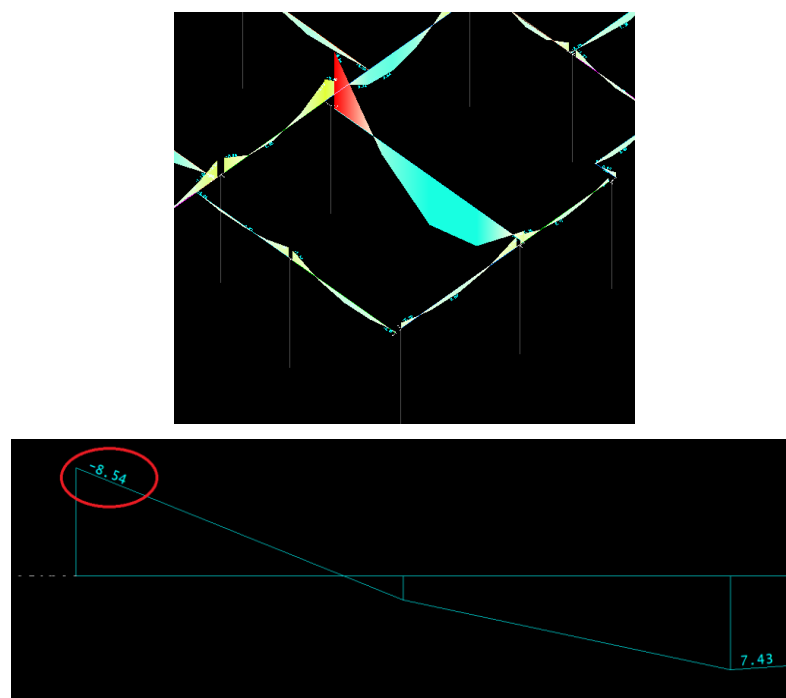
Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.6— Diagrama de momento fletor da pior situação para viga com altura de 40 cm



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.7— Diagrama de momento fletor da pior situação para viga com altura de 50 cm



Fonte: CAD/TQS®.

Na Tabela 5.4 foram apresentadas as alturas mínimas calculadas para que fosse realizada a análise comparativa com as alturas das vigas adotadas no lançamento da estrutura inicial. Sendo assim, constatou-se que as alturas estão de acordo com o ELU. Como foram analisadas as piores situações, tem-se que as outras vigas também estão de acordo como o ELU.

Tabela 5.4 — Análise do ELU para vigas do pavimento tipo com maiores solicitações

VIGA	Md (tf.m)	b_w (m)	f_{cd} (tf/m ²)	d_{min} (cm)	h_{min} (cm)	$h_{adotado}$ (cm)	Situação ELU
V33	8,66	0,14	1.785,71	44,04	48,04	50,00	OK
V32	6,51	0,14	1.785,71	38,14	42,14	40,00	OK

h_{min} : d_{min} +cobrimento+ Ø/2;

$h_{adotado}$: Altura da viga adotada.

Fonte: Autoria Própria.

5.4 Análise das seções dos pilares

A análise dos pilares consiste em verificar se a seção do pilar suporta o esforço normal de cálculo atuante. Essa análise é conhecida como verificação da compressão centrada, onde é feita a validação de que a seção inicial adotada para o pilar, considerando o concreto e o aço, resiste ao esforço de compressão que chega no topo dos pilares do térreo.

Para isso, é feito o cálculo da área da seção do pilar, sendo que a partir da área encontrada é possível ter as dimensões da base e altura da seção do pilar. Logo, segundo a NBR6118 (ABNT, 2014) a área adotada para um pilar, levando em consideração a solicitação atuante, é dada pela seguinte fórmula:

$$A_c = \frac{\gamma_n * \alpha * N_k}{0,85 * f_{cd} + \rho * \sigma} \quad (5.4)$$

Onde:

A_c = Área de concreto da seção transversal;

N_k = Força normal que chega no pilar;

γ_n = Coeficiente de majoração dos esforços para pilares cujo b é menor que 19 cm, ($\gamma_n = 1,95 - 0,05 \cdot b$; sendo b a menor dimensão da seção do pilar);

α = Coeficiente de majoração para cada tipo de pilar. De acordo com Cunha (2014) os valores para o coeficiente podem ser: $\alpha = 1,8$ para pilares intermediários; $\alpha = 2,2$ pilares de extremidade e $\alpha = 2,5$ para pilares de canto. Salienta-se que o valor do coeficiente já leva em conta o 1,4 da majoração dos esforços.

f_{cd} = Resistência de cálculo a compressão e a tração do concreto;

ρ = Taxa de armadura;

σ = Tensão no aço para deformação.

Sendo assim, tem-se que para a verificação é necessário analisar os esforços disponibilizados pelo programa. Tais dados podem ser extraídos pelo visualizador de pórtico espacial, como também, pela geração da planta de cargas, onde o programa cria um desenho chamado “PORLID-DWG”, que contém todas as cargas que chegam ao pilar de acordo com as funções das variáveis escolhidas.

O Quadro 5.1 apresenta as seções adotadas para todos os pilares do edifício em estudo após a análise. Salienta-se que nas situações onde o esforço aplicado no pilar era maior que o esforço suportado pela seção, houve a necessidade do aumento das dimensões do pilar.

Quadro 5.1 — Análise das seções dos pilares devido ao esforço solicitante

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$ $f_{sd} = 420 \text{ MPa}$			$f_{cd} = 21,4286 \text{ MPa}$ $\rho = 0,01$			tensão ideal de cálculo = 22,4142857 MPa		α 1,8 2,2 2,5		
Pilar	b (mm)	$h_{inicial}$ (mm)	N_k (N)	γ_n	α	N_d (N)	A_c (mm ²)	b (mm)	h (mm)	h_{adot} (mm)
P1	200	400	188000	1	1,8	338400	15097,51	200	75,49	400
P2	200	400	198000	1	2,5	495000	22084,13	200	110,42	400
P3	200	400	178000	1	1,8	320400	14294,46	200	71,47	400
P4	200	400	176000	1	1,8	316800	14133,84	200	70,67	400
P5	200	400	160000	1	2,5	400000	17845,76	200	89,23	400
P6	200	400	171000	1	1,8	307800	13732,31	200	68,66	400

(continua)

(conclusão)

P7	200	400	197000	1	1,8	354600	15820,27	200	79,10	400
P8	140	600	599000	1,25	2,5	1871875	83512,59	140	596,52	600
P9	200	400	293000	1	2,2	644600	28758,44	200	143,79	400
P10	200	400	312000	1	2,5	780000	34799,24	200	174,00	400
P11	140	400	405000	1,25	2,5	1265625	56465,11	140	403,32	400
P12	140	400	369000	1,25	2,5	1153125	51445,98	140	367,47	400
P13	200	400	538000	1	2,5	1345000	60006,37	200	300,03	400
P14	200	400	675000	1	2,5	1687500	75286,81	200	376,43	400
P15	140	400	349000	1,25	2,5	1090625	48657,58	140	347,55	400
P16	140	500	547000	1,25	2,5	1709375	76262,75	140	544,73	500
P17	140	700	728000	1,25	2,5	2275000	101497,77	140	724,98	700
P18	200	400	338000	1	2,5	845000	37699,17	200	188,50	400
P19	200	400	547000	1	2,5	1367500	61010,20	200	305,05	400
P20	140	500	466000	1,25	2,5	1456250	64969,73	140	464,07	500
P21	200	500	622000	1	2,5	1555000	69375,40	200	346,88	500
P22	140	800	650000	1,25	2,5	2031250	90623,01	140	647,31	800
P23	140	600	538000	1,25	2,5	1681250	75007,97	140	535,77	600
P24	140	600	493000	1,25	2,5	1540625	68734,07	140	490,96	600
P25	140	600	594000	1,25	2,5	1856250	82815,49	140	591,54	600
P26	200	400	631000	1	2,5	1577500	70379,22	200	351,90	400
P27	140	500	540000	1,25	2,5	1687500	75286,81	140	537,76	500
P29	140	500	511000	1,25	2,2	1405250	62694,39	140	447,82	500
P30	200	400	620000	1	2,2	1364000	60854,05	200	304,27	400
P31	200	400	428000	1	2,2	941600	42008,92	200	210,04	400
P32	200	400	462000	1	2,2	1016400	45346,08	200	226,73	400
P33	200	400	758000	1	2,2	1667600	74398,98	200	371,99	400
P34	200	500	808000	1	2,5	2020000	90121,10	200	450,61	500
P35	140	400	233000	1,25	2,5	728125	32484,86	140	232,03	400

(continua)

(conclusão)

P36	140	400	451000	1,25	2,5	1409375	62878,43	140	449,13	400
P37	140	500	516000	1,25	2,2	1419000	63307,84	140	452,20	500
P38	200	400	572000	1	2,2	1258400	56142,77	200	280,71	400
P39	200	400	401000	1	2,2	882200	39358,83	200	196,79	400
P40	200	400	574000	1	2,2	1262800	56339,07	200	281,70	400
P41	200	400	725000	1	2,2	1595000	71159,97	200	355,80	400
P42	200	400	353000	1	2,5	882500	39372,21	200	196,86	400
P43	200	400	340000	1	1,8	612000	27304,02	200	136,52	400
P44	140	400	438000	1,25	2,5	1368750	61065,97	140	436,19	400
P45	200	400	591000	1	2,2	1300200	58007,65	200	290,04	400
P46	200	400	623000	1	2,5	1557500	69486,93	200	347,43	400
P47	200	400	510000	1	2,2	1122000	50057,36	200	250,29	400
P48	140	600	539000	1,25	2,5	1684375	75147,39	140	536,77	600
P49	140	600	580000	1,25	2,5	1812500	80863,61	140	577,60	600
P50	140	500	499000	1,25	2,5	1559375	69570,59	140	496,93	500
P51	200	500	841000	1	2,5	2102500	93801,78	200	469,01	500
P52	140	800	674000	1,25	2,5	2106250	93969,09	140	671,21	800
P53	200	400	630000	1	2,5	1575000	70267,69	200	351,34	400
P54	200	400	282000	1	1,8	507600	22646,27	200	113,23	400
P55	200	400	318000	1	2,5	795000	35468,45	200	177,34	400
P56	140	500	407000	1,25	2,5	1271875	56743,95	140	405,31	500
P57	140	400	350000	1,25	2,5	1093750	48797,00	140	348,55	400
P58	200	400	555000	1	2,5	1387500	61902,49	200	309,51	400
P59	200	400	642000	1	2,5	1605000	71606,12	200	358,03	400
P60	140	400	306000	1,25	2,5	956250	42662,52	140	304,73	400
P61	140	500	546000	1,25	2,5	1706250	76123,33	140	543,74	500
P62	200	400	183000	1	1,8	329400	14695,98	200	73,48	400
P63	200	400	203000	1	1,8	365400	16302,10	200	81,51	400

(continua)

(conclusão)

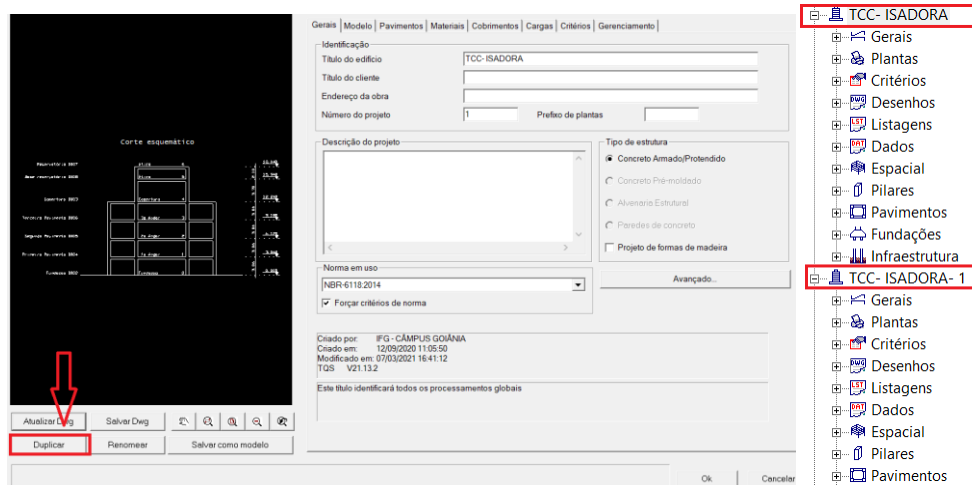
P64	200	400	502000	1	1,8	903600	40313,58	200	201,57	400
P65	200	400	206000	1	1,8	370800	16543,02	200	82,72	400
b: menor dimensão da seção do pilar; $h_{inicial}$: Altura inicial adotada para a seção do pilar; f_{cd}: $f_{ck}/1,4$; N_k: Força normal do pilar; N_d: $\gamma_n * N_k * \alpha$; γ_n: $1,95 - 0,05*b$; $h_{adotada}$: Altura adotada para a seção do pilar após a verificação.										

Fonte: Autoria Própria.

5.5 Análise do critério de flexibilização das ligações

Com base no item 4.3.1 do presente trabalho, sabe-se que o critério referente a flexibilização das ligações entre vigas e pilares, quando alterado, pode resultar na mudança dos esforços e deslocamentos do edifício. Sendo assim, realizou-se o processamento do edifício considerando as duas opções de entrada para o critério, no intuito de validar a utilização do mesmo através dos resultados obtidos no edifício em estudo. Logo, foi realizada uma duplicação do modelo do edifício em estudo, conforme mostra a Figura 5.8, de forma que no edifício “TCC- ISADORA” fosse realizado o processamento considerando a flexibilização das ligações. Enquanto, no segundo “TCC- ISADORA- 1” adotou-se a consideração da não flexibilização no processamento.

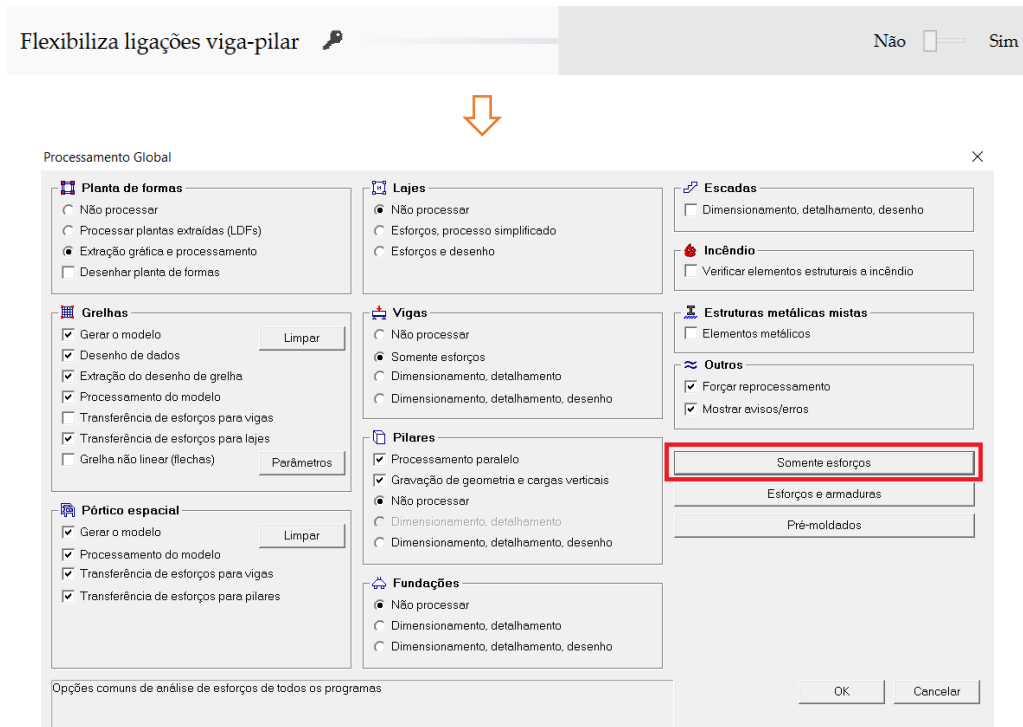
Figura 5.8— Duplicação do edifício para análise da consideração ou não da flexibilização das ligações



Fonte: CAD/TQS®.

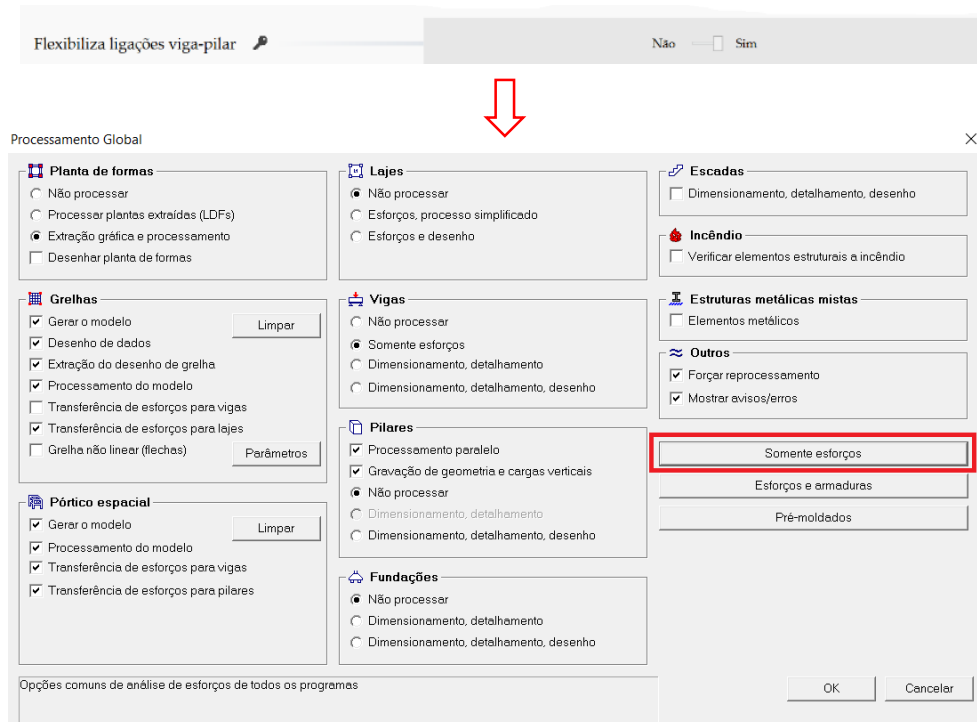
As Figuras 5.9 e 5.10 mostram como foi realizado cada processamento para análise. Na Figura 5.9, correspondente ao edifício “TCC- ISADORA” tem-se então que foi adotada a opção “sim” para o critério, e logo após foi realizado o processamento dos esforços para análise. Já no edifício “TCC- ISADORA- 1” foi adotada a opção “não” para o critério, conforme mostra a Figura 5.10, sendo em seguida também realizado o processamento dos esforços.

Figura 5.9— Consideração do critério de flexibilização no edifício “TCC- ISADORA” para o processamento.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.10— Consideração do critério de flexibilização no edifício “TCC- ISADORA- 1” para o processamento.



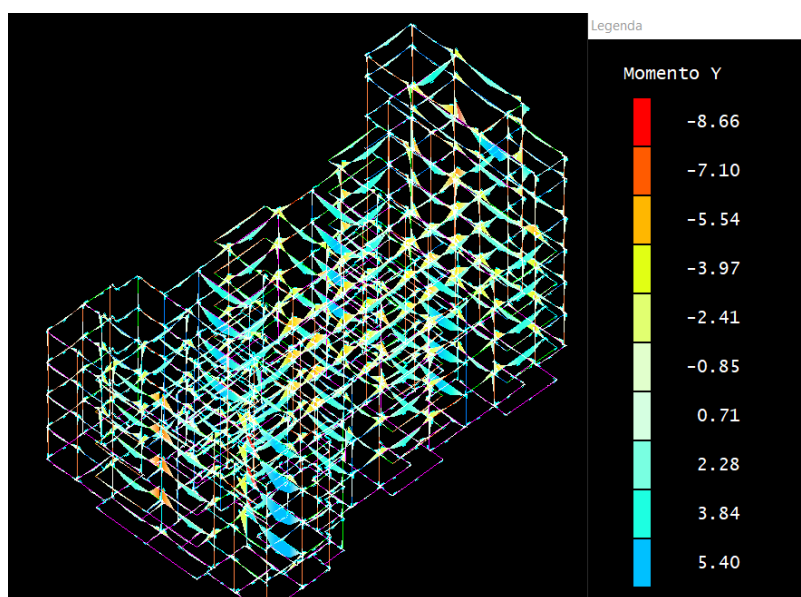
Fonte: CAD/TQS®.

5.5.1 Análise dos momentos fletores

Após o processamento do edifício para cada consideração do critério foi realizada a análise comparativa dos momentos fletores. Na Figura 5.11 é possível visualizar o diagrama de momento fletor para o pórtico espacial cujo processamento foi considerado a flexibilização das ligações, já a Figura 5.12 apresenta o diagrama de momento fletor para o pórtico espacial cujo processamento não foi considerado a flexibilização.

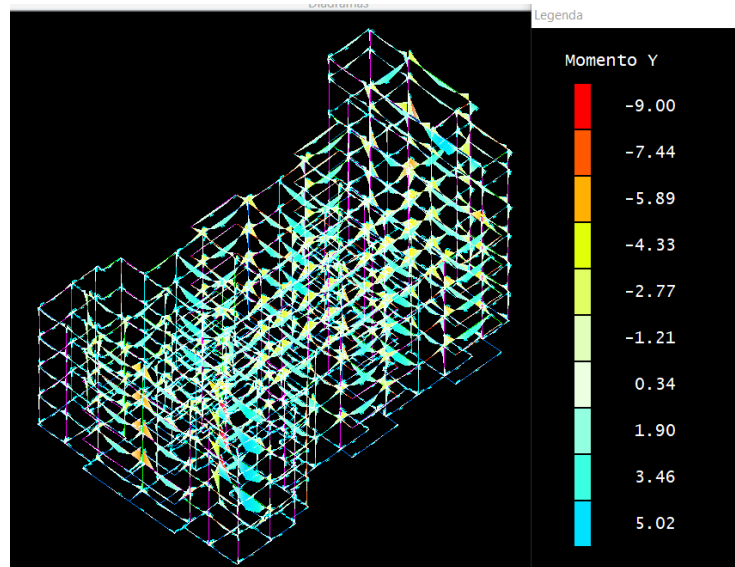
Além disso, foi analisada uma região do pórtico onde foi possível ver com clareza a diferença dos diagramas de momento fletor para as diferentes situações. A Figura 5.13 apresenta a região escolhida para a análise.

Figura 5.11— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial com a consideração da flexibilização.



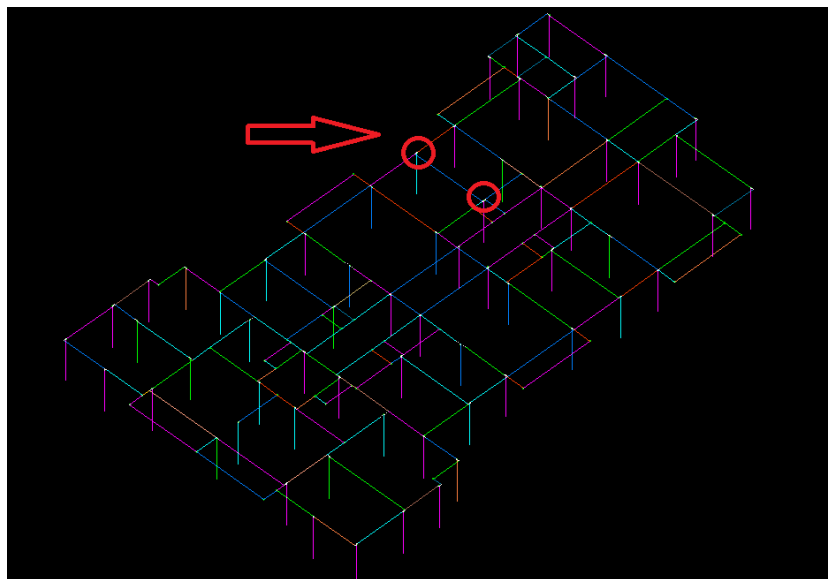
Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.12— Diagrama de momento fletor do pórtico espacial sem a consideração da flexibilização.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.13— Região escolhida para analisar a adoção da flexibilização entre as ligações.

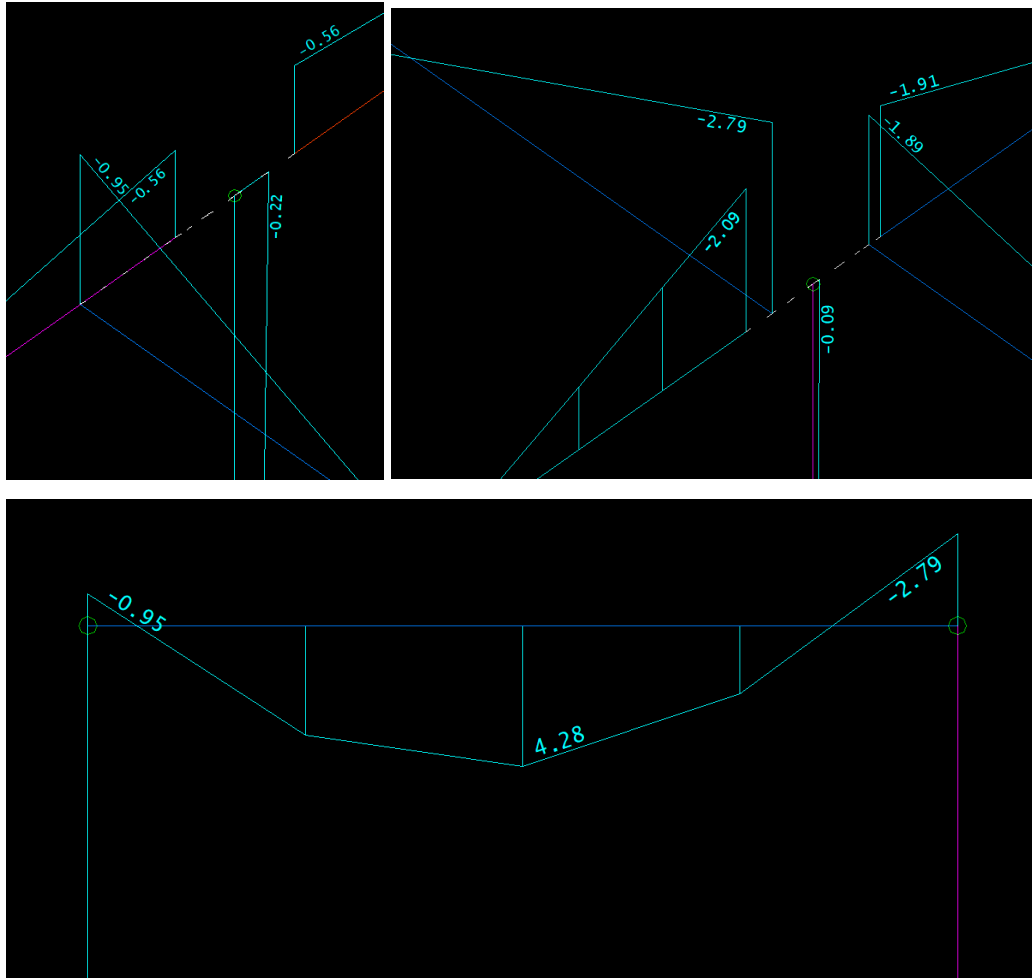


Fonte: CAD/TQS®.

Através da análise comparativa das Figuras 5.11 e 5.12 é possível perceber uma diferença de forma global entre a variação de momentos para as duas situações. Através disso, nota-se que quando há a consideração da flexibilização os momentos tendem a ser menores. Com base nisso, foi realizada também uma análise específica da região destacada pela Figura

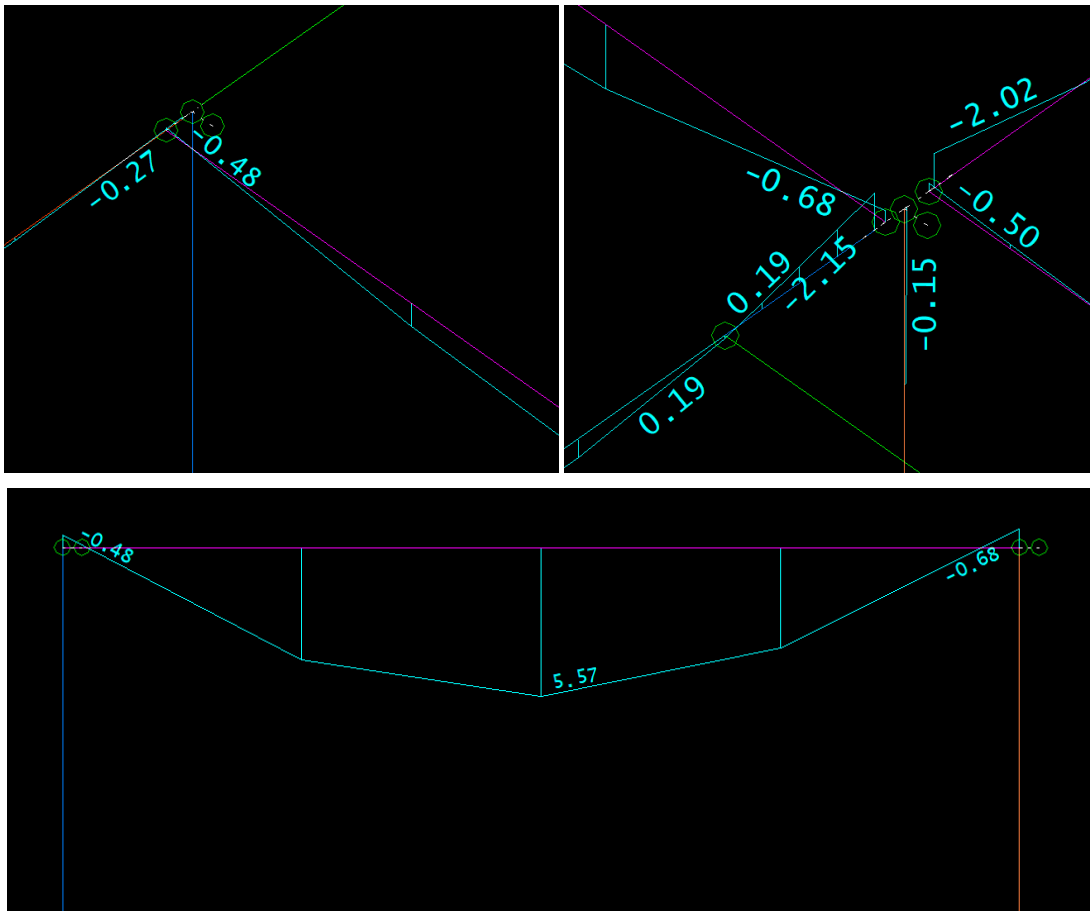
5.13. Para a região destacada é apresentado os diagramas de momento fletor para as duas situações analisadas. Sendo que na Figura 5.14 tem-se o diagrama de momento da região onde a ligação viga-pilar não é flexibilizada. Já a Figura 5.15 apresenta o diagrama onde a ligação está flexibilizada.

Figura 5.14— Diagrama de momento fletor: região com ligação não flexibilizadas.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.15— Diagrama de momento fletor: região com ligação flexibilizada.



Fonte: CAD/TQS®.

Salienta-se que ao comparar os momentos das Figuras 5.14 e 5.15, as variações de momentos obtidos para as duas situações não foram tão discrepantes, mas mesmo assim, foi possível analisar que de fato ao se considerar uma ligação rígida (Figura 5.14) a variação do momento é maior, comparado a consideração da ligação semirrígida (Figura 5.15). Possivelmente, em casos de edifícios maiores essa diferença de resultados será mais elevada. O que permite constatar que a consideração da flexibilização apresenta resultados mais próximos da realidade.

5.5.2 Deslocamento horizontal

De acordo com Kimura (2018), sabe-se que é comum que em situações onde há a consideração da flexibilização os deslocamentos horizontais sejam maiores. Com isso, a partir

dos dois processamentos realizados para cada consideração do critério, realizou-se a avaliação dos deslocamentos, e conseqüentemente dos parâmetros de estabilidade γ_z para cada situação.

Para a visualização dos deslocamentos obtidos na análise das duas situações de consideração do critério, foi feita a abertura do relatório de estabilidade global do edifício disponibilizado pelo programa, conforme mostram as Figura 5.16 e 5.17. Na Figura 5.16 tem-se o resultado do deslocamento horizontal na estrutura onde foi feita a consideração da flexibilização da ligação. Já na Figura 5.17, tem-se o deslocamento horizontal para o edifício onde não foi considerado o critério de flexibilização das ligações.

Logo, conforme a Figura 5.16, é visto que o deslocamento horizontal do edifício onde foi feita a consideração da flexibilização, resultou em um deslocamento de 0,11 cm nas direções de 90° e 270°. Enquanto que nas direções 0° e 180° o deslocamento foi de 0,37 cm. Tais deslocamentos foram reduzidos nas duas direções após a alteração do critério para não consideração da flexibilização (Ver Figura 5.17), onde o deslocamento horizontal foi de 0,07 cm nas direções 90° e 270°, e 0,20 cm nas direções 0° e 180°. Através da análise comparativa dos resultados foi possível observar de fato que há um aumento do deslocamento horizontal quando a ligação é considerada semirrígida.

Como consequência da variação dos deslocamentos tem-se então que na análise comparativa dos dois processamentos houve uma mudança no coeficiente γ_z , que também pode ser visualizado pelo relatório de estabilidade global do edifício. A Figura 5.18 e 5.19, mostram respectivamente, o valor de γ_z para a estrutura onde foi considerado a flexibilização e o valor calculado para a estrutura não considerou a flexibilização das ligações. Sendo possível observar uma diferença pequena entre os valores do coeficiente nas duas direções do edifício.

De forma análoga ao item 5.5.1, possivelmente, quanto maior a altura do edifício, mais expressivos seriam as diferenças dos parâmetros.

Figura 5.16— Deslocamentos horizontais no edifício com a consideração da flexibilização das ligações.

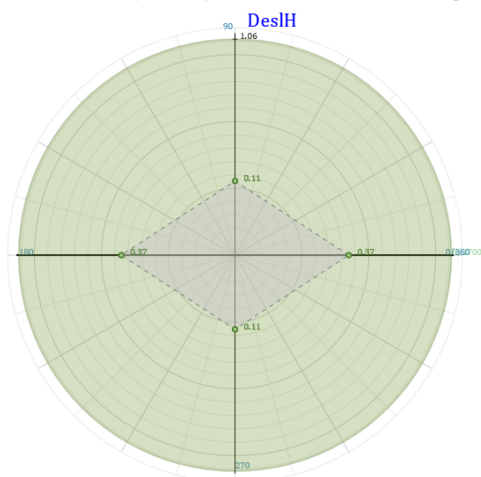
Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.11	H/17104.6	
6	270.00	0.11	H/17104.6	
7	0.00	0.37	H/ 4859.1	D
8	180.00	0.37	H/ 4859.1	

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.17— Deslocamentos horizontais no edifício sem a consideração da flexibilização das ligações.

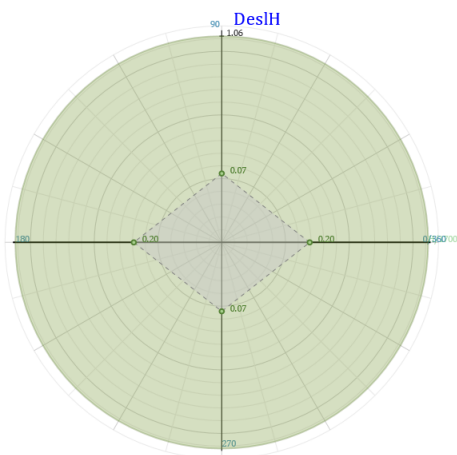
Deslocamentos máximos				
Caso	Ang	DeslH	Relat1	Obs
5	90.00	0.07	H/27662.3	
6	270.00	0.07	H/27662.3	
7	0.00	0.20	H/ 8905.5	D
8	180.00	0.20	H/ 8905.5	

Caso - Caso de carregamento de ELS

DeslH - Máximo deslocamento horizontal absoluto (cm)

Relat1 - Valor relativo à altura total do edifício

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.18— Coeficiente Gama-Z no edifício com a consideração da flexibilização das ligações.

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para os carregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	3017.7	5.8	23.7	179.5	48.9	1.043	0.627	B
6	270.0	3017.7	5.8	23.7	179.5	48.9	1.043	0.627	B
7	0.0	3017.7	9.4	20.8	200.9	48.9	1.064	0.963	B
8	180.0	3017.7	9.4	20.8	200.9	48.9	1.064	0.963	B

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

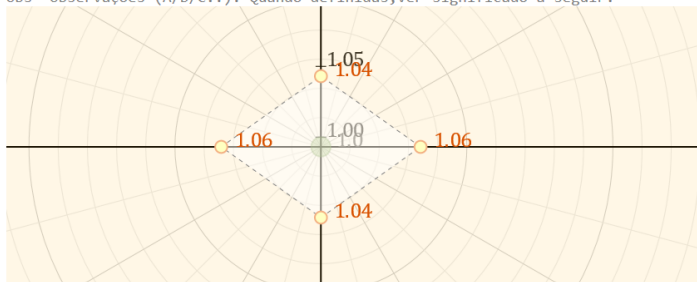
M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_{f3}))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica.

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.19— Coeficiente Gama-Z no edifício sem a consideração da flexibilização das ligações.

Parâmetro de estabilidade (γ_z) para os carregamentos simples de vento									
Caso	Ang	CTot	M2	CHor	M1	Mig	γ_z	α	Obs
5	90.0	3017.7	4.1	23.7	179.5	48.9	1.030	0.528	
6	270.0	3017.7	4.1	23.7	179.5	48.9	1.030	0.528	
7	0.0	3017.7	6.3	20.8	200.9	48.9	1.041	0.763	B
8	180.0	3017.7	6.3	20.8	200.9	48.9	1.041	0.763	B

Caso - Caso simples de vento

Ang - Ângulo de vento (graus).

CTot - Somatória de cargas verticais [tf] - característico.

M2 - Momento de 2a ordem das cargas verticais [tfm] - característico.

CHor - Cargas horizontais [tf] - característico.

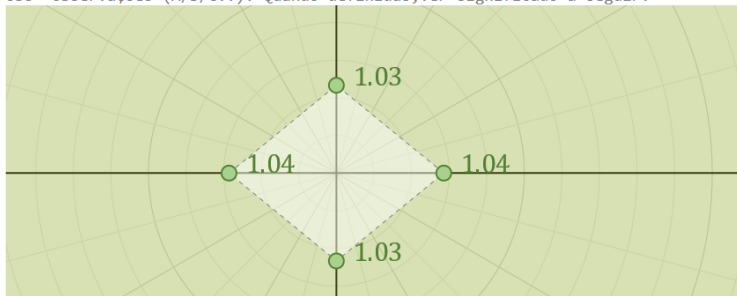
M1 - Momento de 1a ordem das cargas horizontais [tfm] - característico.

Mig - Momento de desaprumo por imperfeições globais [tfm] - característico.

γ_z - Coeficiente de avaliação da importância dos esforços de 2a ordem globais para estruturas reticuladas com pelo menos 4 andares. $(1/(1-M2/M1*\gamma_f/\gamma_{f3}))$.

α - Parâmetro de instabilidade para estrutura reticulada simétrica.

Obs - Observações (A/B/C..). Quando definidas, ver significado a seguir.



Fonte: CAD/TQS®.

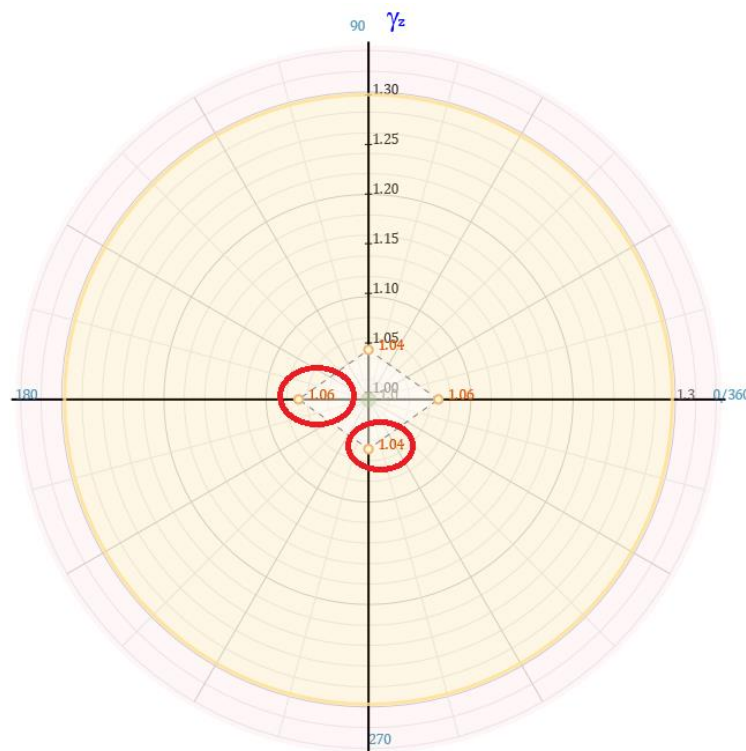
5.6 Análise do critério transferência dos esforços de 2º ordem (γ_Z)

No que se refere a análise ao coeficiente γ_Z tem-se que o programa permite que seja feita uma variação dos valores máximos e mínimos do coeficiente, que possivelmente poderia vir a atuar na variação das transferências de esforços do edifício.

Com base nisso, a partir dos valores calculados para Gama-Z obtidos pelo processamento do edifício com os valores *default*, fez-se duas variações do valor mínimo e máximo para o coeficiente.

A Figura 5.20 apresenta os valores obtidos para γ_Z diante o processamento do projeto com os critérios de pórtico espacial *default* do programa. Com base nos valores fez-se então a escolha de fazer uma análise cujo os valores de Gama-Z estivessem entre um intervalo cujo valor mínimo para o coeficiente seja menor que o valor calculado pelo programa (1 e 1,3). Já na segunda situação adotou-se um valor mínimo e máximo para o coeficiente cujo ambos valores fossem inferiores ao valor mínimo calculado (1 e 1,03). As Figuras 5.21 e 5.22 mostram, respectivamente, a configuração do critério para cada situação analisada.

Figura 5.20— Coeficiente Gama-Z calculado pelo edifício com os critérios *default*.



Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.21— Primeira consideração dos valores limites do Gama-Z na transferência de esforços.

Valor mínimo de γ_z	1
Valor máximo de γ_z	1,3

Fonte: CAD/TQS®.

Figura 5.22— Segunda consideração dos valores limites do Gama-Z na transferência de esforços.

Valor mínimo de γ_z	1
Valor máximo de γ_z	1,03

Fonte: CAD/TQS®.

A partir das duas considerações dos critérios fez-se então o processamento a fim de comparar se alguma região do edifício sofreria uma mudança na transferência de esforços. Feito os processamentos constatou-se que no edifício em questão não houve mudança na transferência de esforços devido a variação do γ_z . O que era de se esperar, visto que os valores de γ_z nas duas direções calculados pelo edifício foram baixos, ou seja a estrutura em estudos é considerada indeslocável (estrutura de nós fixos).

Salienta-se que na primeira situação, onde os limites para o coeficiente foram 1,0 e 1,3, a estrutura se enquadra como estrutura de nós fixos, logo não há a consideração da majoração dos esforços horizontais. Já na segunda situação, onde considerou-se os limites iguais a 1,0 e 1,03, a estrutura se enquadra como de nós móveis e, portanto, deve-se considerar os esforços globais de segunda ordem, através da majoração dos esforços horizontais pelo fator $0,95 \cdot \gamma_z$, que por sua vez resultou num valor igual a 1,0, ou seja, sem alterações numéricas.

Possivelmente, quanto maior o γ_z do projeto, maior seria a influência dos limites estabelecidos. Isso se dá ao fato de que a definição do limite máximo de Gama-Z, pode enquadrar a estrutura em nós fixos ou nós móveis, o que iria impactar na geração do fator de multiplicação $0,95 \cdot \gamma_z$, que ao ser multiplicado pelos esforços horizontais devido ao vento, poderia produzir maiores esforços de flexão nos pilares. Tem-se ainda que os valores elevados

para o coeficiente, de forma geral, acontecem em edifícios com maiores números de pavimentos. O que pode ser comprovado pelo estudo de Moncayo (2011), onde foi feita a análise comparativa dos valores de γ_z para edifícios com diferentes números de pavimentos, sendo possível constatar que quanto maior o número de pavimentos do edifício mais expressivo será o valor de γ_z .

CAPÍTULO VI - CONCLUSÕES

A partir do trabalho realizado foi possível obter uma compreensão mais ampla acerca do funcionamento do *software* TQS[®], bem como, sobre a importância do papel do engenheiro no manuseio adequado do programa.

Com base nas pesquisas bibliográficas realizadas, foi possível identificar os inúmeros critérios existentes no programa para a elaboração de um projeto, em especial os critérios relacionados a análise do pórtico espacial, que são critérios de grande relevância, visto que o modelo de pórtico espacial é empregado na análise global de um edifício.

Durante o desenvolvimento dos estudos bibliográficos relacionados aos critérios de pórtico espacial foi também possível perceber que o *software* TQS[®] adota entrada de valores, regidos por normas, sendo atualmente mais utilizado as prescrições da ABNT NBR 6118:2014. Com isso, tem-se que em algumas situações em que o *default* do programa refere-se a norma é recomendável que o critério não seja alterado, visto que estaria contra os fatores de segurança estabelecidos nas normativas. Logo, cabe sempre ao Engenheiro estar consultando as normas de segurança, para que caso seja necessário alterar um critério, o edifício continue a favor da segurança.

Conclui-se ainda que a utilização de um programa computacional para a elaboração de um projeto estrutural deve ser feita por um profissional com embasamentos teóricos na área de estruturas, pois assim é possível estar adotando os critérios mais adequados para que a estrutura tenha um comportamento satisfatório. Como exemplo disso, tem-se a análise dos critérios de flexibilização das ligações e da análise do coeficiente Gama-Z, onde foi possível perceber que as alterações de tais critérios poderiam impactar no comportamento da estrutura.

Na análise e aplicação da flexibilização das ligações foi possível concluir que é recomendado utilizar a consideração da flexibilização das ligações entre as vigas e pilares, visto que nessa situação o edifício simula um comportamento mais real possível. O que de fato foi confirmado nas análises dos diagramas de momento e nos deslocamentos para as duas considerações, onde os resultados obtidos mostraram que quando há a consideração da flexibilização os momentos são menores e os deslocamentos maiores. Com base nos estudos bibliográficos referentes ao critério, era de se esperar esse resultado para consideração das ligações semirrígidas.

Já no que se refere a transferência de esforços de 2º ordem foi possível constatar através da análise do edifício que ao variar os limites do coeficiente Gama-Z, não houve uma diferença

na transferência dos esforços. De acordo com os embasamentos teóricos relacionados ao critério, o resultado também era de se esperar, visto que o valor calculado do coeficiente para o edifício em estudo foi baixo. Em casos de edifícios com maior número de pavimentos, tem-se que possivelmente seria identificado diferenças na análise.

Vale ressaltar ainda que a partir das análises dos elementos estruturais, constatou-se que os elementos do projeto em estudo poderiam ter sido refinados, de forma a reduzir as seções dos elementos, e consequentemente o custo final do projeto. Todavia, conforme já citado anteriormente não houve a preocupação com o refinamento do projeto, por se tratar de um estudo voltado para análise.

Por fim, tem-se que os resultados da pesquisa foram satisfatórios, já que foi possível colocar em prática alguns conhecimentos adquiridos relativos a projetos estruturais, como também foi possível ter um conhecimento mais específico acerca do funcionamento do CAD/TQS®.

6.1 Sugestões para Futuras Pesquisas

Como sugestão para futuras pesquisas tem-se a realização de um projeto estrutural utilizando o programa TQS®, de forma que seja aprofundado conhecimentos acerca dos critérios de projeto referentes a análise do modelo de grelhas. Elaborar um projeto estrutural completo de uma edificação de pequeno porte (< 80 metros quadrados) e estudar outros critérios de projeto de pórticos, diferentes dos abordados no presente trabalho, afim de analisar os resultados de área de aço das escolhas definidas nos critérios de projeto.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9061**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ASSIS, Natália. **Processo de dimensionamento de estruturas em concreto armado utilizando o programa TQS**. 2019. 105 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

ALVA, G.M.S. **Concepção estrutural de edifícios em concreto armado**. Departamento de Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CARVALHO, R.C.; FIGUEIREDO Fº, J.R.; FURLAN Jr, S. **A utilização de programas computacionais da área de estruturas no ensino de engenharia civil**. XVII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia 2000. Anais. Natal, outubro de 2000.

DINIZ, C. W. S.; LAGES, E. N.; BARBOZA, A. S. R. Estabilidade global de sistemas estruturais de edifícios considerando a ligação viga-pilar parede. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.**, São Paulo, v.12, n.4, p.705-737. Agosto 2019. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198341952019000400705&lng=en&nrm=iso> Acesso em 23 de dezembro de 2020.

FORTES, Gustavo Licht. **Encurtamento de pilares de concreto armado e a influência do processo construtivo**. 2019. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas. São Paulo, 2019.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado. 2 ed.** São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

KRISTINER, Isabel. **Análise comparativa com enfoque na estabilidade global de edifícios de múltiplos pavimentos utilizando o modelo iv e o modelo vi do software cad/tqs.** 2019. 84 f. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade do Vale de Taquari, Lajeado, 2019.

MARTHA, Luiz Fernando. **Análise de estruturas:** conceitos e métodos básicos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

MONCAYO, Winston Junior Zumaeta. **Análise de segunda ordem global em edifícios com estrutura de concreto armado.** 2011. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SILVEIRA, G.L. **Análise das solicitações em Modelos de Grelha: determinação de parâmetros econômicos.** 2009. 70 f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

TQS. **Manual 02 – Visão Geral & Exemplo Completo.** V18.2º semestre. 2015.

TQS. **Manual 03 – Análise Estrutural.** V15.x. 2015.

TQS. **Manual 04 – Dimensionamento, Detalhamento e Desenho.** V15.x. 2015.

APÊNDICE

APÊNDICE A — Critérios de forma quanto a GEOMETRIA.

CRITÉRIOS FORMA - GEOMETRIA		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAIS	Verificação de dimensões mínimas	NBR-6118
	Verificar consistência de dimensões de fundações	Sim
	Consideração da área do fundo da viga	Sim
DIMENSÕES DEFAULT	Altura default das lajes	10 cm
	Profundidade default dos pilares	40 cm
	Largura default dos pilares	40 cm
	Altura default das vigas	50 cm
	Largura default das vigas	20 cm
DIMENSÕES MÍNIMAS - VIGAS	Largura mínima absoluta de vigas	10 cm
	Largura mínima de vigas	12 cm
	Largura mínima de viga parede	15 cm
	Distância mínima livre de furo em viga aos apoios	5 cm
DIMENSÕES MÍNIMAS – PILARES	Largura mínima absoluta de pilares	14 cm
	Largura mínima recomendada para pilares: 19 cm	19 cm
	Área mínima da seção transversal do pilar	360 cm ²
	Permite rebaixo do pilar maior que 60 cm na fundação	Não
DIMENSÕES MÍNIMAS – LAJES	Espessura mínima absoluta de lajes	7 cm
	Espessura mínima de lajes	8 cm
	Espessura mínima p/ lajes c/ veículos de peso ≤ 30 kN	10 cm
	Espessura mínima p/ lajes c/ veículos de peso > 30 kN	12 cm
	Espessura mínima para lajes protendidas	15 cm
	Espessura mínima de lajes protendidas em função do vão	42 fração
	Espessura mínima para lajes lisas	16 cm

(continua)

(conclusão)

	Espessura mínima para lajes cogumelos	14 cm
	Espessura mínima para laje nervurada	4 cm
	Espessura mín de mesa em função da distância entre nervuras	15 fração
	Espessura mínima de nervuras	5 cm
	Espessura mínima para lajes em balanço	10 cm
	Porcentagem de bordos livres para considerar uma laje em balanço	30%

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma quanto à CARGA

CRITÉRIOS FORMA - CARGAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAIS	Caso 1 de carregamento agrupa outros casos	Casos de 2 a 4
	Cálculo automático de peso próprio das lajes	Sim
	Cálculo automático de peso próprio das vigas e pilares	Sim
	Permitir a definição de alvenarias de altura zero	Não
	Distribuição de cargas concentradas	Ponderado
	Fator de engastamento parcial das lajes	1
	Homogeneização de cargas por lado de laje	Sim
	Espaçamento para discretização de carga por área - lajes	50 cm
	Gerar engastamento automático de lajes contíguas	Sim
	Distribuição de cargas em lados não apoiados de lajes pré-moldadas	12,5 %
	Cargas sobre elementos inclinados são inclinadas	Sim
DISCRETIZAÇÃO	Módulo de discretização para distribuição de cargas	10 cm

(continua)

(conclusão)

	Número mínimo de pontos discretos por eixo	10
	Número máximo de pontos discretos por eixo	150

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma quanto às VIGAS

CRITÉRIOS FORMA - VIGAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAIS	Código de redução de alívio de cortante	Não reduz o alívio
	Fator de alternância de cargas	0,85
	Multiplica ferros de vigas pelo número de pisos	Sim
	Colaboração das lajes na rigidez das vigas	Sim
	Largura colaborante máxima	0 cm
	Norma para cálculo de largura colaborante	NBR 6118
	Grava arquivo .DAT de vigas mesmo que ele já exista	Sim
EXTENSÃO DE APOIO	Método de cálculo das excentricidades de apoio	Em função da altura da viga
	Extensão fixa da viga dentro do apoio - EXTFIX	0 cm
	Extensão mínima da viga dentro do apoio - EXTMIN	0 cm
	Parcela da altura da viga como extensão de apoio - EXTHVG	0,3
LIGAÇÕES COM PILARES	Articula pilares intermediários	Não
	Redutor de mola para vigas - REDMOV	1
	Multiplica largura equivalente de pilar por apoio independente - LEPMOV	1
PÓRTICO SIMPLIFICADO	Usa COMPIS/COMPPII do edifício	Não
	Comprimento do pilar superior - COMPIS	0 m

(continua)

(conclusão)

	Comprimento do pilar inferior - COMPII	0 m
	Vinculação do pilar superior - VINPIS	Articula
	Vinculação do pilar inferior - VINPII	Articula

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma PILARES

CRITÉRIOS FORMA - PILARES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAIS	Grava arquivo de dados para o TQS-Pilar	Sim
	Altura default da fundação	100 cm
	Geração automática de estribos e grampos em pilares genéricos	Sim
	Carga estimada de pilar que nasce em viga de transição	Entre a carga estimada pelo pórtico e a definida pelo engenheiro, usar o valor de maior módulo
	Comprimento relativo de vão travado por laje para travar pilar	100 %
PROCESSO SIMPLIFICADO	Transfere ações de vigas para pilares	Sim
	Grava momento de excentricidade de apoio da viga no pilar	Sim
	Pilar deslocável	Não
	Grava momentos de pórtico simplificado de vigas	Não
	Inibe relatório de pórtico simplificado no resumo de cargas	Sim

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma LAJES

CRITÉRIOS FORMA - LAJES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAIS	Vinculações de lajes	Vinculações da forma
	Gravação automática do arquivo .LAJ	Sim
	Afastamento mínimo das formas de nervuras às bordas	0,5
	Área mínima para consideração dos furos nos quantitativos de lajes	0,5 m²
RELIÇADAS	Altura padrão das vigotas	3 cm
	Largura padrão das vigotas	13 cm
	Avanço lateral máximo de um bloco na viga	1,5 cm
	Tamanho mínimo de bloco de enchimento para distribuição automática	10 cm
	Espaçamento transversal para consideração de bidirecionalidade	105 cm
	Distância entre nervuras	Entre faces
	Espaçamento máximo entre nervuras p/ cálculo como lajes	100 cm
	Capas mínimas para lajes treliçadas convencionais	Valor definido de acordo com a altura do enchimento
	Capas mínimas para lajes treliçadas com mini painéis	Valor definido de acordo com a altura do enchimento
NERVURADAS MISTAS	Altura padrão dos perfis	5 cm
	Largura padrão dos perfis	14 cm
	Aba lateral dos perfis	2 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma ESCADAS

CRITÉRIOS FORMA - ESCADAS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Conforto mínimo	60 cm
Conforto máximo	64 cm
Passo ótimo	28 cm
Espelho ótimo	18 cm
Arredondamento do passo	0,5 cm
Arredondamento do espelho	0,5 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios de forma INSTALAÇÕES

CRITÉRIOS FORMA - INSTALAÇÕES	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Arredondamento de furo para tubos	5
Folga para furar em torno de tubos	2
Formato	Retangular

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios grelhas GERAIS

CRITÉRIOS GERAIS GRELHAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
APOIOS	Modelo de apoio	Elástico independente
	Divisor de mola à flexão (REDMOL)	4
	Divisor de mola à translação Z (REDMOZ)	1
	Multiplicador de largura de viga (LEPMOL)	1

(continua)

(conclusão)

6.2	Pé-direito p/ cálculo de mola	Considera os PDs inferior e superior
	Pé-direito fictício p/ cálculo de mola na fundação	1 m
VIGAS	Inércia da seção	Considera seção T em todo o vão
	Divisor de It p/ vigas SEM predominância de torção:	100
	Divisor de It p/ vigas COM predominância de torção	1
	Fator de engastamento parcial (ENGVIG)	1
	Divisor de inércia à flexão	1
ESCADAS	Modelo com escadas	Modelo c/ elementos dos pavimentos superior e inferior
GERAÇÃO DO MODELO	Precisão para igualar nós	0,002 m
	Distância mínima p/ aceitar intersecção próxima à extremidade de barra	0,05 m
	Tamanho p/ uma barra ser considerada pequena	0,01 m
	Comprimento máximo de barras de vigas	1 m
	Comprimento máximo de barras de lajes	1 m
	Espaçamento de discretização de cargas distribuídas	0,5 m
	Distância máxima entre carga concentrada e barra	1 m
DEFORMAÇÃO LENTA	Multiplicador de flecha elástica p/ simular deformação lenta	2,5
LISTAGEM	Listar reações de apoio	Listar
	Listar esforços em barras	Não Listar
	Listar deslocamentos nodais	Não Listar
	Listar dados de entrada	Não listar
ELEMENTOS FINITOS	Fator geométrico p/ conversão de placas	0,1

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios grelhas LAJES PLANAS

CRITÉRIOS GRELHAS LAJES PLANAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
BARRAS	Comprimento mínimo de barras	30 cm
	Cria barras rígidas dentro do pilar	Sim

(continua)

(conclusão)

	Liga pilar isolado a barras próximas	Sim
	Gera seção T para nervuras	Sim
	Distância mínima de barra a contorno	5 cm
	Largura relativa de barras	0
	Articular fechamentos de bordo	Articula
APOIOS	Gera apoio elástico independente	Sim
	Divisor de mola à flexão - REDMOL	4
	Divisor de mola à translação	4
	Limite de extensão p/ cálculo da mola	1,5
PLASTIFICAÇÕES	Divisor de inércia à torção	6
	Calcula momentos de WoodArmer	Sim
	Plastifica extremos das barras (vigas)	Sim
	Divisor de inércia à flexão (vigas)	40
	Comprimento da ponta plastificada (vigas)	0,01 m
	Engastamento parcial (vigas)	0
	Plastifica barras internas ao capitel	Plastifica
	Divisor de inércia à flexão (capitel)	2
	Plastifica apoio sobre pilares	Plastifica
	Divisor de inércia à flexão (pilares)	40
	Engastamento parcial (pilares)	0
	Divisor da área axial (lajes inclinadas)	10
MALHA	Espaçamento entre barras verticais	35 cm
	Espaçamento entre barras horizontais	35 cm
	Direção Principal	Única
	Direção principal da laje (ângulo)	0 °
	Origem abscissa X	0 cm
	Origem ordenada Y	0 cm
	Número adicional de divisões de espaçamento (capitéis)	1
	Espaçamento entre barras verticais (escadas)	0 cm
	Espaçamento entre barras horizontais (escadas)	0 cm
	Origem X da malha (escadas)	0 cm
	Origem Y da malha (escadas)	0 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios grelhas LAJES NERVURADAS

CRITÉRIOS GRELHAS LAJES NERVURADAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
BARRAS	Comprimento mínimo de barras	30 cm
	Cria barras rígidas dentro do pilar	Sim
	Liga pilar isolado a barras próximas	Sim
	Considera seção T nas nervuras	Sim

(continua)

(conclusão)

	Seção T p/ grelha não-linear	Grava
	Espaçamento p/ discretização	4
APOIOS	Apoio elástico independente da laje no pilar	Sim
	Divisor de mola à flexão (REDMOL)	4
	Divisor de mola à translação Z (REDMOZ)	4
	Limite dentro do pilar p/ cálculo de mola	1,5 .hlaje
PLASTIFICAÇÕES	Plastifica extremos das barras (vigas)	Não
	Divisor de inércia à flexão (vigas)	40
	Comprimento da ponta plastificada (vigas)	0,01 m
	Engastamento parcial de lajes (vigas)	0
	Usar mesma plastificação de apoio em vigas	Não, exclusiva
	Divisor exclusivo	200
	Divisor de torção de barras internas ao capitel	6
	Divisor de flexão de barras internas ao capitel	1,6
	Divisor de torção de barras no bordo do capitel	6
	Plastifica apoio sobre pilares no meio da laje	Sim
	Divisor de inércia à flexão	40
	Engastamento parcial	0

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios grelhas NÃO-LINEAR

CRITÉRIOS GRELHAS NÃO-LINEAR		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
MATERIAIS	Resistência característica à compressão	fck = 2500 tf/m2
	Resistência média à tração	Definir valor
	Valor da resistência média à tração	fct,m = 256,496 tf/m2
	Coeficiente de Poisson	$\nu = 0,2$
	Resistência característica à compressão c/ corpo de prova cúbico	Cálculo Automático
	Relação entre os módulos do aço e concreto	Es / Ecs = 0
AÇÕES	Combinações/Caso consideradas(o)	Todas ELS
ARMADURAS	Valor de d' nas vigas	4 cm
	Valor de d' nas lajes	2,5 cm
	Taxa de armadura mínima	0,15 %

(continua)

(conclusão)

MODELO	Consideração da fissuração	À flexão e à torção
	Número de subdivisões das barras (NDIV)	0 - Máximo entre as extremidades
	Comprimento máximo da barra (Grelha somente de vigas)	0,5 m
	Considerar plastificação	Somente articulações
ANÁLISE	Número total de incrementos de carga	12 incremento(s)
	Cálculo de flechas com rigidez final	Sim
FLEXÃO	Formulação (Diagrama M x 1/r)	ABNT NBR 6118 (Fórmula A)
	Coeficiente característico de aderência das barras	$\beta_1 = 1$
	Coeficiente de repetição de cargas	$\beta_2 = 0,8$
	Resistência à tração viga c/ seção retangular	1,5
	Resistência à tração viga c/ seção T	1,2
	Resistência à tração laje c/ seção retangular	1,5
	Resistência à tração laje c/ seção T	1,2
TORÇÃO	Coeficiente de no estágio I (Diagrama Rigidez x Mt)	0,3
	Coeficiente de rigidez no estágio II (Diagrama Rigidez x Mt)	0,05
	Elementos a considerar fissuração	Em barras de vigas e lajes
	Manter rigidez original do .GRE	Manter
FLUÊNCIA	Considerar fluência	Majoração pelos coeficientes α
	Calculo automático das parcelas de cargas	0
	Carga permanente imediata	5
	Carga permanente restante	5
	Carga variável	2
	Ponderador da carga variável	1
	Coeficiente α p/ cargas permanentes imediatas	$\alpha = 1,5$
	Coeficiente α p/ cargas permanentes restantes	$\alpha = 1,3$
	Coeficiente de fluência p/ cargas permanentes imediatas	$\phi = 1,5$
	Coeficiente de fluência p/ cargas permanentes restante	$\phi = 1,3$
	Incluir parcela imediata nas flechas após a construção das alvenarias	Não
FISSURAS	Coeficiente de conformação superficial	$\eta_1 = 2,25$

(continua)

(conclusão)

LIMITES	Divisor de vão que define flecha total limite em vigas e lajes	L / 250
	Divisor de vão que define flecha limite sob alvenaria após sua construção	L / 500
	Flecha limite sob alvenaria após sua construção	10 mm
	Rotação limite sob alvenaria após sua construção	0,0017 rad
	Abertura de fissura limite	0,2 mm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto aos MATERIAIS

CRITÉRIOS LAJES – MATERIAIS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CONCRETO	f_{ck}	250 kgf/cm ²
	$f_{ctk,sup}$	33,345 kgf/cm ²
	$f_{ctk,inf}$	17,955 kgf/cm ²
	γ_c	1,4
	Ecs	241500 kgf/cm ²
AÇO	γ_s	1,15
	Bitolas	Bitola (mm)
		4,2
		5
		6,3
		8
		10
		12,5
		16
		20
		25

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto aos COBRIMENTOS

CRITÉRIOS LAJES – COBRIMENTOS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ARMADURA POSITIVA	Direção principal/horizontal	2,5 cm
	Direção secundária/vertical	3,5 cm
ARMADURA NEGATIVA	Direção principal/horizontal	2,5 cm
	Direção secundária/vertical	3,5 cm
OUTROS	Cobrimento geral	2,5 cm
	Cobrim. alternativo p/ dobras	0 cm
	Cobrim. quando em contato com o solo	3 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto aos ESFORÇOS

CRITÉRIOS LAJES – ESFORÇOS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
γ_f	1,4

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à flexão quanto ao DIMENSIONAMENTO

CRITÉRIOS LAJES À FLEXÃO – DIMENSIONAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FLEXÃO SIMPLES	Norma para cálculo da seção transversal à flexão simples	2,5 cm
ARMADURA MÍNIMA	Verificação de armadura mínima [K6]	Verifica
	Cálculo de armadura mínima [K40]	NBR 6118
	Altura adotada [KL21]	Altura total (H)
	Seção adotada [K72]	Retangular
	Redução da armadura mínima positiva	Não
LAJES EM BALANÇO	Aplicar o majorador γ_n	Sim
REDISTRIBUIÇÃO E DUTILIDADE	Limite relativo da linha neutra	1
	Distância da armadura de compressão à face	0 cm
FLEXÃO COMPOSTA NORMAL	Verificar	Sim
	Armadura estimada na face superior	0 cm ² /m
	Armadura estimada na face inferior	1,5 cm ² /m
	Força normal a ser desprezada	$N_{sk} \leq 50 \% \cdot f_{ctk,inf}$
	Força normal para aviso de tração excessiva	50 % $f_{ctk,inf} * A_c$

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à flexão quanto ao DETALHAMENTO

CRITÉRIOS LAJES À FLEXÃO – DETALHAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
LAJES ARMADAS NUMA DIREÇÃO	Limitação de espaçamento [KL35]	2.H
LAJES EM BALANÇO	Número de bitolas p/ ancoragem	70
	Comprimento da dobra dupla	20 cm
DOBRAS FIXAS	Comprimento fixo de dobras positivas, na borda de vigas	0 cm
	Comprimento fixo das dobras negativas em nervuras, na borda de vigas	0 cm
	Comprimento da dobra dupla de ferro positivo/borda	0 cm

(continua)

(conclusão)

	Comprimento da dobra dupla de ferro negativo/borda	0 cm
ARREDONDAMENTO	Arredondamento das armaduras positivas [KL15]	Arredonda
	Arredondamento das armaduras negativos [KL16]	Arredonda de 5 em 5 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à flexão quanto a ANCORAGEM

CRITÉRIOS LAJES À FLEXÃO – ANCORAGEM		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma p/ ancoragem [KL3]	NBR6118:2014
GANCHOS	Considerar ganchos na ancoragem	Sim
DECALAGEM	Decalagem do diagrama R_{sd}	1,5 d
	Decalagem do diagrama R_{sd} (p/ lajes nervuradas)	0,75 d
	Ancoragem da envoltória de diagramas c/ decalagem	Não
ARMADURA POSITIVA	Dobras na armadura positiva [KL11]	Dobra somente nos apoios de borda

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à flexão quanto a ANCORAGEM ARMADURA NEGATIVA

CRITÉRIOS LAJES À FLEXÃO – ANCORAGEM ARMADURA NEGATIVA		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
COMPRIMENTO MÍNIMO	Cálculo de comprimento mínimo [KL26]	Só cobre o diagrama
	Comprimento mínimo	80 cm
	Compr. mín. fora do apoio	0 bitolas
	Divisor do maior dos menores vãos	4
EM VIGA LARGA	Comprimento máximo de ferro	0 cm
	Comprimento máximo de ferro em num. de bitolas	0
NA BORDA	Divisor do Comprimento Negativo de Borda	4
	Ancoragem dos Ferros Negativos de Borda	Nº de bitolas 0

(continua)

(conclusão)

NOS APOIOS	Direção dos Ferros Negativos nos Apoios [KL27]	Ferros nas direções principais da laje
	Armadura Negativa na Borda [KL4]	Arma negativo em todos os apoios
	Armadura negativa nos apoios intermediários [KL18]	Arma nos apoios intermediários independente da vinculação declarada
	Armadura mínima de ligação mesa-alma	1,5 cm ² /m

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à flexão quanto a DISTRIBUIÇÃO NEGATIVA

CRITÉRIOS LAJES À FLEXÃO – DISTRIBUIÇÃO NEGATIVA		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GERAÇÃO AUTOMÁTICA	Geração automática	Sim
	Bitola	5 mm
	Espaçamento	20 cm
	DWG com detalhe típico	DETDIS
CARANGUEJOS	Detalhamento com caranguejos	Não
	Bitola	0 mm
	Distância à face da viga	0 cm
	Espaçamento entre caranguejos adicionais	0 cm
	Espaçamento lateral	0 cm
	Comprimento reto	0 cm
	Comprimento da pata de sustentação	0 cm
	DWG com detalhe típico	DETDIS2
	Bitola negativa de referência	0 mm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto ao CISALHAMENTO

CRITÉRIOS LAJES - CISALHAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma	NBR 6118
DIMENSIONAMENTO	Modelo de cálculo	Modelo 1
	Ângulo α da armadura	90 °
	Taxa da armadura de tração	0 %

(continua)

(conclusão)

AGRUPAMENTO	Agrupamento de faixas contíguas [KL30]	Agrupa faixas pelo esforço máximo
DETALHAMENTO	Largura limite de nervura para imposição de 1 ramo	10

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à punção quanto ao DIMENSIONAMENTO

CRITÉRIOS LAJES À PUNÇÃO - DIMENSIONAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma	NBR 6118
PERÍMETROS CRÍTICOS	Comprimento máximo para eliminação de concavidades	20 d
	Comprimento máximo para agrupamento de trechos	1,5 d
	Distância entre perímetros críticos paralelos	2 d
	Número de perímetros críticos a mostrar inicialmente	3
MAJORADOR DE RESISTÊNCIA	Majorador de τ_{Rd2}	1
INCLINAÇÃO DA ARMADURA	Inclinação da armadura de punção	90 °
TAXA DE ARMADURA	Considerar as armaduras	Somente de flexão negativa
	Máxima taxa de armadura de flexão a considerar	1 %
	Mínima taxa de armadura de flexão a considerar	0,15 %
	Distância para a medição da taxa de armadura de flexão	3 d
RESISTÊNCIA DO AÇO	Altura h_1 das lajes	15 cm
	f_{ywd} dos estribos ($hlaje < h_1$)	2500 kgf/cm ²
	f_{ywd} dos conectores ($hlaje < h_1$)	3000 kgf/cm ²
	Altura h_2 das lajes	35 cm
	f_{ywd} dos estribos e conectores ($hlaje > h_2$)	4350 kgf/cm ²

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes à punção quanto ao DETALHAMENTO

CRITÉRIOS LAJES À PUNÇÃO - DETALHAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
TIPO DE ARMADURA	Tipo de armadura	Estribo
DISTRIBUIÇÃO DE ARMADURAS	Distribuição de armaduras	Uniforme
	Ângulo máximo para distribuição radial	150 °
	Comprimento mínimo de trecho com pelo menos uma bitola	10 cm
	Número de bitolas adicionais para distribuição uniforme	2
ESPAÇAMENTO MÍNIMO	Espaçamento mínimo de armaduras	10 cm
LINHAS DE CONECTORES	Número de linhas de armaduras	3
	Espaçamento inicial das linhas de armaduras	0,5 d
	Espaçamento intermediário das linhas de armaduras	0,75 d

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto às FAIXAS POSITIVAS

CRITÉRIOS LAJES – FAIXAS POSITIVAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
DIREÇÃO	Direção das faixas positivas	Principal
AGRUPAMENTO	Agrupa faixas positivas	Sim
	% do Mmax que define valor mínimo para Mpond (%M1)	80 %
	% do Mpond que define desvio p/ agrupar faixa (%M2)	30 %

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto às FAIXAS NEGATIVAS

CRITÉRIOS LAJES – FAIXAS NEGATIVAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
DIREÇÃO	Direção das faixas negativas	Geométrica
VALOR MÍNIMO	Valor mínimo de momento considerado	0,04 tf.m/m
UNIÃO LATERAL	Une faixas lateralmente	Sim
	Distância máxima absoluta (DMáx1)	50 cm
	Distância máxima relativa (DMáx2)	0
AGRUPAMENTO	Agrupa faixas negativas	Sim

(continua)

(conclusão)

AGRUPAMENTO MOMENTO FLETOR	Homogeneização simplificada	Não
	% do M_{max} que define valor mínimo para M_{pond} (%M1)	50 %
	% do M_{pond} que define desvio p/ agrupar faixa (%M2)	20 %
	Considera $M1d,min$ por faixa no cálculo do M_{pond}	Sim
AGRUPAMENTO FAIXAS DE APOIO	Homogeneização simplificada	Não
	% do C_{max} que define valor mínimo para C_{pond} (%C1)	50 %
	% do C_{pond} que define desvio p/ agrupar faixa (%C2)	20 %
	Tolerância absoluta p/ desvio acima do máximo	50
	Forçar comprimento máximo em vez de ponderado	Não
	Homogeneizar comprimentos minimizando armadura	Sim
AGRUPAMENTO FAIXAS DO MEIO	% do C_{max} que define valor mínimo para C_{pond} (%C1)	50 %
	% do C_{pond} que define desvio p/ agrupar faixa (%C2)	20
HOMOGENEIZAÇÃO INTERATIVA	Modo de homogeneização interativa de faixas	Área

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes NERVURADAS

CRITÉRIOS LAJES NERVURADAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CISALHAMENTO	Distância entre nervuras	Entre faces
	Distância máxima entre nervuras para desprezar $A_{s,min}$ ($b_w < b_w,lim$)	50 cm
	Largura das nervuras (b_w,lim)	12 cm
	Distância máxima entre nervuras para desprezar $A_{s,min}$ ($b_w \geq b_w,lim$)	90 cm
DISTRIBUIÇÃO DE ARMADURA NEGATIVA NAS NERVURAS	Razão entre a armadura negativa nas nervuras na região fora do capitel e a armadura total	0,4
	Razão entre a armadura negativa nas nervuras na região dentro do capitel e a armadura total	0,4
ESPAÇAMENTO ENTRE CAMADAS	Espaçamento vertical entre camadas	0 cm

(continua)

(conclusão)

ARMADURA (-) NO CAPITEL	Contidas exclusivamente no capitel [KL24]	Ancorados na capa
	Verifica nas nervuras ligadas ao capitel [KL25]	Verifica
DISTRIBUIÇÃO DE ARMADURA NEGATIVA DE BASE E COMPLEMENTAR	Armadura de base [KL28]	Distribuída na capa
	Armaduras complementares [KL29]	Distribuída na capa
ALOJAMENTOS	Editar tabela de alojamento positivo (Flexão positiva)	0
	Editar tabela de alojamento negativo (Flexão negativa)	0
	Editar tabela de alojamento transversal (Cisalhamento)	0

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes TRELIÇADAS

CRITÉRIOS LAJES TRELIÇADAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
SAPATA DE CONCRETO	f_{ck}	0 kgf/cm ²
	Cobrimento	1 cm
ARMADURA COMPLEMENTAR	Alojar a armadura complementar fora da vigota	Não
	Alojamento a ser adotado	Todos os alojamentos
CISALHAMENTO	Tolerância da LN	5 % Altura
ANCORAGEM	Extensão do apoio da vigota	0 cm
	Comprimento da dobra do ferro complementar	10 $\varnothing$
	Ancorar a armadura complementar dentro da viga	Sim
	Ancoragem mínima do ferro complementar	10 $\varnothing$
ESCORAMENTO	Tolerância p/ escolha do espaçamento	10 cm
IDENTIFICAÇÃO DE VIGOTAS	Prefixo de identificação	VT
	Numeração única por laje	Sim
PLANTA DE FABRICAÇÃO	Máscara da tabela de vigotas	MASTRE1
	Máscara da planta de fabricação	MASTRE2
	Máscara da tabela de enchimentos	MASTRE3
	Altura máxima da planta	40 cm
BLOCO DE ENCHIMENTO	Tamanho mínimo aproveitável	50 % bloco

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios
lajes NERVURADAS MISTAS

CRITÉRIOS LAJES NERVURADAS MISTAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FABRICANTE	Nome do Fabricante	Tuper
PROPRIEDADES PERFIS	f_{yk}	3450 kgf/cm ²
	E	2000000 kgf/cm ²
	γ_{a1}	1,1
CISALHAMENTO LONGITUDINAL	Verificar	Não
	Coeficiente m	3000 Kgf/cm ²
	Coeficiente k	0,05 Kgf/cm ²
	γ	1,25

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto ao PROCESSO SIMPLIFICADO

CRITÉRIOS LAJES – PROCESSO SIMPLIFICADO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CRITÉRIOS GERAIS	Altura mínima das lajes	0 cm
	Identificação das lajes	Não identifica as lajes no desenho
CONCRETO	VEC - Para Cálculo do E do Concreto	7600

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes quanto aos ESFORÇOS DO PROCESSO SIMPLIFICADO

CRITÉRIOS LAJES – ESFORÇOS PROCESSO SIMPLIFICADO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
MAJORADOR	Majorador de cargas concentradas	0
ESFORÇOS ELÁSTICOS	Tabela para Cálculo de Esforços Elásticos	BETON20.BIN
ENGASTAMENTO	KL1 - Engastamento	Valem as vinculações definidas na planta de formas
	ENGPARG - Engastamento parcial	0,7
CÁLCULO	KL9 - Cálculo de Esforços	Processo elástico
	DSMPOS - Distribuição de Momentos	0,7

(continua)

(conclusão)

CÁLCULO PLÁSTICO	KL10 - Relação Estimada MY/MX (Plástico)	λ é igual a M_y/M_x calculado no processo elástico. No Método III, os momentos M_y e M_x são equilibrados antes de serem usados no cálculo
	λ fixo	0
	Redução do comprimento LX para cálculo de flecha	0
	KL38 - Flecha no método plástico	Considera os 4 lados apoiados
	Relação momento negativo / momento positivo	1,2
EQUILÍBRIO DE MOMENTOS	KL2 - Compensação de momento positivo	A variação do momento negativo em um lado da laje aumentará em 50% o momento positivo correspondente, se esta variação for positiva
	KL14 - Equilíbrio de momentos negativos	O momento negativo é a média dos momentos calculados nos apoios, limitado no mínimo por 80% do maior
	KL37 - Homogeneização de negativos de lajes contíguas	Cada trecho armado com o momento equilibrado exclusivamente no trecho
	KL39 - Equilíbrio de negativos no apoio	Média ponderada pelo inverso da inércia de cada laje

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

**APÊNDICE A — Critérios lajes quanto aos ESFORÇOS DO PROCESSO SIMPLIFICADO
À FLEXÃO**

CRITÉRIOS LAJES – ESFORÇOS PROCESSO SIMPLIFICADO FLEXÃO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
COTAGEM	KL6 - Cotagem dos ferros negativos	Os ferros negativos têm a ponta cotada em relação à face do apoio
ARMADURA MÍNIMA	KL22 - Alternativo de As mínimo	Cálculo conforme K40
DETALHAMENTO BALANÇO	Índice da primeira configuração da tabela de negativo p/ balanço	1 °
ANCORAGEM	Comprimento da dobra de sustentação do negativo	10 cm
	KL33 - Extensão do ferro positivo	Estende o ferro positivo até as faces
ALTERNÂNCIA	KL20 - Cálculo da alternância positiva	O comprimento de alternância positivo é calculado nas duas direções como: Lado Lx menor = $(1 - \text{FATOR}) \times Lx$ e Lado Ly maior = $(1 - \text{FATOR}) \times Ly$
LAJES ARMADAS EM UMA DIREÇÃO	Bitola secundária	0 mm
	Espaçamento secundário	0 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes PROTENDIDAS

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS		
	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
TIPO DE PROTENSÃO	Protensão c/ cordoalhas	Não-aderentes (engraxadas)
CONCRETO	f_{ck}	250 kgf/cm ²
	E_c	2415000 tf/m ²
	f_{ckj}	210 kgf/cm ²
AÇO	E_p (ELU)	2,1E+07 tf/m ²
	E_p (ELS)	2,1E+07 tf/m ²

(continua)

(conclusão)

	E_s	2,1E+07 tf/m ²
ATRITOS E PERDAS	Coeficiente de atrito (cordoalhas aderentes)	0,2
	Coeficiente de atrito (cordoalhas engraxadas)	0,08
	Coeficiente de perda/metro (cordoalhas aderentes)	0,01
	Coeficiente de perda/metro (cordoalhas engraxadas)	0,0035
SEÇÕES	Espaçamento máximo	50 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes protendidas quanto aos ESFORÇOS

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS - ESFORÇOS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
MOMENTOS FLETORES	Momento negativo	Médio
	Momento positivo	Máximo
HIPERESTÁTICO	Hiperestático	Atuação somente nas RPU's
	Largura adicional de RPU's	50 cm
FORÇA NORMAL	Protensão	Calculada a partir das forças definidas nos critérios

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes protendidas quanto aos PONDERADORES (ELU)

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS – PONDERADORES (ELU)		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ATO DA PROTENSÃO	γ_c	0
	γ_p	1,1
	γ_f	1
	$\gamma_{\text{hiper}} \text{ favorável}$	0,9
	$\gamma_{\text{hiper}} \text{ desfavorável}$	1
	Tensão máxima de compressão	0,7 * f_{ckj}
	Tensão máxima de tração	1,2 * f_{ctkj}
INFINITO	$\gamma_{\text{hiper}} \text{ favorável}$	0,9
	$\gamma_{\text{hiper}} \text{ desfavorável}$	1,2

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes protendidas quanto aos PONDERADORES (ELS)

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS – PONDERADORES (ELS)		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FISSURAÇÃO	$w_{k,lim}$	0,2 mm
	η_b	1,5
TENSÕES	Tensão máxima de compressão (quase permanente)	$0,6 * f_{ck}$
	Tensão máxima de tração (quase permanente)	$0 * f_{ctk}$
	Tensão máxima de compressão (comb frequentes)	$0,6 * f_{ck}$
	Tensão máxima de tração (comb frequentes)	$1,5 * f_{ctk}$

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes protendidas quanto ao DETALHAMENTO

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS – DETALHAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FISSURAÇÃO	Criação automática	Sim, fazendo a projeção dos pilares que estão no interior da RPU
COBRIMENTOS	Positivo horizontal	3,5 cm
	Positivo vertical	4,5 cm
	Negativo horizontal	3,5 cm
	Negativo vertical	4,5 cm
ESPAÇAMENTOS	Máximo entre cabos centrais	$8 * h_{laje}$
	Mínimo entre cabos centrais	10 cm
	Máximo entre cabos sobre pilares	$8 * h_{laje}$
	Mínimo entre cabos sobre pilares	10 cm
	Mínimo entre ancoragens	10 cm
GEOMETRIA DE CABOS	Cabo nasce e morre no CG da laje	Sim
	Comprimento reto na ancoragem ativa	50 cm
	Comprimento reto na ancoragem passiva	50 cm
	Extensão do trecho reto nos vãos (%A)	0 %
	Extensão da semi-parábola nos vãos extremos (%B)	50 %
	Extensão da semi-parábola sobre apoios internos (%C)	25 %
	Distância mínima p/ curvatura de cabo	200 cm
	% p/ consideração de M(+) no detalhamento de cabos	15 %

(continua)

(conclusão)

	Pontos de inflexão	Local dos pontos de inflexão é exatamente onde o momento da laje se anula (SIM)
ANCORAGEM	Cobrimento da armadura passiva	4,2 cm
OUTROS CRITÉRIOS	Número padrão de cordoalhas por cabo	2
	Bitola padrão p/ detalhamento	12,7 mm
	Redutor quantidade inicial de cabos	0

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios lajes protendidas quanto a ARMADURA PASSIVA (ELU)

CRITÉRIOS LAJES PROTENDIDAS – ARMADURA PASSIVA (ELU)		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CRITÉRIOS GERAIS	Calcular no ato da protensão	Sim
	Bitola p/ altura útil	10 mm
	Acréscimo de tensão na armadura protendida	NBR 6118
	% de acréscimo de tensão na armadura protendida	30 %
ARMADURA MÍNIMA	Processo de cálculo de $A_{s,min}$	$A_{s,min} = 0,03 \times f_{ck} / f_{yk} \geq 0,15\%$
ARMADURA DUPLA	% de armadura de tração limite	4 %
	% de armadura de compressão	0,5 %

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto aos MATERIAIS

CRITÉRIOS VIGAS - MATERIAIS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CONCRETO	f_{ck}	250 kgf/cm ²
	Módulo de Elasticidade - E	241,5 tf/cm ²
	Coeficiente multiplicador do Módulo de elasticidade	0,63
	γ_c	1,4
AÇO	γ_s	1,15

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto aos COBRIMENTOS

CRITÉRIOS VIGAS - COBRIMENTOS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
COBRIMENTOS	Cobrimento de armaduras	3 cm
	Cobrimento diferenciado para armaduras superiores	0 cm
	Cobrimento para vigas em contato com o solo	3 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto aos ESFORÇOS

CRITÉRIOS VIGAS - ESFORÇOS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
COEFICIENTE DE MAJORAÇÃO	γ_f	1,4
REGIME DE CÁLCULO	Cálculo de esforços solicitantes [K1]	(K1=0) Regime elástico
LIMITE PARA DESPREZAR	Porcentagem de $M_{k,min}$	0 %
MOMENTO POSITIVO MÍNIMO	Verifica por modelo simplificado [K87]	(K87=0) Sim, apenas p/ modelo convencional. Não verifica quando é pórtico ou grelha
	Verifica valor empírico [K8]	(K8=0) Sim, verifica $M_{min} = B * H^2 / 250$
	Vinculação p/ viga c/ dois apoios e balanço [K58]	(K58=0) Apoio junto ao balanço engastado

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto ao DIMENSIONAMENTO

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO - DIMENSIONAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma	NBR 6118:2007/2014
SEÇÃO TRANSVERSAL	Dimensões da laje para cálculo da mesa colaborante [K116]	(K116=1) NBR 6118:2007/2014

(continua)

(conclusão)

DUTILIDADE	Limitação da altura da Linha Neutra - x/d [K124]	NBR 6118:2014
	Emite aviso se $\delta < 0,75$ (Estruturas de nós fixos) [K125]	Sim
	Emite aviso se $0,75 < \delta < 0,90$ (Estruturas de nós móveis) [K126]	Sim
	Valor de referência da LN (x/d) para $M[-]$ - análise linear	0,37
	Valor de referência da LN (x/d) para $M[-]$ no balanço	0,45
	Valor de referência da LN (x/d) para $M[-]$ - análise linear com redistribuição do $M[-]$	0,25
	Valor de referência da LN (x/d) para $M[+]$ no meio do vão	0,45
	Valor de referência da LN (x/d) para $M[-]$ - análise plástica	0,25

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto ao DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – DIMENSIONAMENTO FLEXÃO SIMPLES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ARMADURA MÍNIMA	Limites para armadura mínima [K40]	(K40=2) NBR 6118
	Armadura mínima e momento mínimo da viga - Seção T [K72]	(K72=1) Calculados considerando seção T
MOMENTO NEGATIVO MÍNIMO EMPÍRICO	Verifica momentos mínimos nos apoios extremos [K7]	(K7=3 a 6) Não, mas adota arm. mínima nos extremos dos vãos
MOMENTO NEGATIVO MÍNIMO EMPÍRICO/ ARMADURAS NEGATIVAS COMPLEMENTARES	Arm. negativa complementar nos extremos	(K7=6)
	Viga apoiando em viga	arm. neg. é nula. Coloca-se apenas porta-estribos
	Viga apoiando em pilar	arm. neg. é igual a 1/7 da arm. pos. do vão adjacente

(continua)

(conclusão)

ARMADURA POSITIVA NECESSÁRIA JUNTO AOS APOIOS	Armadura que chega nos apoios (compressão diagonal) [K60]	(K60=2) Extremo Asapo = $(AL / d * Vd) / f_{yd}$ Interno Asapo = 0
	Consideração As no apoio = 1/3, 1/4, 1/5 do Asvão [K64]	(K64=0) Considera 1/3, 1/4 (M-/M+ < 0.5)
	Armadura mínima, região inferior, nos extremos dos vãos [K131]	Não considera
ARMADURA DUPLA	Razão entre armadura comprimida e tracionada	0,33
	Distância da armadura de compressão à face	0 m
TOLERÂNCIA ARMADURA POSITIVA	Fator de correção da área de armadura positiva	1
ESTRIBO PARA LARGURA ÚTIL	Bitola de estribo para calculo de largura útil	6 mm
ALOJAMENTO DE BARRAS	Consideração de armadura simétrica [K5]	(K5=0) Não
% PARA ARMADURA EXCESSIVA	Percentual mínimo para aviso de excesso de armadura	50 %
% CG DA ARMADURA	Percentual máximo para baricentro das armaduras	10 %

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto ao DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO COMPOSTA

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – DIMENSIONAMENTO FLEXÃO COMPOSTA		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FORÇA NORMAL	Força normal a ser desprezada	0 % $f_{ck.inf} * A_c$
	Força de tração elevada	0 % $f_{ctk.inf} * A_c$
	Força de compressão elevada	0 % $f_{ck} * A_c$
SEÇÃO TRANSVERSAL	Seção transversal	Seção T
	Espaçamento da armadura da laje	c/ 0 cm
RELATÓRIO	Montar relatório	Resumido

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto ao ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – ESPAÇAMENTO ENTRE BARRAS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Espaçamento mínimo da armadura inferior	2 cm
Espaçamento adicional para armadura inferior	0 cm
Espaçamento mínimo da armadura superior	2 cm
Espaçamento adicional para armadura superior	2 cm
Valor agregado graúdo	1,5 cm
Largura útil para não considerar o espaçamento adicional	0 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto a ANCORAGEM DE ARMADURA

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – ANCORAGEM DE ARMADURA	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Decalagem dos diagramas para ancoragem [K68]	(K68=3) NBR 6118:2014
Correção da decalagem do diagrama	1
Ancoragem sobre diagrama de momentos [K46]	(K46=0) Otimizado
Comprimento limite para agrupamento de ferros	50 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto a ANCORAGEM DE ARMADURA POSITIVA

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – ANCORAGEM ARMADURA POSITIVA	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Ancoragem de armadura positiva [K4]	(K4=1) NBR6118:2014
Prolongamento além da face de pilares internos	15 diâmetros
Valor da bitola que chega nos apoios extremos [K10]	(K10=1) Não obedece (R + 5.5 ϕ)
Prolongamento de barras até apoios [K47]	(K47=0) Ancoragem normal no vão
Imposição de ganchos [K69]	(K69=1) Impõe somente em barras com dobras
Ancoragem em mais de uma camada [K73]	(K73=1) Em mais de uma camada
Aumento do comprimento de ancoragem [K74]	(K74=0) Não aumenta a ancoragem - normal
Limitação do comprimento do gancho (K74=1) [K114]	(K114=1) Limita a 13 * ϕ
Decalagem extra dos diagramas (% Hviga)	0 %
Decalagem extra dos diagramas (% Lvao)	0 %

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

**APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto a ANCORAGEM DE ARMADURA
NEGATIVA**

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – ANCORAGEM ARMADURA NEGATIVA	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Número de diâmetros para cálculo do comprimento vertical das armaduras nos extremos dos balanços	20 diâmetros
Ferros retos e/ou com dobras [K16]	(K16=1) Conforme manual – Fluxograma reduzido
Redução do comprimento de ancoragem [K34]	(K34=0) Não reduz
Limitação do comprimento das dobras verticais [K38]	(K38=1) Limita dobra vertical e altera área
Uniformização de posições de armaduras [K13]	(K13=0) Não uniformiza
Ponto de corte das barras junto a pilares grandes [K91]	(K91=1) Considera valor do pilar
Decalagem extra dos diagramas (% Hviga)	0 %
Decalagem extra dos diagramas (% Lvao)	0 %
Alteração da ancoragem que chega em apoios extremos	0 diâmetros

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto a ANCORAGEM COM GRAMPOS

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – ANCORAGEM COM GRAMPOS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Grampos inferiores em função da largura do pilar [K48]	(K48=0) Conforme calculado
Grampos nos extremos dos balanços [K67]	(K67=0) Calculados e detalhados
Tensão nos grampos [K89]	(K89=1) Sempre fy _d
Primeira bitola de grampos na tabela de flexão	6,3 mm
Segunda bitola de grampos na tabela de flexão	8 mm
Terceira bitola de grampos na tabela de flexão	10 mm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas à flexão quanto a IMPOSIÇÃO DE ARMADURAS

CRITÉRIOS VIGAS À FLEXÃO – IMPOSIÇÃO DE ARMADURAS	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Vigas de compatibilização - bitola imposta na face inferior	0 mm
Vigas de compatibilização - bitola imposta na face superior	0 mm
Seleção de bitola de ferros complementares [K120]	(K120=0) Mesmo diâmetro dos ferros à flexão

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto a ARMADURA LATERAL

CRITÉRIOS VIGAS – ARMADURA LATERAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Dimensionamento da arm. lateral [K115]	(K115=1) NBR 6118:2007/2014
ALTURA MÍNIMA	Altura mínima da viga para colocação da arm. lateral	59 cm
BITOLAS	Primeira bitola de arm. lateral	5 mm
	Segunda bitola de arm. lateral	6,3 mm
	Terceira bitola de arm. lateral	8 mm
ARMADURA LATERAL POR VÃO	Dobras para armadura lateral [K100]	(K100=2) Se traspasse > dimensão do apoio, detalha com dobras
	Número mínimo de $\varnothing$ de traspasse sem torção	30
	Número máximo de $\varnothing$ de traspasse sem torção	30
	Número mínimo de $\varnothing$ de traspasse com torção	30
	Número máximo de $\varnothing$ de traspasse com torção	60
	Número máximo de $\varnothing$ de comprimento de dobra	30
VIGA DE COMPATIBILIZAÇÃO	Bitola imposta para arm. Lateral	4,2 mm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto ao PORTA ESTRIBO

CRITÉRIOS VIGAS – PORTA ESTRIBO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
BITOLAS	Bitolas para porta estribos [K31]	(K31=0) Tabela de flexão
	Bitola de porta estribo positivo - (K31=0)	5 mm
	Bitola de porta estribo negativo [K3]	(K3=3) Conforme a seleção (BIT1, ..., BIT4)
	BIT1 - Bitola negativa escolhida (K31=0)	5 mm
	BIT2 - Bitola negativa escolhida (K31=0)	6,3 mm
	BIT3 - Bitola negativa escolhida (K31=0)	8 mm
	BIT4 - Bitola negativa escolhida (K31=0)	10 mm

(continua)

(conclusão)

COMPARAÇÃO DE PORTA ESTRIBOS COM ESTRIBO	Comparação de porta estribos com estribos [K24]	(K24=1) Compara
DOBRAS EM PORTA ESTRIBO NEGATIVO	Dobras em porta estribo negativo [K29]	(K29=1) Com dobras nos extremos das vigas
LIMITES	Comprimento limite para colocação de porta estribo negativo	150 cm
	Comprimento limite para colocação de porta estribo positivo	150 cm
COMPRIMENTO VERTICAL DO PORTA ESTRIBO	Comprimento negativo	30 diâmetros
	Comprimento positivo	20 diâmetros
ANCORAGEM	Comprimento de ancoragem de porta estribo	48 diâmetros

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas ao cisalhamento e torção quanto ao DIMENSIONAMENTO

CRITÉRIOS VIGAS AO CISALHAMENTO E TORÇÃO - DIMENSIONAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma [K117]	NBR 6118:2007/2014
MODELO DE CÁLCULO	Modelo de cálculo para força cortante	Modelo I
	Ângulo da biela de compressão	45 °
	Estimativa de altura útil	0
ARMADURA DE SUSPENSÃO	Consideração de armadura de suspensão [K66]	(K66=2) Asw ou As,susp é adotada. Faixa p/a >= h
ESFORÇOS	Redução da força cortante nos extremos dos vãos [K15]	(K15=1) Reduz conforme NBR6118 para cargas concentradas e distribuídas
	Redução da cortante quando o apoio é uma viga [K93]	(K93=1) Não reduz

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas ao cisalhamento e torção quanto ao DETALHAMENTO

CRITÉRIOS VIGAS AO CISALHAMENTO E TORÇÃO - DETALHAMENTO		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FAIXAS DE ESTRIBOS	Seleção de faixas de estribos [K36]	(K36=0) Faixas de estribos com comprimentos originais aproximados de 150 cm. Limite do número de faixas=5. Faixas podem ser agrupadas. Armadura de suspensão afeta o número de faixas.
	Número de faixas de estribo	0
ESPAÇAMENTOS	Espaçamento mínimo de estribos	10 cm
	Espaçamento máximo de estribos	30 cm
	Número de espaçamentos padronizados	9
UNIFORMIZAÇÃO DE ESTRIBOS	Uniformização de estribos [K49]	(K49=0) Estribo calculado

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas ao cisalhamento e torção quanto a TORÇÃO

CRITÉRIOS VIGAS AO CISALHAMENTO E TORÇÃO - TORÇÃO	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Limite momento de torção	5 %
Limitação do espaçamento considerando torção	Considera força cortante e torção
Otimização no detalhamento de estribos de 4 e 6 ramos	Otimizado
Cálculo da área total para estribos de 4 e 6 ramos	Considera que a parcela do estribo periférico que resiste à força cortante é igual a parcela resistida pelos ramos internos

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas ao cisalhamento e torção quanto a SELEÇÃO DE BITOLAS

CRITÉRIOS VIGAS AO CISALHAMENTO E TORÇÃO – SELEÇÃO DE BITOLAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ESCOLHA DE BITOLA	Escolha de bitola para detalhamento [K35]	(K35=2) A adoção da bitola é realizada de forma semelhante ao caso da primeira opção, com a seguinte diferença: o espaçamento considerado para a comparação com o espaçamento desejado, não é o calculado, mas sim, o espaçamento calculado e já arredondado de acordo com os espaçamentos padronizados fornecidos
BITOLAS PREFERENCIAIS	Primeira bitola de cisalhamento	5 mm
	Segunda bitola de cisalhamento	6,3 mm
	Terceira bitola de cisalhamento	8 mm
VIGAS DE COMPATIBILIZAÇÃO	Bitola para arm. transversal	8 mm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto a FISSURAÇÃO

CRITÉRIOS VIGAS - FISSURAÇÃO	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Cálculo da bitola de fissuração [K53]	(K53=1) A bitola limite para fissuração é calculada de forma aproximada
Abertura de fissuras admissível	"0.3 mm"

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto as FLECHAS

CRITÉRIOS VIGAS - FLECHAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CÁLCULO DE FLECHAS	Cálculo de flechas (deformação) [K52]	(K52=1) O cálculo "em serviço" , no Estádio II, considerando a deformação "real" da seção e a deformação lenta
FATOR ENTRE CARGA PERMANENTE E TOTAL	Fator entre carga permanente e total	0,85
RELATÓRIO	Impressão de valores de flechas [K121]	(K121=0) Não imprime os valores aproximados

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto aos FUROS DAS ARMADURAS

LONGITUDINAIS

CRITÉRIOS VIGAS – FUROS ARMADURAS LONGITUDINAIS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Possibilitar dispensa segundo a ABNT NBR 6118	Não
LARGURA MÁXIMA	Largura máxima dos furos	0 x H
DIMENSIONAMENTO	Decomposição do momento fletor em forças	Entre a força de compressão no concreto e à tração nas armaduras
	Multiplicador de momentos nos banzos	0
	Processo de dimensionamento	Considera as armaduras longitudinais detalhadas na viga
	Considerar a mesa colaborante no banzo comprimido	Não
BITOLAS	Bitola máxima	0 mm

(continua)

(conclusão)

	Bitola mínima	0 mm
IGUALAR ARMADURA LONGITUDINAIS	Igualar sob e sobre os furos pelo máximo	Sim
ANCORAGEM	Definir o comprimento de ancoragem	Segundo a NBR 6118
	Multiplicador para considerar decalagem do diagrama	0

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto aos FUROS DAS ARMADURAS
TRANSVERSAIS

CRITÉRIOS VIGAS – FUROS ARMADURAS TRANSVERSAIS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
DIMENSIONAMENTO	Distribuição da força cortante nos banzos	Através da atribuição de parcelas fixas
	Parcela da cortante no banzo comprimido	$0 * V_d$
	Parcela da cortante no banzo tracionado	$0 * V_d$
	Força cortante nas laterais do furo	$0 * V_d$
	Extensão das faixas de estribos nas laterais do furo	Variável com H
	Extensão das faixas de estribos nas laterais do furo - Variável com H	$0 * H$
	Espaçamento mínimo entre estribos	0 cm
	Usar estribos existentes no vão da viga	Sim, somente igualar a bitola (se maior)
DETALHAMENTO DE ESTRIBOS	Largura mínima dos banzos para detalhamento de estribos	0 cm
	Altura mínima dos banzos para detalhamento de estribos	0 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios vigas quanto ao RELATÓRIO

CRITÉRIOS VIGAS - RELATÓRIO	
ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
Gera DWG separado da armação dos furos	Não
Cotar distância do furo ao apoio	Sim

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios GERAIS pilares

CRITÉRIOS GERAIS PILAR		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
NORMA	Norma	ABNT NBR 6118:2014
COBRIMENTOS	Cobrimento geral	$c = 3 \text{ cm}$
	Trechos em contato c/ o solo	$c = 4,5 \text{ cm}$
CONCRETO	Resistência característica à compressão	$f_{ck} = 0,25 \text{ tf/cm}^2$
	Módulo de elasticidade longitudinal	$E = 28000 \text{ MPa}$
	Número de pares fck/lance	0
PILAR PAREDE	Relação entre BxH de pilar parede	5

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios esforços pilar quanto as IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS

CRITÉRIOS ESFORÇOS PILAR – IMPERFEIÇÕES GEOMÉTRICAS		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
CÁLCULO	Processo de cálculo	Momento mínimo ($M1, d_{min}$)
	Análise conjunta no pilar-padrão c/ N, M, $1/r$	Não
MOMENTO MÍNIMO	Parâmetro b1	0
	Parâmetro b2	0
	Aplicação do $M1d, min$ [K132]	Não altera MB
ÂNGULO MÍNIMO	Ângulo mínimo p/ cálculo $f(\theta 1)$	$\theta 1, min = 0 \text{ rad}$

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios esforços pilar quanto aos EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM

CRITÉRIOS ESFORÇOS PILAR – EFEITOS DE SEGUNDA ORDEM		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
EFEITOS LOCAIS	Esbeltez máxima p/ métodos aproximados ($1/r_{prox}$ ou κ_{prox})	$\lambda_{lim2} = 90$
	Esbeltez máxima p/ pilar-padrão c/ N, M, $1/r$	$\lambda_{lim3} = 140$
	Método aprox. p/ pilares c/ seção retangular [K102]	Pilar-padrão c/ rigidez κ aproximada
	Método aprox. p/ pilares c/ seção não-retangular [K103]	Pilar-padrão c/ $1/r$ aproximada
PILAR-PAREDE	Esbeltez máxima p/ desprezar efeitos localizados	35

(continua)

(conclusão)

	Esbeltez máxima p/ pilar-padrão c/ diagramas N, M, 1/r	0
	Verifica efeitos locais [K133]	Sim
COMPRIMENTO EQUIVALENTE	Cálculo do comprimento equivalente [K131]	Entre eixos das vigas
MÉTODO GERAL (P- δ)	Cálculo de rigidezes	Pela reta
	Número de divisões no trecho do pilar	10
	Tolerância relativa em deslocamento	0,0001 m
	Deslocamento absoluto máximo	0,1 m
	Número máximo de iterações	20

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto aos ESFORÇOS

CRITÉRIOS ESFORÇOS PILAR		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
FLUÊNCIA	Cálcula fluência	Conforme ABNT NBR 6118
	Coefficiente de fluência	$\phi = 2,5$
	Esbeltez máxima p/ desprezar fluência	$\lambda_{flu} = 0$
PROCESSO SIMPLIFICADO	Propaga momentos externos em pilares indeslocáveis [K96]	Sim
	Projeta excentricidade no ponto médio [K73]	Sim
	Transforma flexão composta oblíqua em normal [K5]	Não

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios dimensionamento pilar quanto aos PONDERADORES

CRITÉRIOS DIMENSIONAMENTO PILAR - PONDERADORES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
MINORADORES E MAJORADORES	γ_s	1,15
	γ_c	1,4
	γ_f	1,4
	Redutor de f_{yd} para pilares tracionados: $f_{ydfinal}$	50 % f_{yd}
	Coefficiente adicional para pilares com dimensão menor que o limite	1,4
MÉTODO GERAL	Coefficiente de ponderação γ_f	1,4
	Parcela de γ_f que considera as aproximações de projeto	1,1

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios dimensionamento pilar quanto às VERIFICAÇÕES

CRITÉRIOS DIMENSIONAMENTO PILAR - VERIFICAÇÕES		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
TRAÇÃO	Emitir erro e tarja quando a força de tração exceder	$F > 50 \% f_{ctk.inf} \cdot A_c$
EXCENRICIDADE GEOMÉTRICA	Excentricidade Acidental + Força Concentrada Excêntrica em 1 Direção [K3]	Para o caso de força normal centrada, é igual à opção anterior. Para a força normal excêntrica, consideram-se todas as situações da flexão composta oblíqua
	Excentricidade Acidental + Força Concentrada Excêntrica em 2 Eixos [K4]	Considera os 3 casos distintos de flexão composta oblíqua.

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto às BITOLAS DA ARMADURA LONGITUDINAL

CRITÉRIOS PILAR – BITOLAS ARMADURA LONGITUDINAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
SELEÇÃO	Porcentagem limite - Seleção no lance	15
	Número de bitolas a mais	3
	Porcentagem limite - Seleção entre lances	15
	Seleção das Bitolas entre Lances [K39]	(K39=1) Realizada considerando simultaneamente todos os lances do pilar com a variação das bitolas "suavizadas"

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto às TAXAS DE ARMADURA LONGITUDINAL

CRITÉRIOS PILAR – TAXAS ARMADURA LONGITUDINAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
LIMITE MÁXIMO DE ARMADURA	Máximo de armadura na seção transversal	8 %
LIMITE MÍNIMO DE ARMADURA	Mínimo de armadura na seção transversal	0,4 %
	Último piso para armadura mínima diferenciada	0
	Taxa de armadura diferenciada	0,4 %
	Porcentagem de As mínimo - quando utilizado M1d,min	0 %
ESPAÇAMENTO	Diâmetro do agregado (brita)	2,5

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto aos ARRANQUES DA ARMADURA LONGITUDINAL

CRITÉRIOS PILAR – ARRANQUE ARMADURA LONGITUDINAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
GRAMPOS	Grampos verticais no último pavimento [K62]	Coloca
	Bitola	0,5 cm
GRAMPOS VERTICAIS NO ÚLTIMO PAVIMENTO	Comprimento vertical dos grampos	40 cm
	Espaçamento horizontal dos grampos	10 cm
ARRANQUE	Barras de arranque do pilar [K46]	(K46=3) Idem ao item anterior, com a verificação do comprimento de traspasse das barras
	Detalhamento das "Patinhas" [K54]	Sem "patinhas" -> Com exceção feita ao critério K46, quinta opção
	Juntar armadura do arranque e primeiro lance	Não
	Detalha arranque	No detalhamento do pilar

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

**APÊNDICE A — Critérios pilar quanto ao TRASPASSE DO ARRANQUE DA
ARMADURA LONGITUDINAL**

CRITÉRIOS PILAR – TRASPASSE ARRANQUE ARMADURA LONGITUDINAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
TRASPASSE	Comprimento de Traspasse [K69]	Em função da bitola. Necessário o fornecimento dos valores que, multiplicado pelo ϕ da bitola.
	Número de barras de traspasse [K27]	(K27=3) Corresponde obrigatoriamente ao número de barras do lance superior, independente dos valores das bitolas dos lances.
	Compr de traspasse das barras dos chumbadores [K29]	(K29=0) Corresponde ao comprimento de traspasse da bitola maior entre as bitolas do lance em estudo e do lance superior
	Alternância da Armadura de Traspasse	Não faz a alternância
	Distância Mínima entre Traspases	30 cm
ENGARRAFAMENTO	Valor Limite para Engarrafamento de Barras	5,5 cm
BARRAS DE “CHUMBADORES”	Barras de "Chumbadores" [K28]	(K28=2) Similar ao primeiro caso, porém com $[\phi_{chu}]$ sendo a maior dentre as dos dois lances
ALTERNÂNCIA	Taxa de Armadura para Alternância	6

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto a ARMADURA TRANSVERSAL

CRITÉRIOS PILAR – ARMADURA TRANSVERSAL		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
BITOLAS	Aumenta o comprimento dos grampos - [K77]	Aumenta o comprimento dos grampos de 2.øg
	Redução do espaçamento de estribos para concreto acima de 50 MPa	50 %
	Estribos/Grampos na Região de Traspasse [K20]	Reduz o espaçamento à metade se o diâmetro da bitola longitudinal [ølon] for $\geq$ a 16 mm
	Estribos/Grampos - ø Equivalente [K76]	ø t é a bitola real da barra do estribo
ESTRIBOS PILAR PAREDE	Porcentagem cálculo As estribo pilar parede retangular	0 %
	Porcentagem cálculo As estribo Pilar Parede	25 %
	Espaçamento mínimo entre estribos	0 cm

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).

APÊNDICE A — Critérios pilar quanto a SEÇÃO RETANGULAR

CRITÉRIOS PILAR – SEÇÃO RETANGULAR		
TÓPICO	ESPECIFICAÇÃO DO CRITÉRIO	DEFAULT PROGRAMA
ESPAÇAMENTOS	Espaç. mínimo entre barras longitudinais	6 cm
	Espaç. máximo entre barras longitudinais	30 cm
GRAMPOS	Espaç. máximo entre grampos	40 ø t
CONFIGURAÇÃO	Configuração existente	1

Fonte: Listagem programa CAD/TQS (adaptado).