



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Ígo Silva Da Cruz

**Modelagem de projeto estrutural da sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense,
utilizando o TQS**

PAU DOS FERROS – RN
2024

Ígo Silva Da Cruz

**Modelagem de projeto estrutural da sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense,
utilizando o TQS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Henrique
Borges De Oliveira

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

C955m Cruz, Ígo Silva da.
Modelagem de projeto estrutural da sede da
Orquestra Filarmônica Pauferrense, utilizando o
TQS / Ígo Silva da Cruz. - 2024.
94 f. : il.

Orientador: Leonardo Henrique Borges De
Oliveira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2024.

1. TQS. 2. Modelagem estrutural. 3. Modelo IV.
4. Estrutura de concreto. I. Oliveira, Leonardo
Henrique Borges De , orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Pau dos Ferros
Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva
CRB: 15/966

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

Ígo Silva Da Cruz

**Modelagem de projeto estrutural da sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense,
utilizando o TQS**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Leonardo Henrique Borges De Oliveira Dr. Presidente
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA

Fábio Fleming Leitão, UFAC.
Universidade Federal do Acre - UFAC

Franklyn Ayrán Alves Monteiro, UFERSA.
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
SISTEMAS DE BIBLIOTECA DA UFERSA**

**CARTA DE ANUÊNCIA DO ORIENTADOR PARA A ENTREGA DA VERSÃO
FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – GRADUAÇÃO.**

Ao Sistema de Bibliotecas da UFERSA.

Eu, Leonardo Henrique Borges De Oliveira, na qualidade de orientador (a) de Ígo Silva da Cruz, aluno(a) de graduação do curso de Engenharia Civil declaro que o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi corrigido de acordo com as recomendações da comissão examinadora e autorizo a entrega da versão final ao Sistema de Bibliotecas de UFERSA, para fins de divulgação em base de dados.

Título do trabalho: Modelagem de projeto estrutural da sede da orquestra filarmônica pauperrense, utilizando o TQS

Data de defesa: 25/10/2024

Pau dos Ferros, 03, de Novembro de 2024.

**LEONARDO
HENRIQUE BORGES
DE
OLIVEIRA:08219316446**

Assinado digitalmente por LEONARDO HENRIQUE
BORGES DE OLIVEIRA:08219316446
ND: CN=LEONARDO HENRIQUE BORGES DE
OLIVEIRA:08219316446, OU=UFERSA -
Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=
ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2024.11.03 12:02:08-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2024.2.0

Assinatura do(a) orientador(a).

AGRADECIMENTOS

Primordialmente sou grato a Deus, meu Senhor, por me dar forças para seguir em frente e conseguir vencer cada etapa que me leva ao meu propósito de vida.

Agradeço aos meus pais Maria Marineusa e Geraldo Saraiva, que durante todo o percurso sempre me apoiaram e o esforço deles que possibilitou essa conquista.

Agradeço Ivamara Millena a minha companheira de vida e luz dos meus dias, agradeço a ti por toda paciência e companheirismo nessa nossa luta para aprimorarmos nosso conhecimento e exercer nossa profissão tão estimada, engenheiros.

Agradeço ao Prof. Dr. Leonardo Henrique Borges de Oliveira, por ter se disposto a me orientar, compartilhando ensinamentos, sempre se disponibilizando a esclarecer dúvidas e incentivando a melhorar cada vez mais meus conhecimentos.

Sou grato a Fábio Fleming Leitão e Franklyn Ayran Alves Monteiro, pela disponibilidade em participar da banca, agregando na melhoria do presente estudo, com suas sugestões e pontos de vistas.

RESUMO

O propósito principal deste estudo foi criar um guia que descreva as etapas de modelagem estrutural de um edifício com base em uma planta arquitetônica. O programa utilizado para este propósito foi TQS, o qual é amplamente utilizado para a elaboração de projetos estruturais de edificações em concreto armado, integrando diversos sistemas que funcionam de maneira conjunta e automatizada, o que por sua vez formam as ferramentas essenciais para a criação da concepção estrutural, análise de estruturas, cálculo de dimensões e detalhamento de armaduras, além da geração de desenhos e confecção das plantas finais. Como resultado, este trabalho obteve um manual de modelagem estrutural com abordagem didática, fazendo uso de ilustrações e uma exposição clara dos passos a serem seguidos, o que por sua vez tem o intuito de facilitar a compreensão dos conceitos apresentados. Sendo assim, é possível contato com essas ferramentas desde a etapa acadêmica prepara os futuros engenheiros para criar projetos com maior precisão e eficiência, alinhando a prática profissional às exigências do mercado e às normas técnicas.

Palavras-chave: TQS; modelagem estrutural; modelo IV; estrutura de concreto.

ABSTRACT

The main purpose of this study was to create a guide that describes the structural modeling steps of a building based on an architectural plan. The TQS program used for this purpose was developed for the elaboration of structural projects for reinforced concrete constructions, integrating several systems that work in a joint and automated manner, which in turn form the essential tools for creating structural design, analysis of structures, calculation of dimensions and detailing of reinforcement, in addition to generating drawings and creating final plans. The results obtained demonstrated that, by following current technical standards and using the appropriate tools, the structural advancement of the project becomes easier and clearer. This is attributed to the visual interface of the TQS software, which is easy to understand, allowing the structure to be drawn up and evaluated quickly, without raising doubts throughout the project development.

Keywords: TQS, structural modeling, Model IV, Concrete structure.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 - COBRIMENTO DA ARMADURA.....	24
 FIGURA 3. 1 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS APLICADOS À ELABORAÇÃO DO ESTUDO PARA DESENVOLVER UM PROJETO BÁSICO DA SEDE DA ORQUESTRA FILARMÔNICA PAUFERRENSE.	30
FIGURA 3. 2 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE PAU DOS FERROS - RN, NO BRASIL E LOCALIZADO DO TERRENO DO PROJETO DA OFP.	32
FIGURA 3. 3 - LAYOUT DO PAVIMENTO SUBSOLO.	34
FIGURA 3. 4 - PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO AUDITÓRIO.....	35
FIGURA 3. 5 - PLANTA BAIXA DO PRIMEIRO PAVIMENTO.	36
FIGURA 3. 6 - PLANTA BAIXA DO SEGUNDO PAVIMENTO.	37
FIGURA 3. 7 - PLANTA BAIXA DA COBERTURA.....	38
 FIGURA 4. 1 - PÁGINA INICIAL DO SITE TQS.	40
FIGURA 4. 2 - PÁGINA DO TQS ESTUDANTE.....	40
FIGURA 4. 3 - ALGUNS PROCEDIMENTOS DO PROCESSO DE INSTALAÇÃO DO TQS.....	41
FIGURA 4. 4 - PRIMEIRO ACESSO AO TQS.....	41
FIGURA 4. 5 - TELA INICIAL TQS.....	42
FIGURA 4. 6 - GERENCIADOR TQS.	42
FIGURA 4. 7 - NOVO EDIFÍCIO.....	43
FIGURA 4. 8 - DEFINIÇÕES DO PROJETO.	43
FIGURA 4. 9 - DEFINIÇÃO MODELO DO PROJETO.	44
FIGURA 4. 10 - INSERÇÃO DOS PAVIMENTOS.	45
FIGURA 4. 11 - DADOS GERAIS E DEFINIÇÃO DE COTA.	46
FIGURA 4. 12 - DEFINIÇÃO DOS FCK'S.	47
FIGURA 4. 13 - DEFININDO CLASSE DE AGRESSIVIDADE GLOBAL.	47
FIGURA 4. 14 - DEFININDO OS COBRIMENTOS.....	48
FIGURA 4. 15 - CARGA DE VENTO.	49
FIGURA 4. 16 - DEFININDO OS DADOS DO VENTO.	49
FIGURA 4. 17 - VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO.	50
FIGURA 4. 18 - CATEGORIA DE RUGOSIDADE.	51
FIGURA 4. 19 - CLASSE DA EDIFICAÇÃO.	52
FIGURA 4. 20 - ATUALIZAR DWG.....	52
FIGURA 4. 21 - ABRINDO PASTA GERAIS.	53
FIGURA 4. 22 - PASTA GERAIS.	54

FIGURA 4. 23 - PLANTAS DOS PAVIMENTOS INSERIDA NA PASTA GERAIS.	54
FIGURA 4. 24 - MODELADOR ESTRUTURAL.	55
FIGURA 4. 25 - INSERIR REFERÊNCIA EXTERNA.	55
FIGURA 4. 26 - INSERINDO O DESENHO DE REFERÊNCIA EXTERNA.	56
FIGURA 4. 27 - PASTA GERAIS.	56
FIGURA 4. 28 - ESCOLHENDO O DWG DE REFERÊNCIA.	57
FIGURA 4. 29 - INSERINDO A REFERÊNCIA EXTERNA SUBSOLO.	58
FIGURA 4. 30 - REFERÊNCIA EXTERNA DO PAVIMENTO AUDITÓRIO.	58
FIGURA 4. 31 - INSERINDO A REFERÊNCIA EXTERNA SUBSOLO E TÉRREO.	59
FIGURA 4. 32 - ZOOM TOTAL DA REFERÊNCIA EXTERNA DO PAVIMENTO COBERTURA DO AUDITÓRIO – TÉRREO.	60
FIGURA 4. 33 - INSERINDO A REFERÊNCIA EXTERNA TÉRREO E 1º ANDAR.	60
FIGURA 4. 34 - ZOOM TOTAL DA REFERÊNCIA EXTERNA DO PAVIMENTO COBERTURA TÉRREO – 1º ANDAR.	61
FIGURA 4. 35 - REFERÊNCIA EXTERNA INSERIDA NO PAVIMENTO COBERTURA 1º ANDAR – 2º ANDAR.	62
FIGURA 4. 36 - REFERÊNCIA EXTERNA INSERIDA NO PAVIMENTO COBERTURA 2º ANDAR – CAIXA D'ÁGUA.	62
FIGURA 4. 37 - REFERÊNCIA EXTERNA INSERIDA NO PAVIMENTO COBERTURA 2º ANDAR – CAIXA D'ÁGUA.	63
FIGURA 4. 38 - INSERÇÃO DOS PILARES.	63
FIGURA 4. 39 - DADOS DOS PILARES.	64
FIGURA 4. 40 - IDENTIFICAÇÃO DOS PILARES.	64
FIGURA 4. 41 - SEÇÃO DOS PILARES.	65
FIGURA 4. 42 - POSICIONANDO PILARES.	66
FIGURA 4. 43 - PILARES POSICIONADOS.	67
FIGURA 4. 44 - RENUMERAÇÃO PILARES.	67
FIGURA 4. 45 - RENUMERAÇÃO PILARES.	68
FIGURA 4. 46 - PILARES RENUMERADOS.	68
FIGURA 4. 47 - EDITANDO PILARES.	69
FIGURA 4. 48 - DEFININDO ONDE O PILAR MORRE.	70
FIGURA 4. 49 - LANÇAMENTO DE VIGA.	70
FIGURA 4. 50 - DADOS DAS VIGAS.	71
FIGURA 4. 51 - DEFININDO CARGA DA VIGA.	71

FIGURA 4. 52 - ESCOLHA DA CARGA SOBRE A VIGA.....	72
FIGURA 4. 53 - DEFINIÇÃO DA SEÇÃO DA VIGA.	73
FIGURA 4. 54 - INSERINDO VIGAS.	73
FIGURA 4. 55 - INSERINDO A VIGA CURVA.	74
FIGURA 4. 56 - DETERMINADO O NÚMERO DE SEGMENTOS DA VIGA CURVA.	75
FIGURA 4. 57 - VIGA CURVA INSERIDA.	75
FIGURA 4. 58 - VIGAS INSERIDAS.	76
FIGURA 4. 59 – INSERINDO DADOS DAS LAJES.	76
FIGURA 4. 60 - DADOS DA LAJE.....	77
FIGURA 4. 61 - ESPESSURA DA LAJE.	77
FIGURA 4. 62 - LAJE MACIÇA DETALHADA.	78
FIGURA 4. 63 - DEFININDO CARGA DA LAJE.	79
FIGURA 4. 64 - CARGAS ALFANUMÉRICAS.	79
FIGURA 4. 65 - CARGAS DETERMINADAS.	80
FIGURA 4. 66 - TELA INICIAL DAS LAJES.	80
FIGURA 4. 67 - ESCOLHA DO LOCAL DA LAJE.	81
FIGURA 4. 68 - PONTO PARA INSERIR LAJE.	81
FIGURA 4. 69 - LAJE INSERIDA EIXO Y.	82
FIGURA 4. 70 - INSERINDO LAJES PARTE I.	82
FIGURA 4. 71 - INSERINDO LAJES PARTE II.....	83
FIGURA 4. 72 - TODAS AS LAJES DO PAVIMENTO COBERTURA DO AUDITÓRIO – TÉRREO INSERIDAS.	83
FIGURA 4. 73 - COPIAR PLANTA PARA O PAVIMENTO AUDITÓRIO.	84
FIGURA 4. 74 - PAVIMENTO DE REFERÊNCIA.	84
FIGURA 4. 75 - PAVIMENTO AUDITÓRIO COM A PLANTA COPIADA.	85
FIGURA 4. 76 - PAVIMENTO AUDITÓRIO.....	86
FIGURA 4. 77 - PAVIMENTO COBERTURA TÉRREO – 1ºANDAR	87
FIGURA 4. 78 - PAVIMENTO COBERTURA 1ºANDAR – 2ºANDAR.	88
FIGURA 4. 79 - PAVIMENTO COBERTURA 1ºANDAR – 2ºANDAR.	89
FIGURA 4. 80 - PAVIMENTO COBERTURA.	90

LISTA DE TABELAS

TABELA 4. 1 - VALORES ADOTADOS NA INSERÇÃO DOS PAVIMENTOS.	45
--	-----------

LISTA DE QUADROS

Quadro 2. 1 - Classes de resistência de concretos estruturais, presentes na NBR 8953.....	19
Quadro 2. 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA), NBR 6118.....	22
Quadro 2. 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto - NBR 6118.....	23
Quadro 2. 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10 \text{ mm}$ -NBR 6118.....	24

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	16
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo geral	17
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Características dos materiais.....	18
2.1.1 Concreto	18
2.1.2 Classes	18
2.1.3 Resistência do concreto à compressão	19
2.2 Aço	20
2.3 Concreto armado	21
2.4 Critérios de projeto	21
2.4.1 Classe de agressividade	22
2.4.2 Qualidade do concreto	23
2.4.3 Cobrimento	23
2.5 Estado limite	25
2.5.1 Estado limite de serviço.....	25
2.5.2 Estado limite último	25
2.6 Carregamento nas estruturas	26
2.6.1 Ações	26
2.6.2 Classificação das ações.....	26
2.6.3 Ações permanentes	26
2.6.4 Ações variáveis.....	27
2.6.5 Ações excepcionais	27
2.7 TQS	27
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA	30
3.1 Processos metodológicos.....	30
3.2 História do software TQS	31
3.3 Caracterização da área de estudo	31
3.4 Características do projeto	32
CAPÍTULO 4: MANUAL DA ELABORAÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL.....	39
4.1 Versão plena educacional TQS V24.....	39
4.1.1 Instalação da versão para estudantes	39
4.2 Dimensionamento e detalhamento da estrutura	42
4.2.1 Tela inicial do TQS	42
4.2.2 Criação de um novo edifício.....	42
4.2.3 Arquitetura de referência do AUTOCAD	53

4.2.4 Definição dos Pilares	63
4.2.5 Lançamento das Vigas.....	70
4.2.6 Lançamento das lajes.....	76
CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
REFERÊNCIAS	93

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A princípio, a primeira associação entre concreto e metal ocorreu na França em 1855, quando J. L. Lambot optou por construir um barco utilizando concreto e barras de ferro. Segundo Carvalho et al (2014), o uso do concreto armado e a definição de seus princípios fundamentais aconteceram em 1861 com os franceses J. Monier e F. Coignet, entretanto, foi somente em 1873, em Nova York, que o material foi utilizado pela primeira vez na construção civil. Tal associação ocorreu na construção da casa conhecida como Ward 's Castle, edificada por W. E. Ward. Todavia, somente em 1900 que foram estabelecidas as bases teóricas do concreto armado, idealizadas por Koenen e posteriormente por Mörsch (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2014).

Atualmente, concreto armado pode ser entendido como o produto resultante da união solidária do concreto com um material resistente à tração, sendo este o aço. Essa combinação é essencial porque apenas o concreto em si, não é resistente à tração tanto quanto é resistente à compressão. Portanto, o concreto armado trata-se do uso do concreto associado ao aço, tornando-se um material apropriado para formar os elementos estruturais, sendo estes responsáveis por suportar e transmitir as cargas aplicadas.

Ademais, com a crescente demanda por projetos estruturais eficazes e seguros estimulam cada vez mais a busca por métodos avançados de projeto na Engenharia Civil. Em virtude disso, a utilização de softwares especializados tornou-se fundamental para realizar cálculos precisos e rápidos, exemplos disto são o TQS, Eberik e SAP2000, que permitem fazer uma análise integrada e completa da estrutura. Tais ferramentas são indispensáveis para auxiliar o projetista, tendo em vista que o dimensionamento apropriado dos elementos estruturais é imprescindível para assegurar a segurança e a eficácia das construções na engenharia civil.

Desta forma, este trabalho visa a elaboração de um manual acerca da utilização do software TQS no dimensionamento estrutural em concreto armado de uma casa filarmônica na cidade de Pau dos Ferros RN. Cujo o intuito de servir como um guia consultivo para auxiliar na formação de estudantes e profissionais da área de engenharia civil, apresentando de forma prática e aplicada o processo de elaboração de um projeto estrutural.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um manual sobre os procedimentos de modelagem estrutural de uma edificação a partir de um projeto arquitetônico.

1.1.2 Objetivos específicos

- Conceber estruturalmente a sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense, conforme anteprojeto desenvolvido por Sampaio (2017);
- Elaborar um manual das etapas de modelagem da estrutura em concreto armado no TQS;
- Abordar aspectos conceituais relacionados aos Projeto de Estruturas em concreto, baseando-se na NBR 6118/2023 e em outras normas correlacionadas.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Características dos materiais

2.1.1 Concreto

O concreto é o material mais amplamente utilizado na construção civil por suas características como resistência e durabilidade, sendo basicamente uma mistura composta por um aglomerante, que é o cimento, juntamente com água, pedras e areia, e ocasionalmente outros materiais adicionais, como os aditivos. Além de ser maleável durante as primeiras etapas de secagem, o concreto tem a capacidade de manter sua forma quando endurecido e suportar altas cargas de compressão.

Ao ser empregado em construções, o concreto exhibe benefícios como grande resistência à compressão, flexibilidade para ser moldado no local, além de atuar como uma estrutura única, com longa durabilidade e baixo custo de materiais e mão de obra capacitada, além de ser relativamente simples de ser produzido, podendo até mesmo ser feito de maneira artesanal (PINHEIRO, 2010). Além disso, Pinheiro (2010), ainda menciona que suas desvantagens incluem: baixa resistência à tração, fragilidade, propensão a fissuras, peso elevado e susceptibilidade à corrosão das armaduras.

Nos concretos comuns, a resistência é determinada pela interação entre os elementos agregados e aglomerantes, denominada de traço, juntamente com a relação entre a água e o cimento que resulta em um índice denominado fator água/cimento.

O concreto com menor volume de água em sua composição, apresentará maior resistência, devido proporcionar menor número de vazios, porém dificulta a sua trabalhabilidade. Um concreto com maior presença de água, aumenta significativamente o seu manuseio, porém diminui consideravelmente sua resistência. A relação média de água/cimento que mantém a trabalhabilidade e resistência, encontra-se entre 50% e 65% de água em relação ao volume de cimento. (RABELLO, 2007)

Os concretos podem também ser classificados em relação à sua resistência, são eles: concreto de baixa resistência, com menos de 20 MPa (não recomendado para uso estrutural) e o concreto de resistência normal com 20 a 50 MPa e o concreto de alta resistência com mais de 50 MPa.

2.1.2 Classes

A norma ABNT NBR 8953:2015 classifica os concretos para fins estruturais nos grupos I e II, conforme a resistência característica à compressão (f_{ck}). A classe C20, ou superior, é

indicada para concreto com armadura passiva, enquanto a classe C25, ou superior, é recomendada para concreto com armadura ativa. Já a classe C15 é adequada apenas para obras provisórias ou não estruturais, conforme especificado na ABNT NBR 8953:2015 (ABNT NBR 6118:2023). O Quadro 1 representa as classes de resistência de concretos estruturais retirada da norma ABNT NBR 8953:2015.

Quadro 2. 1 - Classes de resistência de concretos estruturais, presentes na NBR 8953.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão MPa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão MPa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: ABNT, 2015.

2.1.3 Resistência do concreto à compressão

A capacidade do material suportar cargas compressivas antes de se romper é um dos fatores fundamentais para o concreto armado. Para medição dessa pressão é utilizado o mega Pascal (MPa) como unidade. A avaliação da resistência do concreto é feita por meio da realização de testes de compressão em corpos de prova padronizados conforme especificado na norma NBR 5738 (ABNT, 2016), que estabelece as dimensões de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura.

O teste de resistência à compressão é realizado em uma prensa hidráulica após 28 dias da confecção do corpo de prova, seguindo as normas da NBR 5739 (ABNT, 2018), podendo ser realizado em idades diferentes.

De acordo com a Norma ABNT NBR 6118:2023, é necessário calcular a resistência média à compressão, f_{cmj} , a partir da resistência f_{ckj} especificada, seguindo as diretrizes da ABNT NBR 12655. O progresso da capacidade de resistência à compressão ao longo do tempo deve ser analisado através de testes específicos realizados com esse propósito. Caso não haja dados experimentais disponíveis, é possível seguir as orientações contidas na seção 12.3.3 da norma de Resistência de cálculo do concreto (ABNT NBR 6118:2023).

a) Quando a verificação se faz em data j igual ou superior a 28 dias, conforme Equação 1.:

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \quad \text{Equação 1}$$

Nesse caso, o controle da resistência à compressão do concreto deve ser feito em 28 dias, de forma a confirmar o valor de f_{ck} adotado no projeto;

b) Quando a verificação se faz em data j inferior a 28 dias, adota-se a Equação 2:

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{Equação 2}$$

Sendo β_1 a relação f_{ckj}/f_{ck} dada pela Equação 3 abaixo:

$$\beta_1 = \exp \exp \left\{ s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

$s = 0,38$ para concreto de cimento CPIII e IV;

$s = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II;

$s = 0,20$ para concreto de cimento CPV-ARI;

t é a idade efetiva do concreto, expressa em dias.

Essa verificação deve ser feita aos t dias, para as cargas aplicadas até essa data. Ainda deve ser feita a verificação para a totalidade das cargas aplicadas aos 28 dias. Nesse caso, o controle da resistência à compressão do concreto deve ser feito em duas datas: aos t dias e aos 28 dias, de forma a confirmar os valores de f_{ckj} e f_{ck} adotados no projeto.

2.2 Aço

O aço apresenta como característica fundamental uma resistência mecânica elevada, fazendo dele um material excelente para situações que demandam suporte de alto de carga.

O aço é um material composto principalmente por ferro e carbono, formando uma liga. Quanto maior a quantidade de carbono na liga maior a sua resistência e menor sua ductilidade que é algo desejado em um aço na construção civil devido a sua capacidade de deformar antes de romper. O aço estrutural deve ter deformação razoável, para que possa avisar seu esgotamento quando estiver solicitado acima do seu limite previsto. (REBELLO, 2007)

Segundo a NBR 7480 (ABNT, 2024) o aço é classificado em barras ou fios. As barras são vergalhões de diâmetro nominal de 5 mm ou superior obtidos com a técnica de laminação exclusivamente. Os fios são os aços com o diâmetro de 10 mm ou inferior podendo serem obtidos através da técnica de estiramento, laminação a frio ou trefilação.

De acordo com Bastos (2023) a capacidade inicial de resistir ao escoamento (f_{yk}) das barras são classificadas segundo as categorias CA-25, CA-50 e os fios CA-60, onde CA indica concreto armado e o número caracteriza o limite de escoamento, no entanto o limite de escoamento é dado em kgf/mm ou em kN/cm².

2.3 Concreto armado

O concreto armado é um material obtido por meio da associação entre concreto simples e armadura convenientemente colocada de tal modo que ambos resistam aos esforços solicitantes, sendo que na parte tracionada o aço é mergulhado e na parte comprimida, deixa-se apenas o concreto. Portanto essa combinação surge para unir a resistência à compressão do concreto com a resistência à tração do aço.

A utilização do concreto em estruturas de prédios começou com Wilkson, um inglês que introduziu essa prática de maneira empírica em seu projeto. Entretanto, o pioneiro em tornar o método do concreto armado mais científico foi Thadeus Hyatt, um americano que no ano de 1877, já considerava o uso de estribos e barras nas vigas para resistir ao cisalhamento. Em 1902, o alemão Emil Morsch publicou artigos descrevendo o comportamento do concreto reforçado, baseado em testes. A partir de 1920, a expressão "concreto reforçado" passou a ser utilizada no lugar de concreto-ferro (RABELLO, 2007).

2.4 Critérios de projeto

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023, item 5.1.1), as estruturas de concreto devem atender requisitos mínimos de qualidade durante a construção e serviço, bem como requisitos adicionais estabelecidos em conjunto pelo autor do projeto e pelo contratante.

As estruturas de concreto devem obrigatoriamente apresentar:

- a) Estabilidade e segurança a ruína: consiste na capacidade resistente que a estrutura deve ter para suportar as ações previstas que ocorrerem na construção, atendendo assim as os estados-limites últimos estabelecidos na norma NBR 6118 (ABNT, 2023);
- b) Desempenho em Serviço: refere-se na capacidade da estrutura em permanecer em plenas condições de uso ao longo de sua existência, sem apresentar falhas que prejudiquem parcial ou integralmente sua finalidade original;
- c) Durabilidade: consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.

2.4.1 Classe de agressividade

Segundo a ABNT NBR 6118 (2023) a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

As classes de agressividade ambiental estão divididas em quatro, como demonstrado no Quadro 2:

Quadro 2. 2 - Classes de agressividade ambiental (CAA), NBR 6118.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas, elementos em contato com solo contaminado ou água subterrânea contaminada.

Fonte: ABNT, 2023.

Compreendendo o ambiente onde a construção será realizada, o engenheiro pode estabelecer os parâmetros a serem seguidos, visto que isso tem impacto direto na qualidade de vida da edificação, podendo afetar a estrutura e reduzir sua durabilidade.

2.4.2 Qualidade do concreto

Com a definição da classe ambiental é possível selecionar o tipo de concreto utilizado na construção de forma a atender aos requisitos da norma NBR 6118 (ABNT, 2023, item 7.4) como apresentado no Quadro 3.

Quadro 2. 3 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto - NBR 6118.

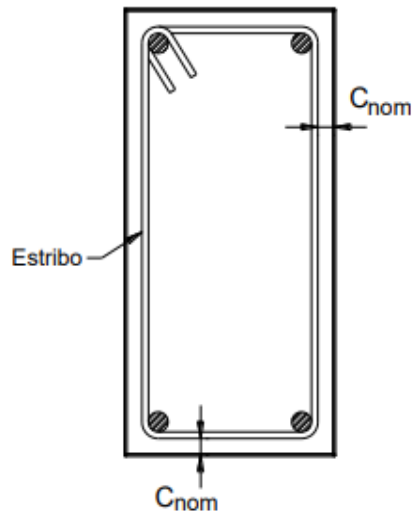
Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT, 2023.

É possível notar a associação entre a qualidade do concreto e a classe de agressividade em relação à água/cimento para cada grupo e sua resistência à compressão.

2.4.3 Cobrimento

A cobertura de armadura é o termo utilizado para descrever a espessura da camada de concreto que tem como objetivo preservar e resguardar a armadura no elemento construtivo. Essa camada inicia-se na parte mais exterior do aço e se estende até a superfície externa do elemento que entra em contato com o ambiente externo, conforme ilustrado na Figura 2.1.

Figura 2. 1 - Cobrimento da armadura

Fonte: Bastos, 2023.

O Quadro 3 da NBR 6118 (ABNT, 2023), define a relação entre as classes de agressividade ambiental e seus devidos cobrimentos como apresentado no quadro 4.

Quadro 2. 4 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm -NBR 6118.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT, 2023.

2.5 Estado limite

O estado limite é responsável por estabelecer os limites para o uso da estrutura com base na segurança, funcionalidade e estética, ou seja, é quando uma estrutura não atende aos requisitos necessários para funcionar de maneira segura e adequada, ou quando sua utilização é prejudicada devido a um colapso na estrutura.

2.5.1 Estado limite de serviço

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023), estados-limites de serviço são aqueles relacionados ao conforto do usuário e à durabilidade, aparência e boa utilização das estruturas, seja em relação aos usuários ou em relação às máquinas e aos equipamentos suportados pelas estruturas.

Segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004), para o período de vida da estrutura, geralmente são levados em conta os estados limites de serviço. Esses estados são caracterizados por.

- a) danos ligeiros ou localizados, que comprometam o aspecto estético da construção ou a durabilidade da estrutura;
- b) deformações excessivas que afetem a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- c) vibração excessiva ou desconfortável.

2.5.2 Estado limite último

Conforme a norma NBR 6118 (ABNT, 2023), a segurança da estrutura de concreto armado deve ser verificada, a fim de garantir que o projetista evite a ocorrência de situações críticas ao longo da vida da edificação, especialmente em relação aos estados limites últimos.

- a) estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na Seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado-limite último de colapso progressivo;

- f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200/2024;
- g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421/2023;
- h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

2.6 Carregamento nas estruturas

2.6.1 Ações

Segundo a norma NBR 8681 (ABNT, 2004), é possível caracterizar as ações como:

Causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e a deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas.

2.6.2 Classificação das ações

A NBR 8681 (ABNT, 2004) classifica as ações segundo sua variabilidade no tempo em três categorias:

- a) ações permanentes;
- b) ações variáveis;
- c) ações excepcionais

2.6.3 Ações permanentes

A NBR 8681 (ABNT, 2004) classifica as ações segundo sua variabilidade no tempo em três categorias:

- a) ações permanentes;
- b) ações variáveis;
- c) ações excepcionais

Podendo assumir dois tipos de ações variáveis:

- a) diretas;
- b) indiretas.

As ações permanentes diretas segundo a NBR 8681 (ABNT, 2004) são definidas como: os pesos próprios dos elementos da construção, incluindo-se o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos permanentes, os pesos dos equipamentos fixos e os empuxos

devidos ao peso próprio de terras não removíveis e de outras ações permanentes sobre elas aplicadas.

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004), as ações permanentes indiretas são definidas como: a protensão, os recalques de apoio e a retração dos materiais.

2.6.4 Ações variáveis

A NBR 8681 (ABNT, 2004) define ações variáveis como: ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção. Podendo assumir dois tipos de ações variáveis:

a) ações variáveis normais: ações variáveis com probabilidade de ocorrência suficientemente grande para que sejam obrigatoriamente consideradas no projeto das estruturas de um dado tipo de construção;

b) ações variáveis especiais: nas estruturas em que devam ser consideradas certas ações especiais, como ações sísmicas ou cargas acidentais de natureza ou de intensidade especiais, elas também devem ser admitidas como ações variáveis. As combinações de ações em que comparecem ações especiais devem ser especificamente definidas para as situações especiais consideradas.

2.6.5 Ações excepcionais

De acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2004), as ações excepcionais são: aquelas com período de ocorrência muito breve e com chance de acontecer muito baixa ao longo da vida da construção, porém devem ser levadas em conta nos projetos de determinadas estruturas.

São consideradas como cargas excepcionais ações decorrentes tais como:

- a) explosões;
- b) choques de veículos;
- c) incêndios;
- d) enchentes;
- e) sismos excepcionais.

2.7 TQS

O TQS é um pacote de software desenvolvido pela empresa brasileira TQS, estabelecida em 1986 por Engenheiros Civis, que produz, aprimora e comercializa softwares para a elaboração de projetos de estruturas e de fundações das edificações. O TQS foi criado para elaborar projetos de estruturas de edificações em concreto armado. Sendo que o mesmo é composto por uma variedade de sistemas que operam de forma coordenada e automatizada,

oferecendo as funcionalidades fundamentais para a geração de uma concepção estrutural, análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, criação de desenhos e elaboração das plantas finais (TQS, 2024).

Segundo Nelson Covas, sócio fundador da TQS, o propósito da empresa é oferecer softwares inovadores, abrangentes e robustos, com profissionalismo e transparência, junto a um suporte técnico capacitado que visa ajudar os clientes no processo de desenvolvimento e elaboração de projetos estruturais.

No sistema TQS, os seguintes modelos estruturais podem ser adotados para análise de um pavimento de concreto armado, porém na versão estudante possui restrições:

- Vigas contínuas + lajes por processo simplificado
- Grelha somente de vigas
- Grelha de lajes + vigas
- Pórtico espacial

De acordo com a TQS, a análise de pavimentos de concreto armado deve ser realizada utilizando o método de "grelhas de vigas e lajes" ou "pórtico espacial", uma vez que esses métodos oferecem resultados mais precisos em comparação com a abordagem de "vigas contínuas + lajes por processos aproximados" ou "grelha somente de vigas". Em algumas circunstâncias, esses dois últimos tipos podem gerar uma distribuição de esforços que não condiz com a verdade. Por exemplo, em uma laje retangular sustentada por vigas de rigidez variada, a distribuição dos esforços solicitante nesses elementos pode estar equivocada.

Existem seis alternativas para a modelagem global do edifício, porém o modelo V foi preservado no sistema somente para garantir compatibilidade com processamentos antigos e não é recomendado para novas construções. Os modelos I, II e III devem ser usados apenas em situações específicas e com algumas restrições, sendo que a TQS recomenda exclusivamente o uso dos modelos IV e VI.

- Modelo IV: Esse modelo calcula os esforços das ações verticais e horizontais usando um único pórtico espacial (ELU), aplicando-os no dimensionamento de vigas e pilares. Permite tratamento especial para vigas de transição e tirantes, e transfere automaticamente as reações das barras de laje, obtidas por grelha, para as vigas do pórtico espacial.

- Modelo VI: Esse modelo inovador de análise estrutural representa todos os elementos (lajes, vigas e pilares) em um único pórtico espacial, obtendo todos os esforços e deslocamentos de uma vez, sem necessidade de transferências entre diferentes modelos. Isso torna o Modelo VI teoricamente mais consistente e capaz de analisar edifícios singulares previamente impossíveis de serem analisados.

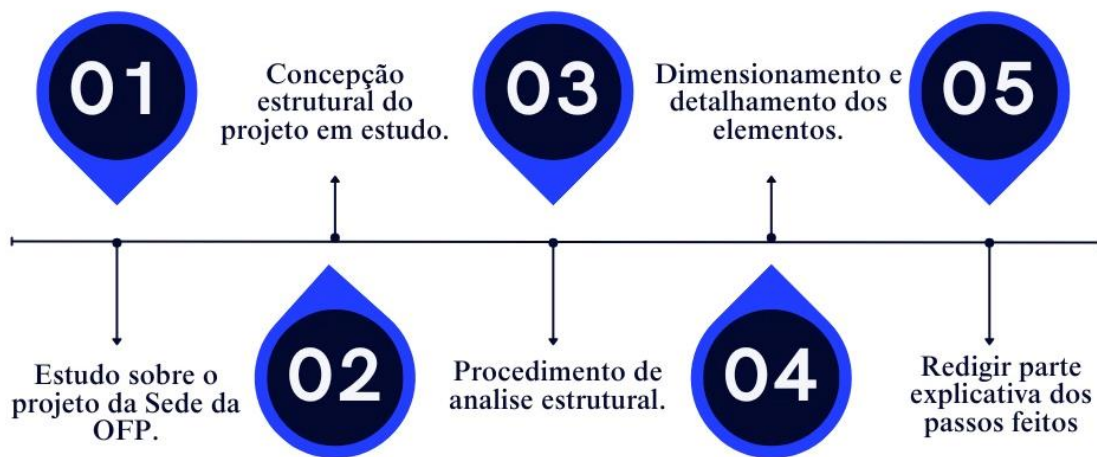
CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

3.1 Processos metodológicos

A metodologia utilizada neste trabalho envolveu a elaboração de um manual sobre os procedimentos de modelagem estrutural da edificação da Orquestra Filarmônica Pauferrense, a partir de suas plantas de arquitetura usando o software TQS.

Assim sendo, o processo metodológico foi subdividido em etapas conforme Figura 3.1.

Figura 3. 1 - Procedimentos metodológicos aplicados à elaboração do estudo para desenvolver um projeto básico da sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense.



Fonte: Autoria própria (2024).

A princípio foi feito o estudo sobre o projeto da Sede da Orquestra Filarmônica Pauferrense, baseado no anteprojeto arquitetônico desenvolvido por Sampaio (2017). A seguir realizou-se a concepção estrutural do projeto de estudo, utilizando o software TQS v24.

Posteriormente, após processamento da concepção estrutural do projeto segue-se para o procedimento de análise estrutural de acordo com ABNT NBR 6118:2023. Ao estar tudo de acordo com as normas vigentes, é feito o dimensionamento e detalhamento dos elementos (vigas, pilares, escadas, entre outros).

Em seguida, na quinta etapa, elabora-se o manual que consiste no passo a passo das etapas anteriores.

3.2 História do software TQS

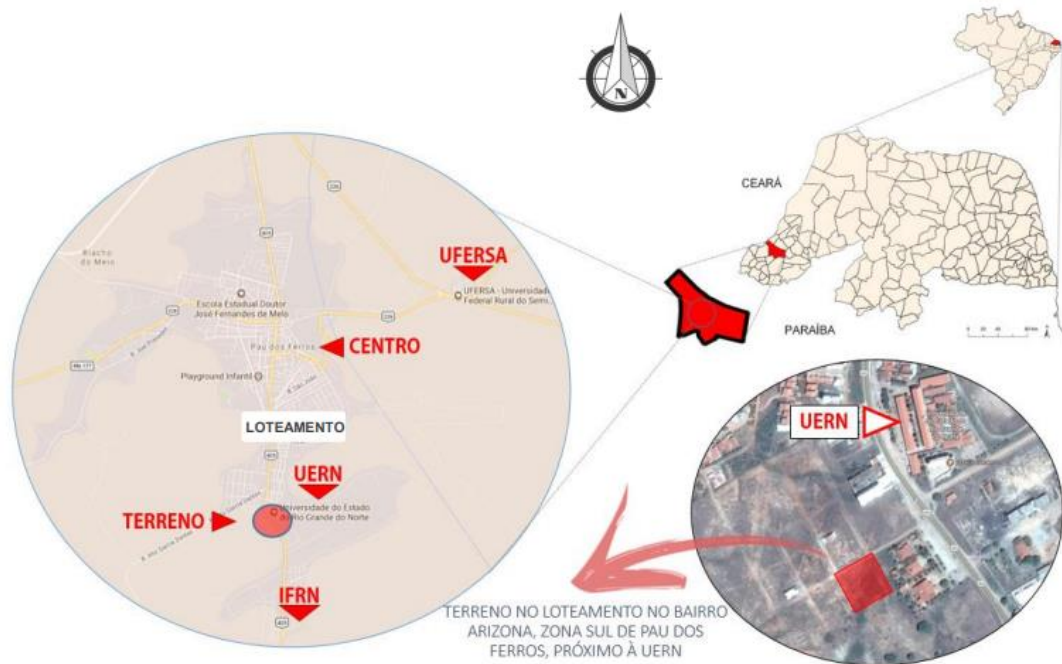
A empresa responsável pelo desenvolvimento do software é a TQS Informática, fundada em 1990 no Brasil a qual é especializada no desenvolvimento de softwares para a área de engenharia civil. Entre suas principais propostas e produtos está o software TQS, que proporciona soluções para o cálculo estrutural de diferentes tipos, como concreto armado, estruturas metálicas, fundações e elementos pré-fabricados. Este software é elaborado para simplificar a modelagem, análise e dimensionamento de estruturas, incorporando funcionalidades que atendem às normas técnicas brasileiras.

3.3 Caracterização da área de estudo

O presente estudo está sendo elaborado no município de Pau dos Ferros, que se encontra no Alto Oeste Potiguar do Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil como pode ser observado na Figura 3.2.

O município de Pau dos Ferros - RN presta assistência a aproximadamente dezessete cidades que fazem parte de sua área de abrangência, incluindo: Alexandria, Francisco Dantas, Itaú, José da Penha, Marcelino Vieira, Paraná, Pilões, Portalegre, Rafael Fernandes, Riacho da Cruz, Rodolfo Fernandes, São Francisco do Oeste, Severiano Melo, Taboleiro Grande, Tenente Ananias e Viçosa.

Figura 3. 2 - Localização do município de Pau dos Ferros - RN, no Brasil e localizado do terreno do projeto da OFP.



Fonte: Sampaio, 2017.

Assim, a proposta da Casa Filarmônica não ficará limitada apenas à cidade onde será construída, mas terá influência regional das cidades circundantes na melhoria educacional e social, beneficiando não apenas Pau dos Ferros, mas todas as cidades que fazem parte da região próxima, incluindo os Estados que fazem divisa, como é caso da Paraíba e o Ceará devido à sua proximidade.

3.4 Características do projeto

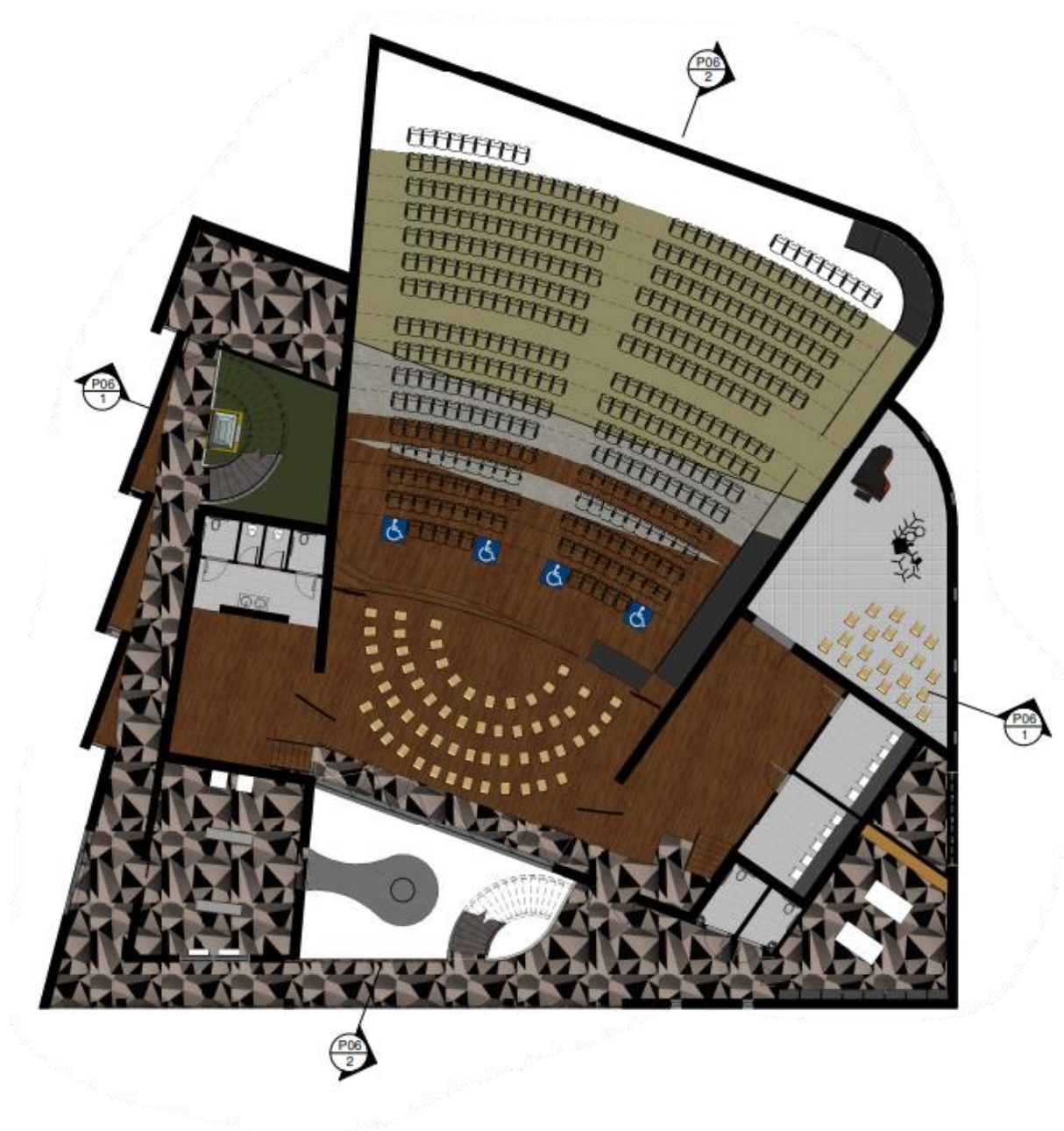
O projeto arquitetônico deste trabalho foi cedido pela arquiteta responsável Ana Lúcia Pessoa Sampaio. De acordo com Alva: “O projeto arquitetônico representa, de fato, a base para a elaboração do projeto estrutural. Este deve prever o posicionamento dos elementos de forma a respeitar a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos.” (2007, p. 01)

A escolha pelo modelo de projeto se deu devido a sua arquitetura contemporânea, caracterizada pela busca por novas formas e geometrias, desafiando os limites tradicionais da arquitetura, apresentando vigas curvas e pilares girados o qual são definidos com ângulos de isenção não ortogonais (diferente de 0° ou 90°). Entretanto esses aspectos do projeto abrangem várias funcionalidades do processo de modelagem, sendo interessante para a elaboração do manual proposto.

A edificação tem cinco pavimento, sendo um subsolo, auditório, primeiro andar, segundo andar e cobertura. O pavimento subsolo foi classificado dessa forma, pois se trata de uma edificação situada em um terreno com irregularidade planialtimétrica. O segundo pavimento é o auditório onde está situada a sala de concerto. No primeiro andar tem os ambientes de salas de aula e convivência, o segundo andar é destinado a eventos e no último pavimento é a cobertura.

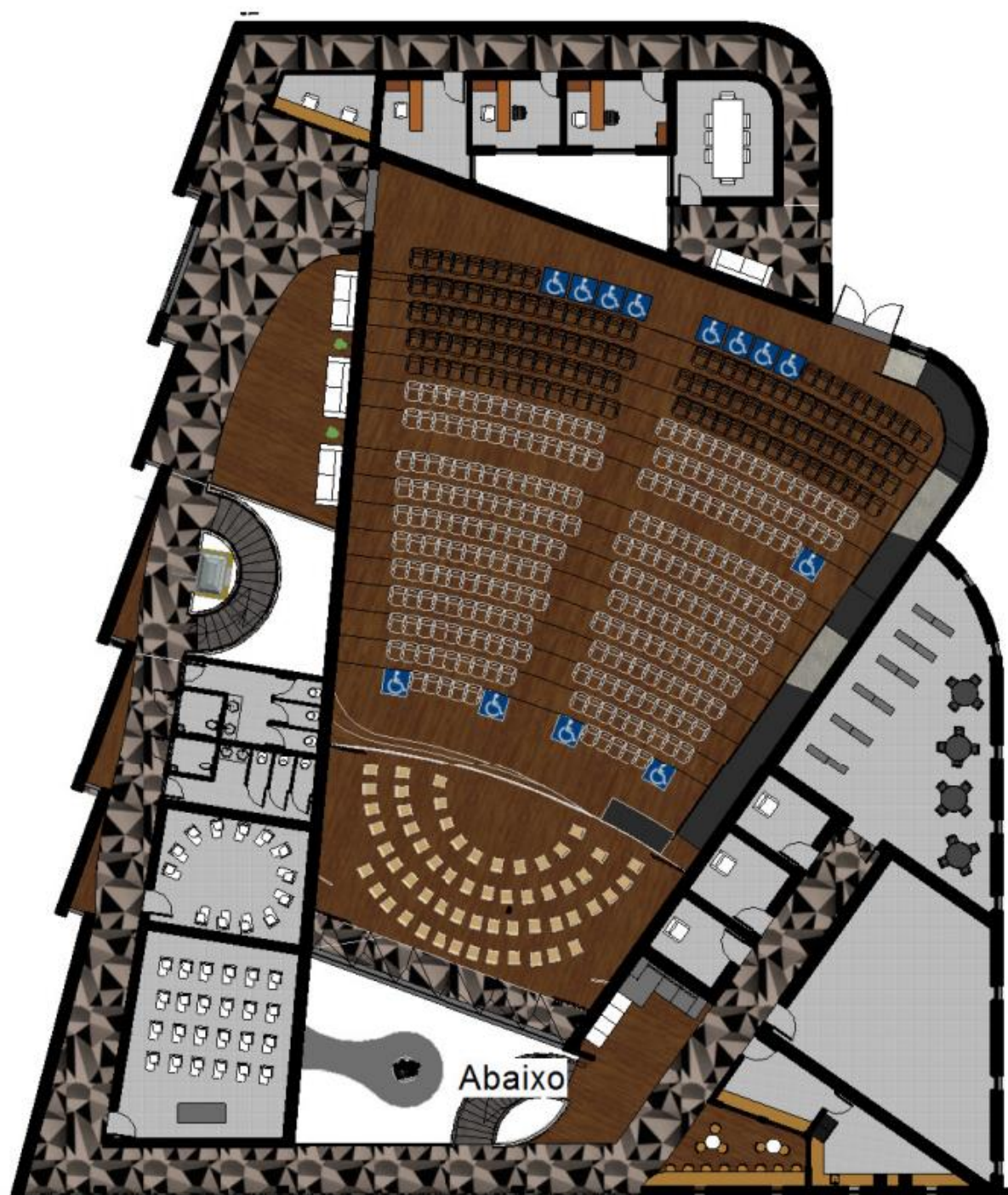
Para facilitar a visualização foi feita a limpeza do projeto arquitetônico, sendo assim, a Figura 3.3, Figura 3.4, Figura 3.5, Figura 3.6 e Figura 3.7 são o layout dos projetos arquitetônicos dos pavimentos subsolo, térreo, primeiro andar, segundo andar.

Figura 3. 3 - Layout do pavimento subsolo.



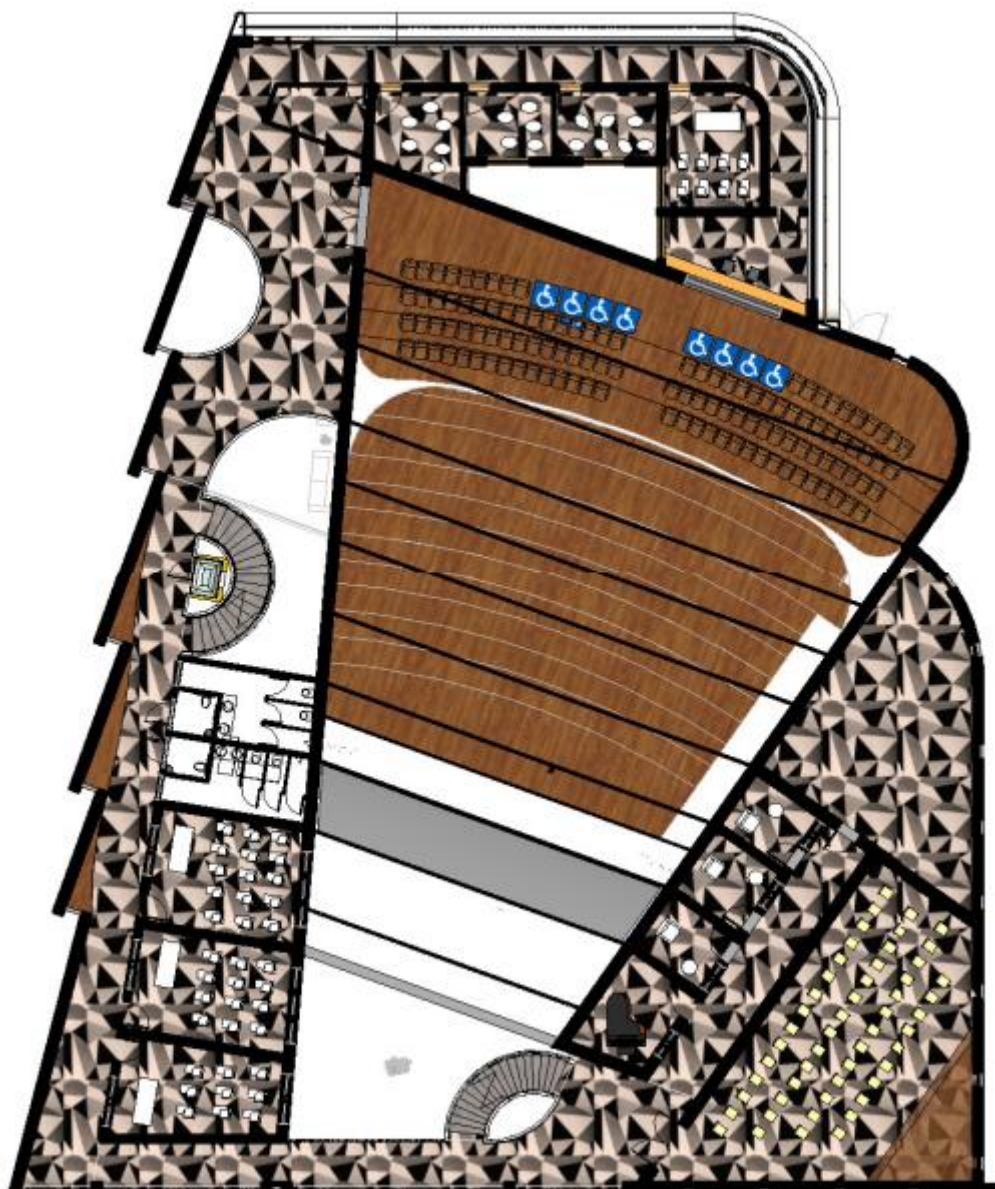
Fonte: Sampaio, 2017.

Figura 3. 4 - Planta baixa do pavimento auditório.



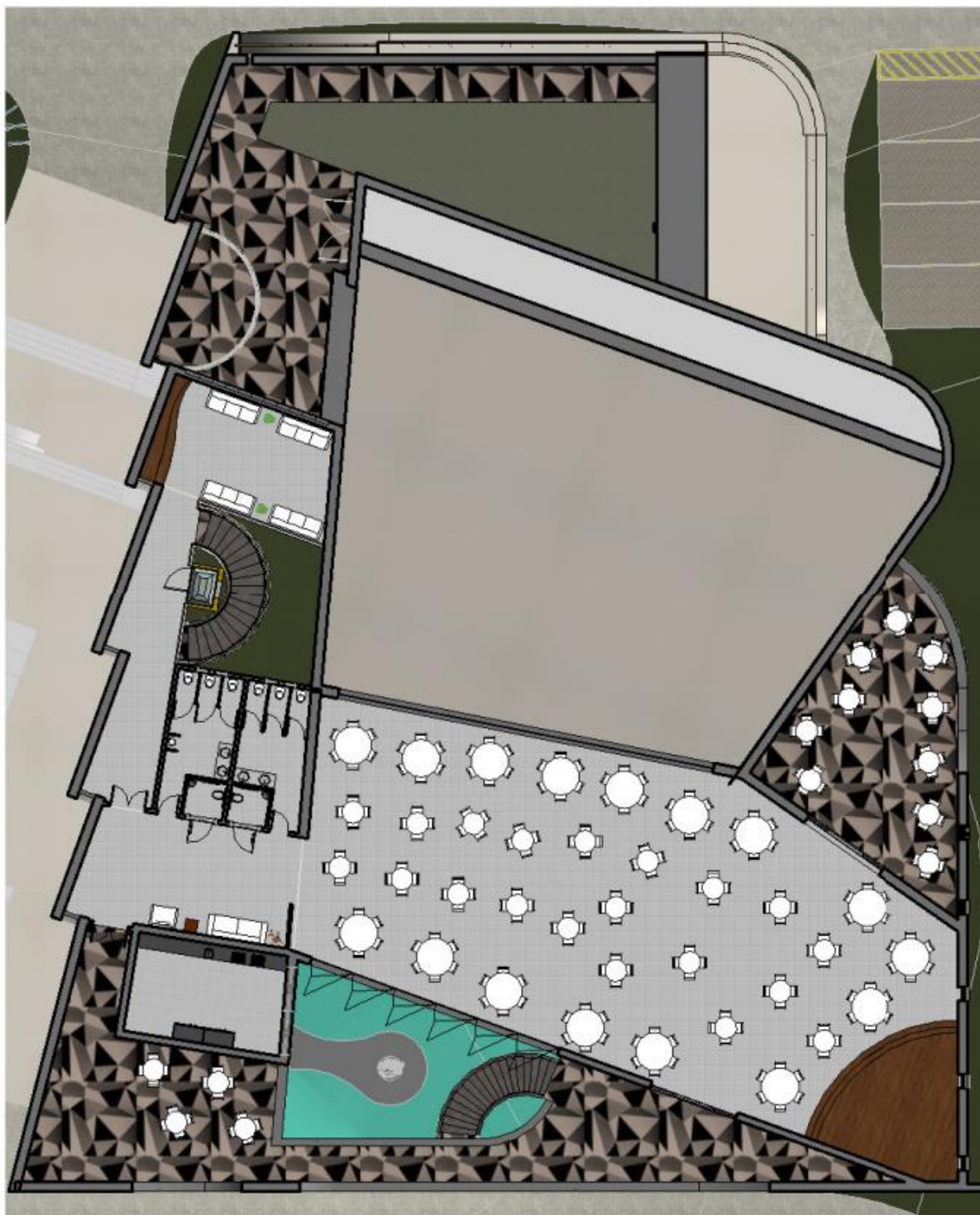
Fonte: Sampaio, 2017.

Figura 3. 5 - Planta baixa do primeiro pavimento.



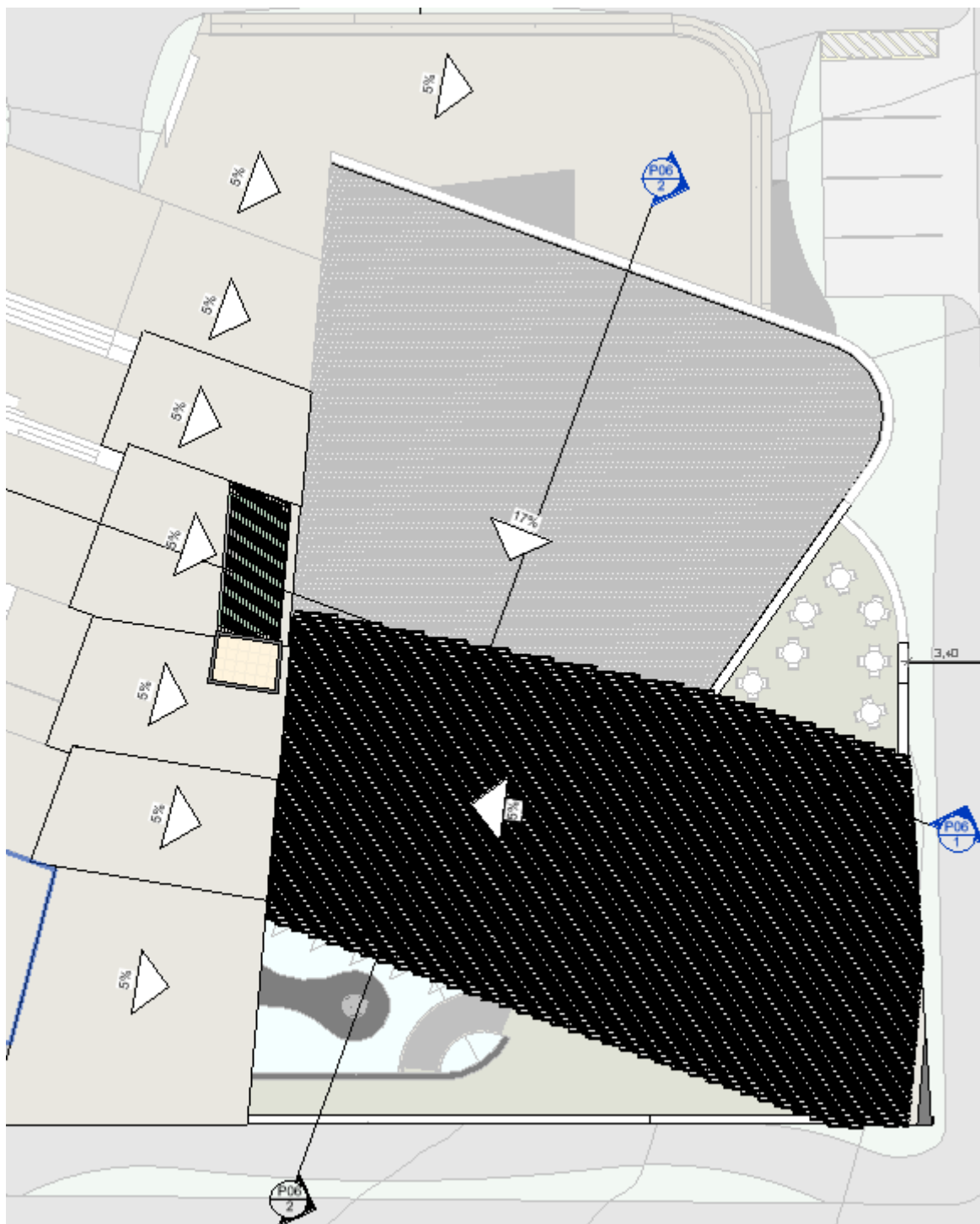
Fonte: Sampaio, 2017.

Figura 3. 6 - Planta baixa do segundo pavimento.



Fonte: Sampaio, 2017.

Figura 3. 7 - Planta baixa da cobertura.



Fonte: Sampaio, 2017.

CAPÍTULO 4: MANUAL DA ELABORAÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

4.1 Versão plena educacional TQS V24

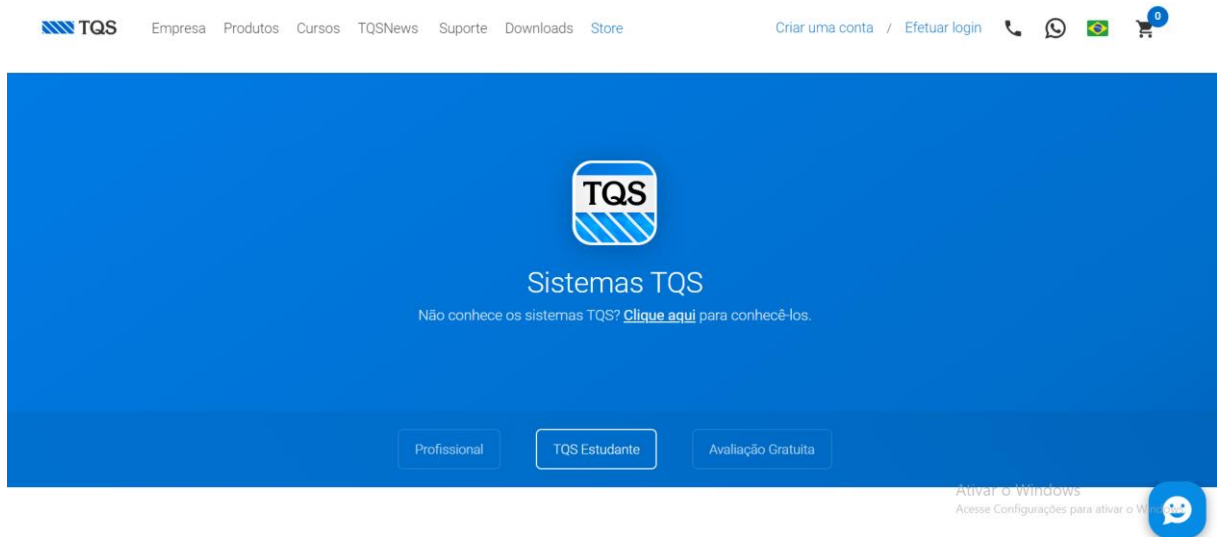
O primeiro passo ao trabalhar com qualquer software é entender seu propósito, seguido pela instalação adequada. O TQS, nesse contexto, é uma ferramenta projetada para a criação de projetos estruturais de edifícios em concreto armado. A versão utilizada neste trabalho é a versão plena educacional disponibilizada para os discentes do curso de engenharia da Universidade Federal Rural do Semiárido, a diferença desta versão educacional disponibilizada pela universidade para o TQS Estudante qual é uma versão gratuita é uso de um número limitado de elementos estruturais, como pilares, vigas e lajes. Isso significa que projetos de grande porte ou muito complexos, podem não ser viáveis nessa versão. Portanto para o projeto apresentado nesse trabalho adotou-se o uso da versão plena educacional TQS V24 disponibilizada pela Universidade.

Contudo o processo de instalação da versão TQS estudante será descrito a seguir, garantindo sua acessibilidade para alunos de Engenharia Civil, Arquitetura e áreas relacionadas à construção Civil.

4.1.1 Instalação da versão para estudantes

Ao acessar a página do TQS, são apresentadas três opções para o download do software, sendo recomendável selecionar a segunda opção: TQS Estudante (conforme mostrado na Figura 4.1).

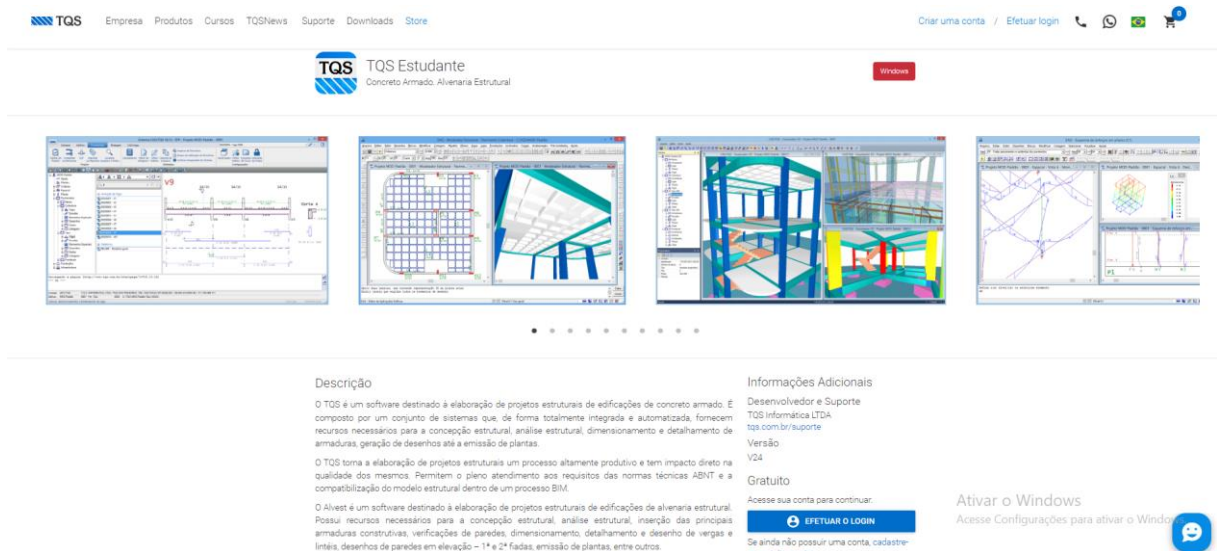
Figura 4. 1 - Página inicial do site TQS.



Fonte: TQS (2024).

Para efetuar o download, é imprescindível possuir um cadastro na plataforma. Após concluir essa etapa, basta fazer o login e o download pode ser realizado facilmente, conforme ilustrado na Figura 4.2.

Figura 4. 2 - Página do TQS Estudante



Fonte: TQS (2024).

Após concluir o download, segue-se o processo de instalação. Neste projeto, foi utilizada a versão 24.03.76-EST-PT-BR. Alguns dos procedimentos de instalação são ilustrados na Figura 4.3.

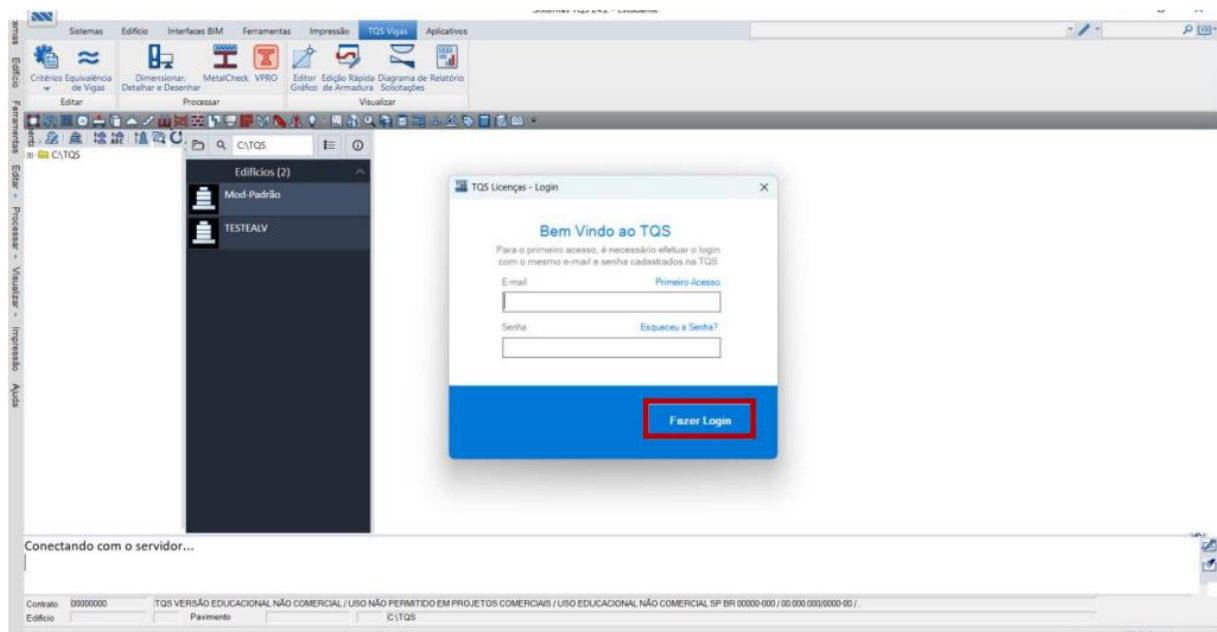
Figura 4. 3 - Alguns Procedimentos do Processo de Instalação do TQS.



Fonte: TQS (2024).

Quando o TQS é aberto pela primeira vez, o usuário é solicitado a fazer login (Figura 4.4). Nas utilizações subsequentes, esse procedimento não será exigido. No entanto, é importante ressaltar que, ao abrir o programa, o computador deve estar conectado à internet para que o usuário possa se autenticar.

Figura 4. 4 - Primeiro Acesso ao TQS.



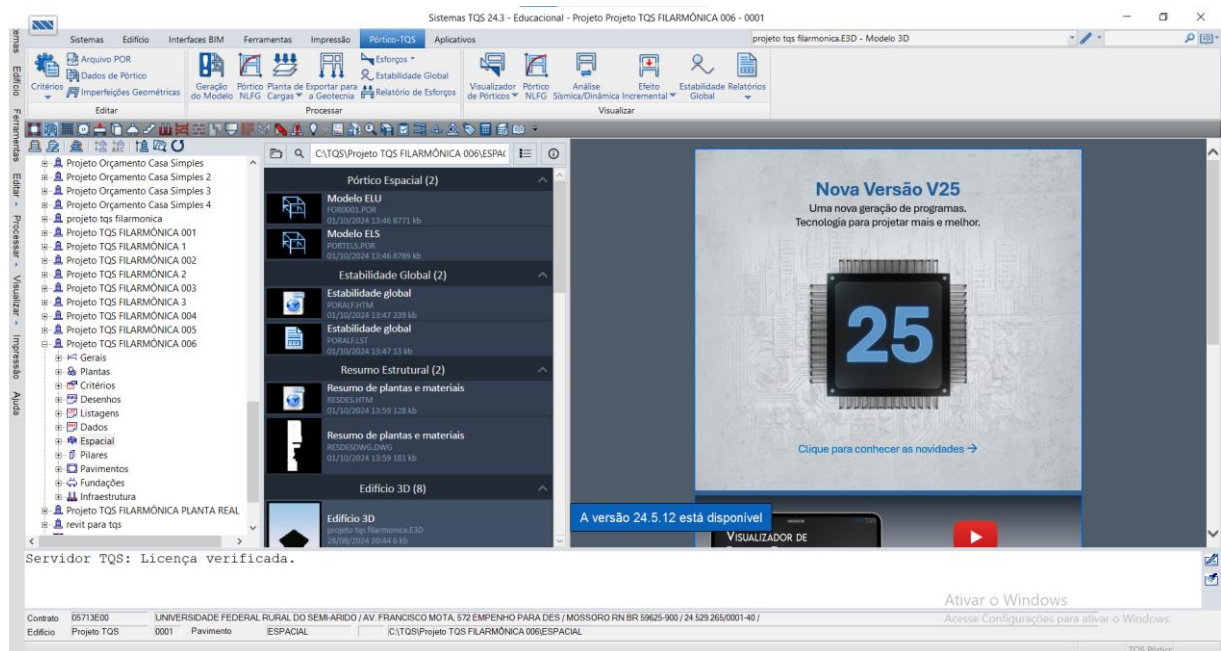
Fonte: TQS Estudante (2024).

4.2 Dimensionamento e detalhamento da estrutura

4.2.1 Tela inicial do TQS

A tela principal do TQS, também chamada de “Gerenciador TQS”, é o local ao qual podemos ver os inúmeros recursos oferecidos pelo software, conforme é exibido na Figura 4.5.

Figura 4. 5 - Tela Inicial TQS.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.2.2 Criação de um novo edifício

No gerenciador TQS, escolhe-se a aba “EDIFÍCIO”, e clica em “Novo”, conforme exibido na Figura 4.6.

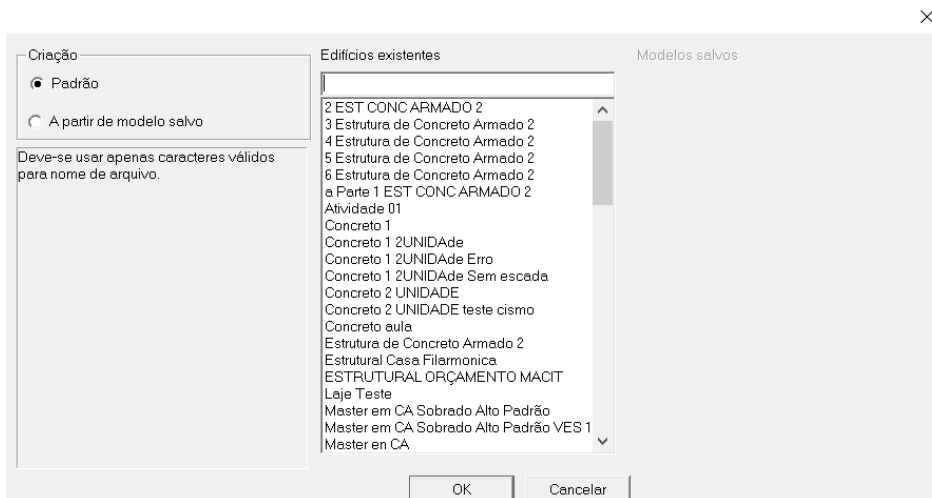
Figura 4. 6 - Gerenciador TQS.



Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida, aparecerá a tela para escolha do nome do projeto, conforme exibido na Figura 4.7.

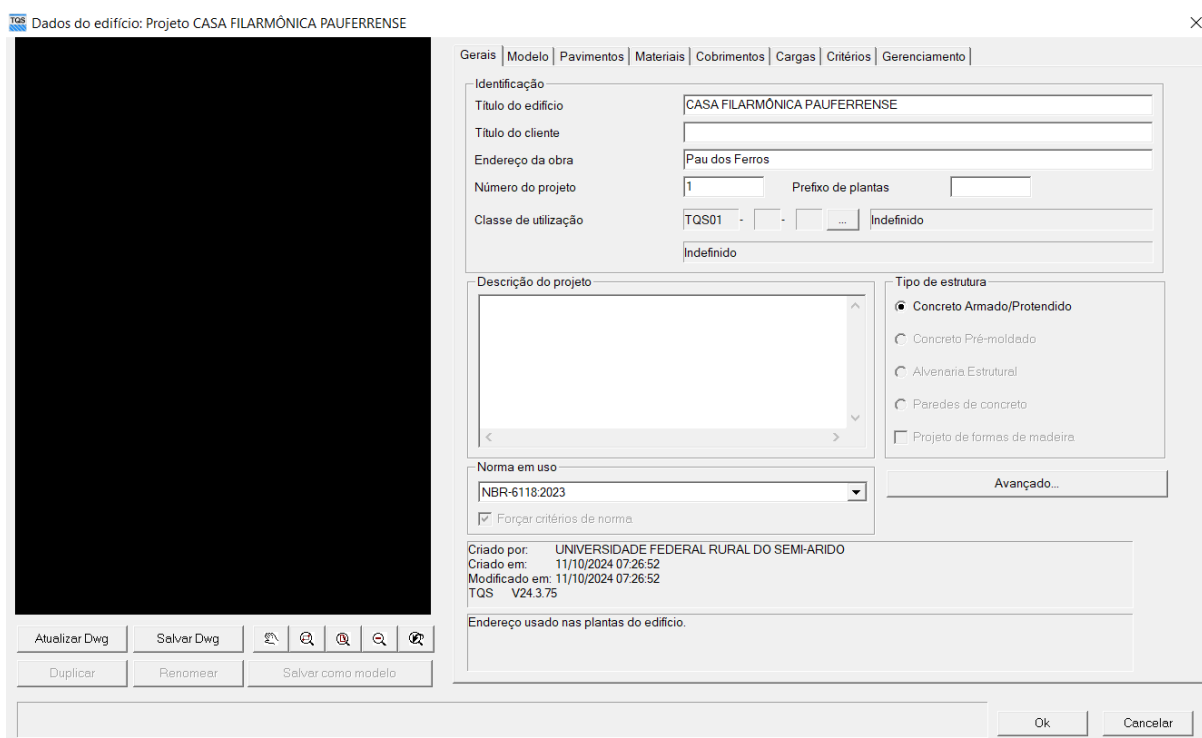
Figura 4. 7 - Novo edifício.



Fonte: Autoria própria (2024).

Foi definido o nome do edifício e ao clicar em “OK”. Posteriormente, aparecerá a seguinte tela, conforme é apresentado na Figura 4.8.

Figura 4. 8 - Definições do projeto.



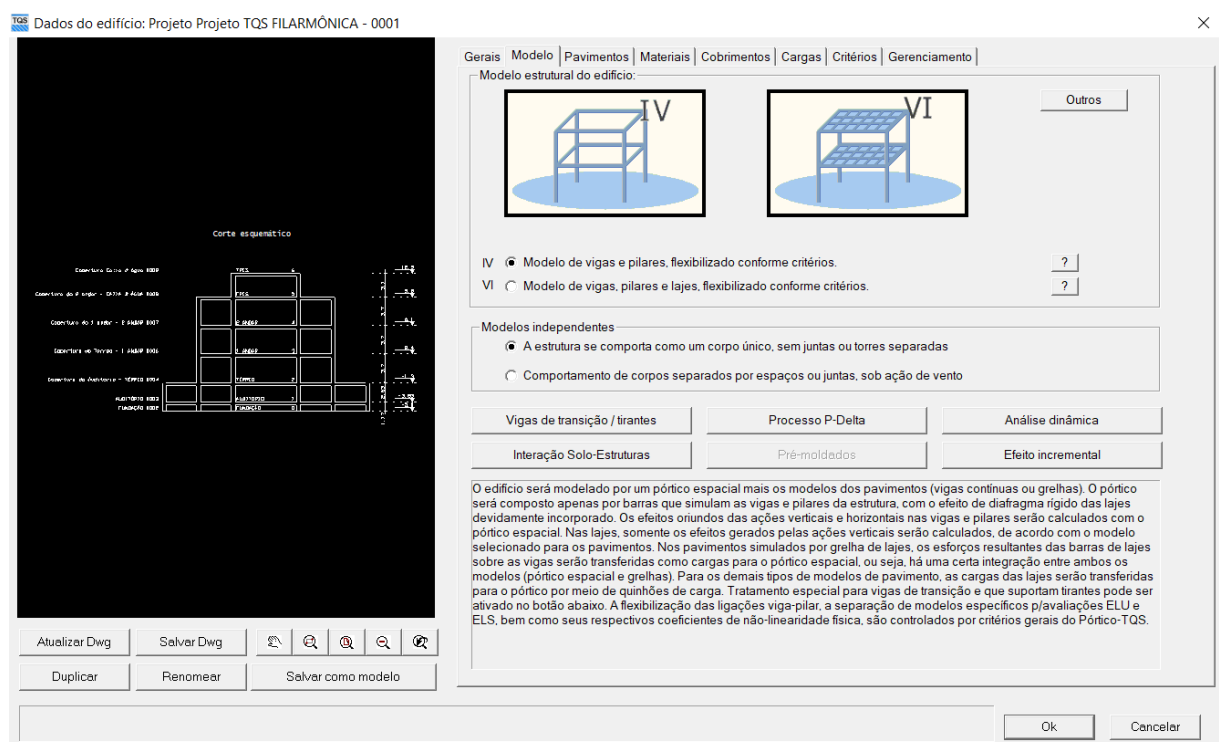
Fonte: Autoria própria (2024).

Na aba “Gerais”, os dados relativos à edificação foram definidos, conforme é mostrado na Figura 16, além da escolha da norma a ser utilizada e o tipo de estrutura. No presente

trabalho, foi elaborada a estrutura em Concreto Armado e a norma brasileira a ser utilizada será NBR 6118:2023.

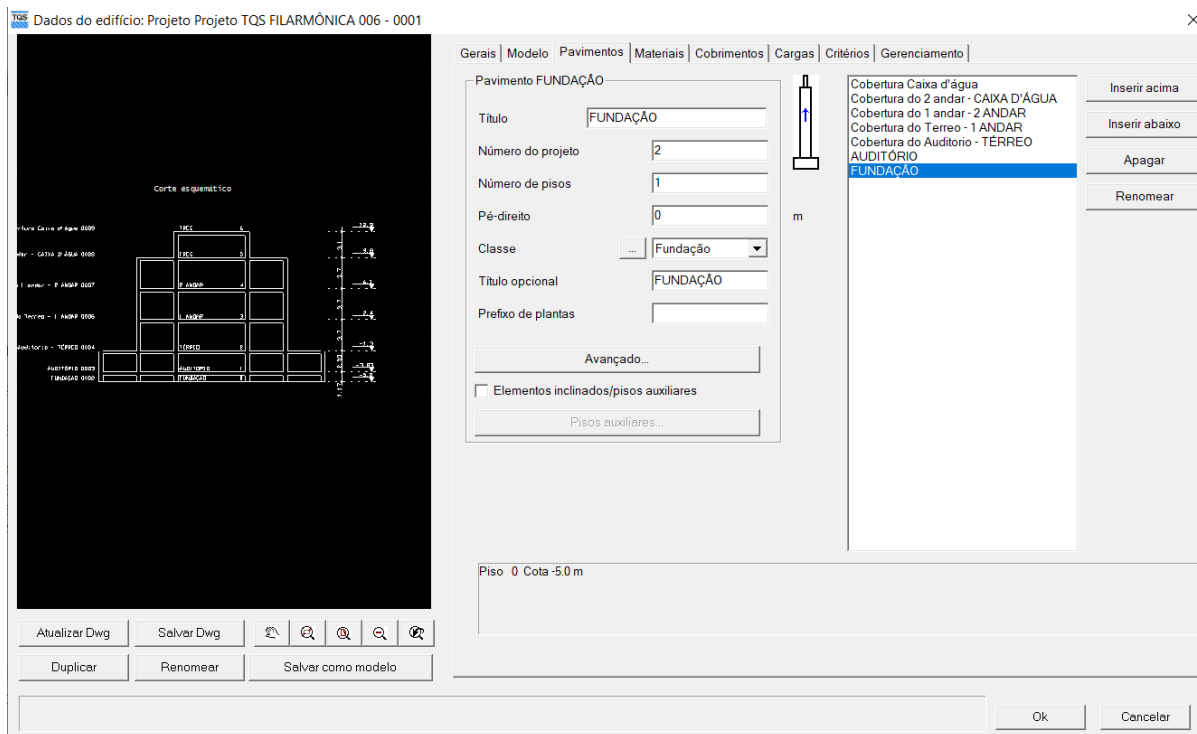
Os modelos estruturais mais comuns são o IV e o VI. Recomenda, de maneira geral, o uso do Modelo IV permite uma análise estrutural mais próxima à realidade. Nesta opção o edifício será modelado por um pórtico espacial, com o efeito da laje como diafragma rígido devidamente incorporado, mais os modelos dos pavimentos, conforme apresentando na Figura 4.9.

Figura 4.9 - Definição modelo do projeto.



Fonte: Autoria própria (2024).

Na aba “Pavimentos”, define-se dados do pavimento como a quantidade de pavimentos, a altura do pé direito de cada um deles e nomes de cada pavimento. A edificação foi elaborada em sete pavimentos, de acordo com a Tabela 1 sendo: fundação, auditório, cobertura do auditório e início do térreo, cobertura do térreo e início do primeiro pavimento, cobertura do primeiro pavimento e início do segundo pavimento, cobertura do segundo pavimento e o início do fundo da caixa d’água e por último tem a cobertura da caixa d’água, conforme a Figura 4.10.

Figura 4. 10 - Inserção dos pavimentos.

Fonte: Autoria própria (2024).

Na Tabela 1 foi apresentado os valores de Pé-direito e classe adotadas.

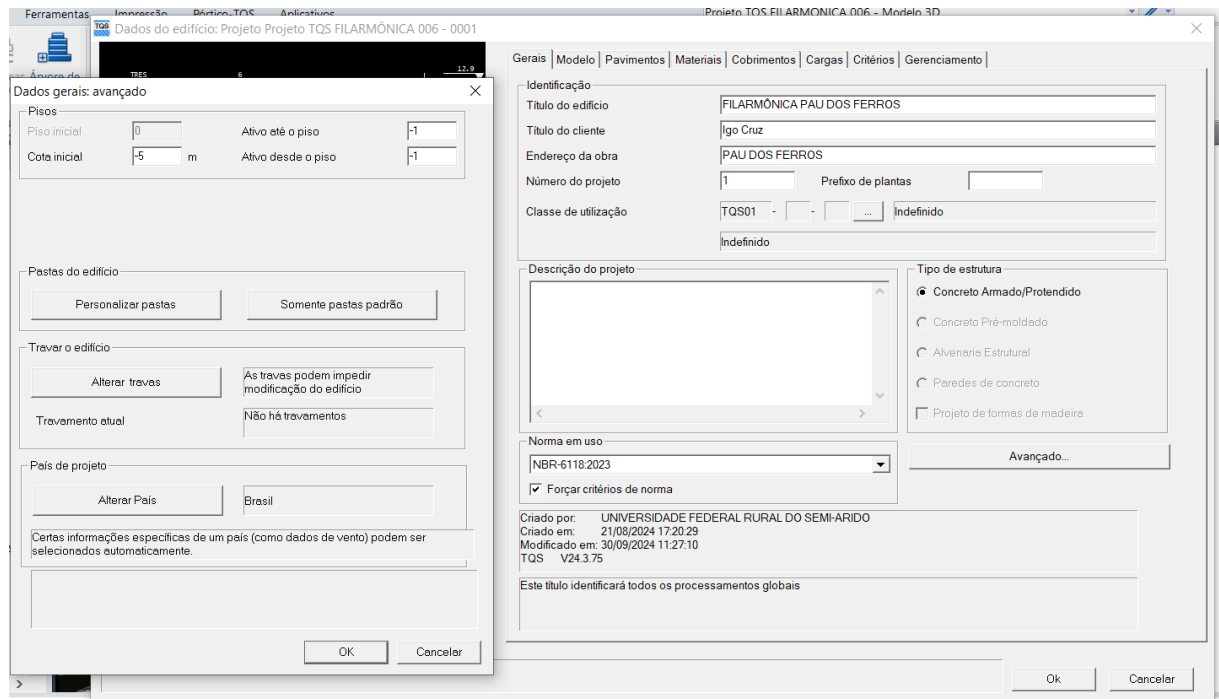
Tabela 4. 1 - Valores adotados na inserção dos pavimentos.

Pavimento	Pé-direito (m)	Cota (m)	Classe
Fundação	0	-5,0	Fundação
Auditório	1,17	-3,83	Subsolo
Cobertura do auditório e início o térreo	2,53	-1,3	Subsolo
Cobertura do térreo e início do primeiro pavimento	3,7	2,4	Primeiro
Cobertura do 1º pavimento e início do segundo pavimento	3,7	6,1	Tipo
Cobertura do 2º pavimento e o início do fundo da caixa d'água	3,7	9,8	Cobertura
Cobertura da Caixa d'água	3,1	12,9	Ático

Fonte: Autoria própria (2024).

A princípio, a cota do terreno é pré-definida como 0, para alterá-la e trazer de forma mais realista aos projetos, retorna-se à aba “Gerais”, clica-se em avançado, conforme se demonstra na Figura 15. A seguinte tela permitirá a alteração do nível de cota, para o projeto, que por sua vez definiu-se como – 5,0m, conforme se a Figura 4.11.

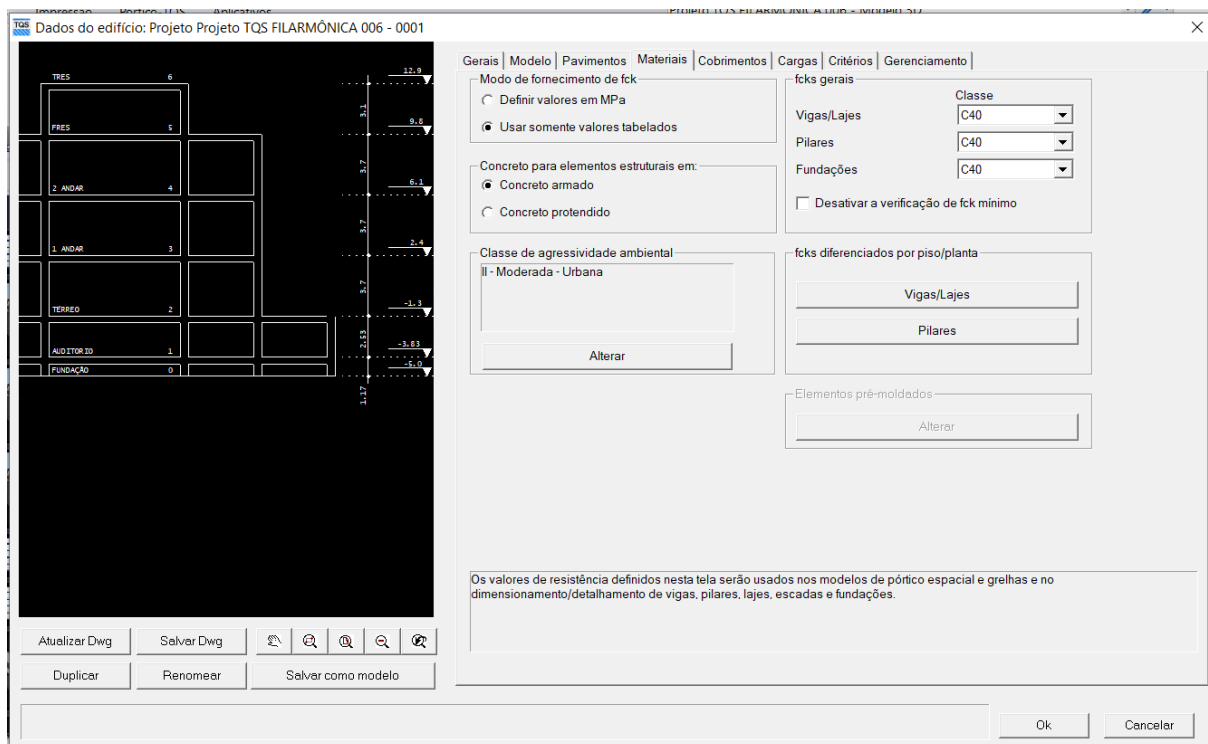
Figura 4. 11 - Dados Gerais e definição de cota.



Fonte: Autoria própria (2024).

O próximo passo é ir na aba “Materiais”, selecionar a classe de agressividade e o Fck é automaticamente atualizado a partir da norma escolhida, conforme se demonstra na Figura 4.12.

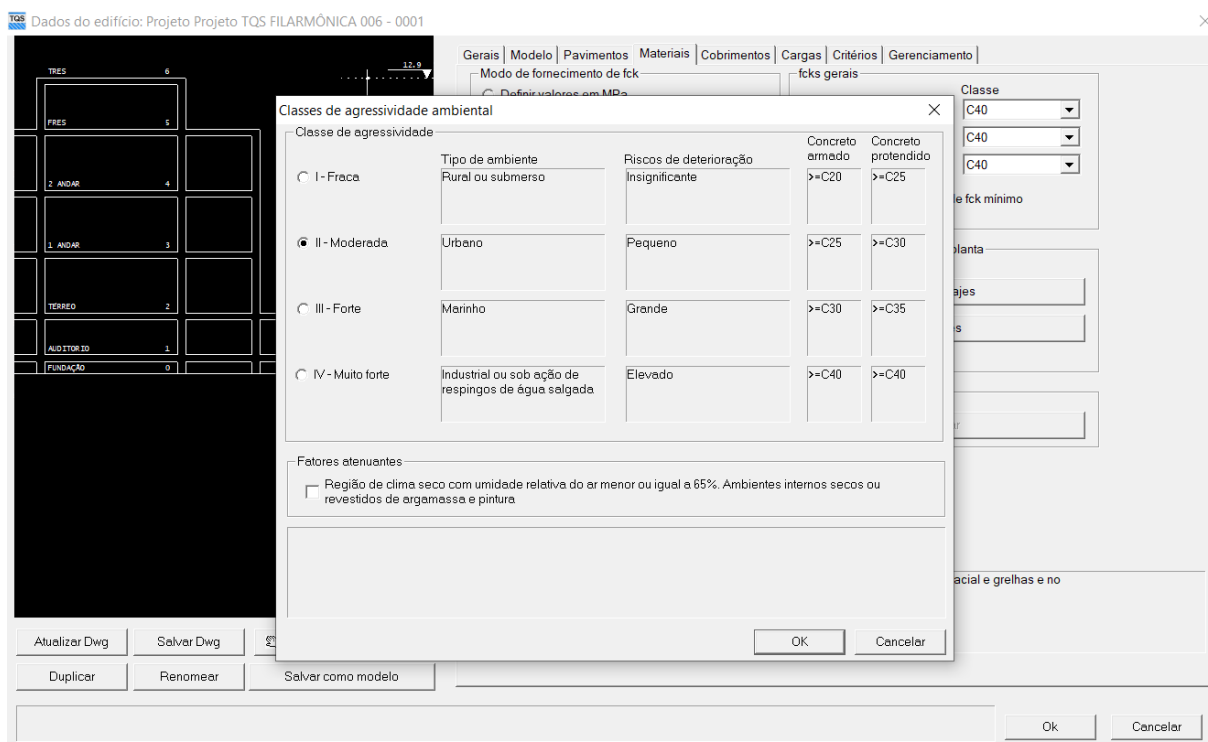
Figura 4. 12 - Definição dos fck's.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para alterar a classe de agressividade ambiental, clica-se em “Alterar”, onde aparecerá a seguinte tela, conforme a Figura 4.13.

Figura 4. 13 - Definindo classe de agressividade global.



Fonte: Autoria própria (2024).

Logo depois escolhe-se a classe ambiental de acordo com o tipo de ambiente que será construído, após a escolha, confirma-se em “OK”. Na aba “cobrimento”, os cobrimentos utilizados são os mesmos da norma, conforme se demonstra a figura 4.14.

Figura 4. 14 - Definindo os cobrimentos.

TQS Dados do edifício: Projeto Projeto TQS FILARMÔNICA 006 - 0001

Gerais | Modelo | Pavimentos | Materiais | **Cobrimentos** | Cargas | Critérios | Gerenciamento

Cobrimentos (cm)

	Inferior	Superior	Diferença secundária	
Lajes em geral	2.5	2.5	1	1
Lajes protendidas	3.5	3.5	1	
Vigas	3			
Pilares	3			
Fundações	3		1	

Cobertura de elementos em contato com o solo (cm)

Vigas e lajes	3	Pilares	4.5
---------------	---	---------	-----

Verificação de cobrimentos mínimos

Maior altura de bainha	60	mm
Maior bitola de viga/pilar	25	mm
Maior bitola de lajes	12.5	mm

☐ Desativar a verificação dos cobrimentos mínimos

Valores de norma

Valores diferenciados por planta

Pré-moldados

Fatores atenuantes

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

Classe de agressividade ambiental

II - Moderada - Urbana

Alterar

Combrimento da armadura inferior (positiva) das lajes

Atualizar Dwg Salvar Dwg

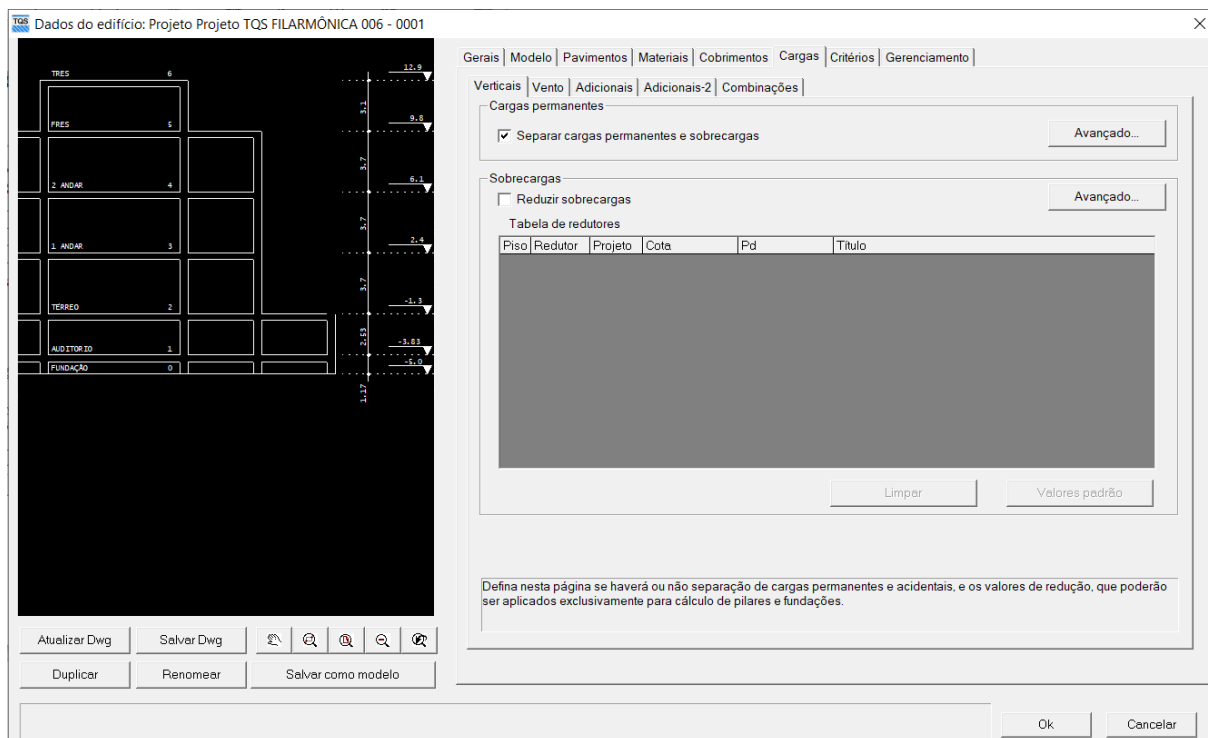
Duplicar Renomear Salvar como modelo

Ok Cancelar

Fonte: Autoria própria (2024).

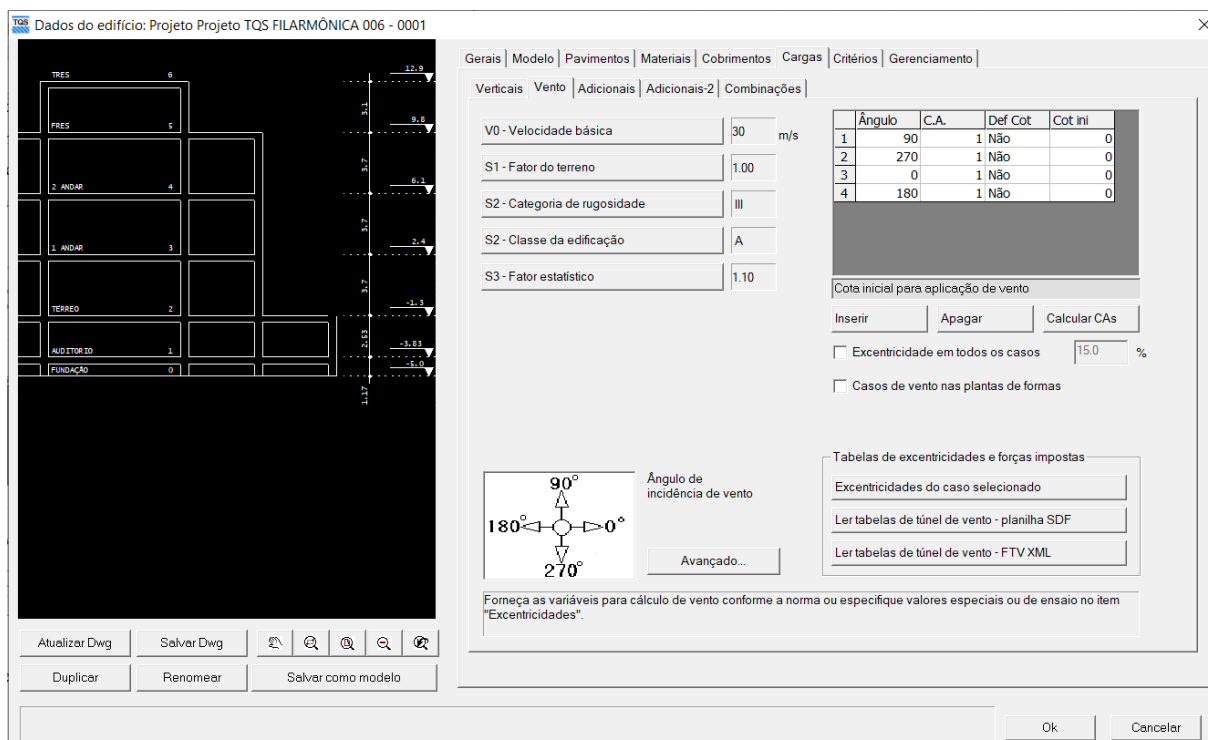
A próxima aba a ser selecionada é “Carga”, onde trata-se de uma etapa importante no projeto, pois é nesse momento que se define a carga de vento a ser aplicada na edificação, conforme se demonstra a Figura 4.15 e na Figura 4.16.

Figura 4. 15 - Carga de vento.



Fonte: Autoria própria (2024).

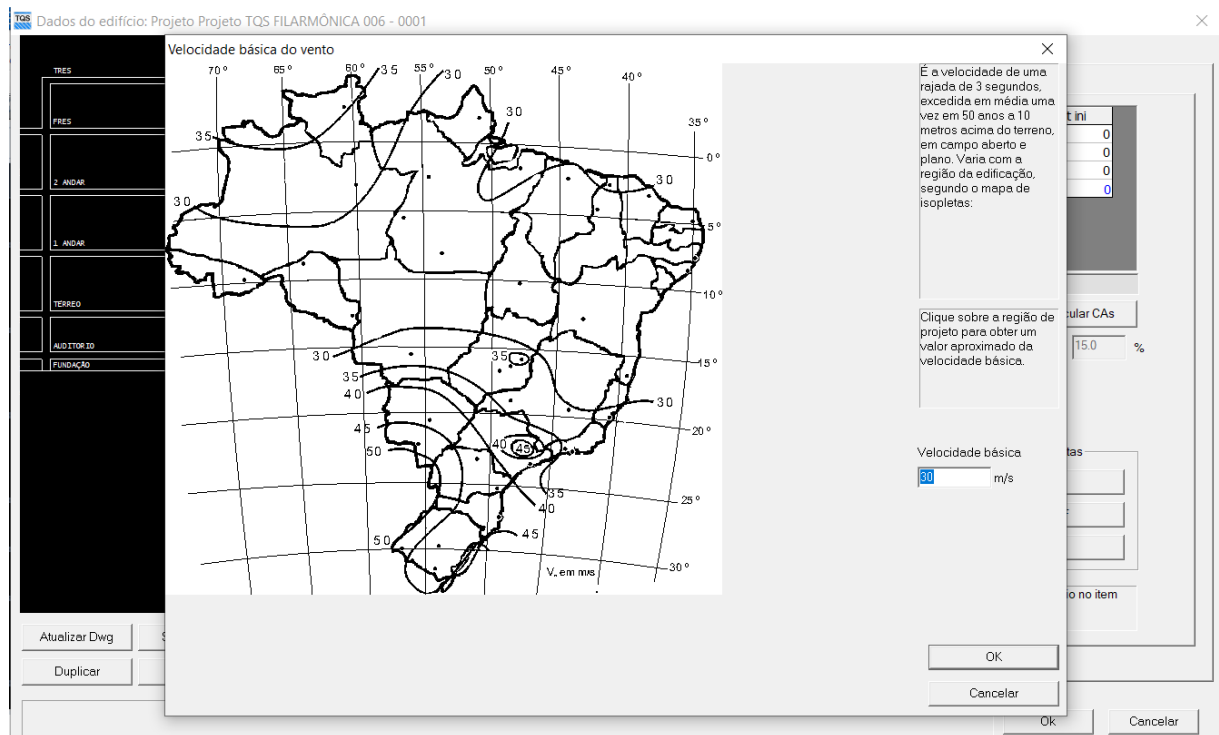
Figura 4. 16 - Definindo os dados do vento.



Fonte: Autoria própria (2024).

Seguidamente foi admitido o coeficiente de arrasto com valor 1, para todas as direções a fim de facilitação de cálculo. Segundo a norma de vento a NBR 6123:1988 Forças devidas ao vento em edificações para saber os valores usuais consideradas da velocidade básica do vento admitida, clica-se em “velocidade básica”, que aparecerá a seguinte tela, conforme a Figura 4.17.

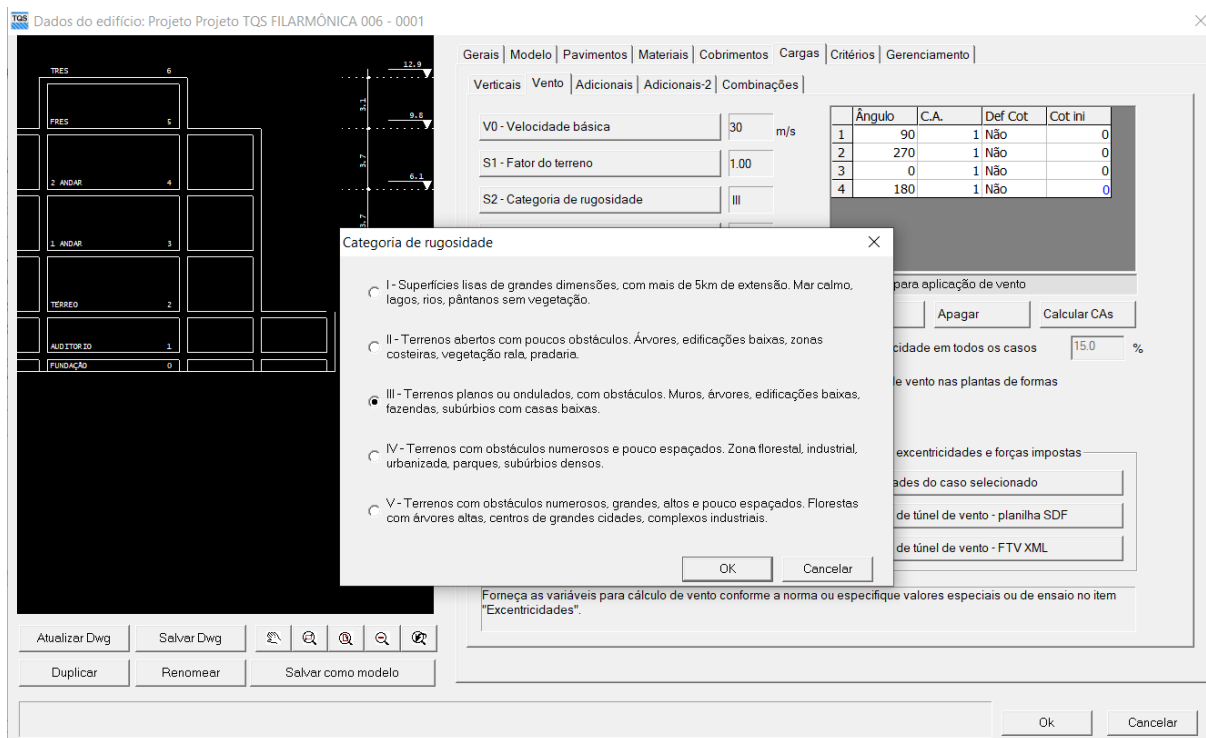
Figura 4. 17 - Velocidade básica do vento.



Fonte: Autoria própria (2024).

A edificação a ser dimensionada encontra-se no município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte, desta forma considerou-se a velocidade básica do vento como 30 m/s. Outro fator a ser utilizado é a “categoria de rugosidade” que se trata do local onde a edificação será instalada, conforme a Figura 4.18.

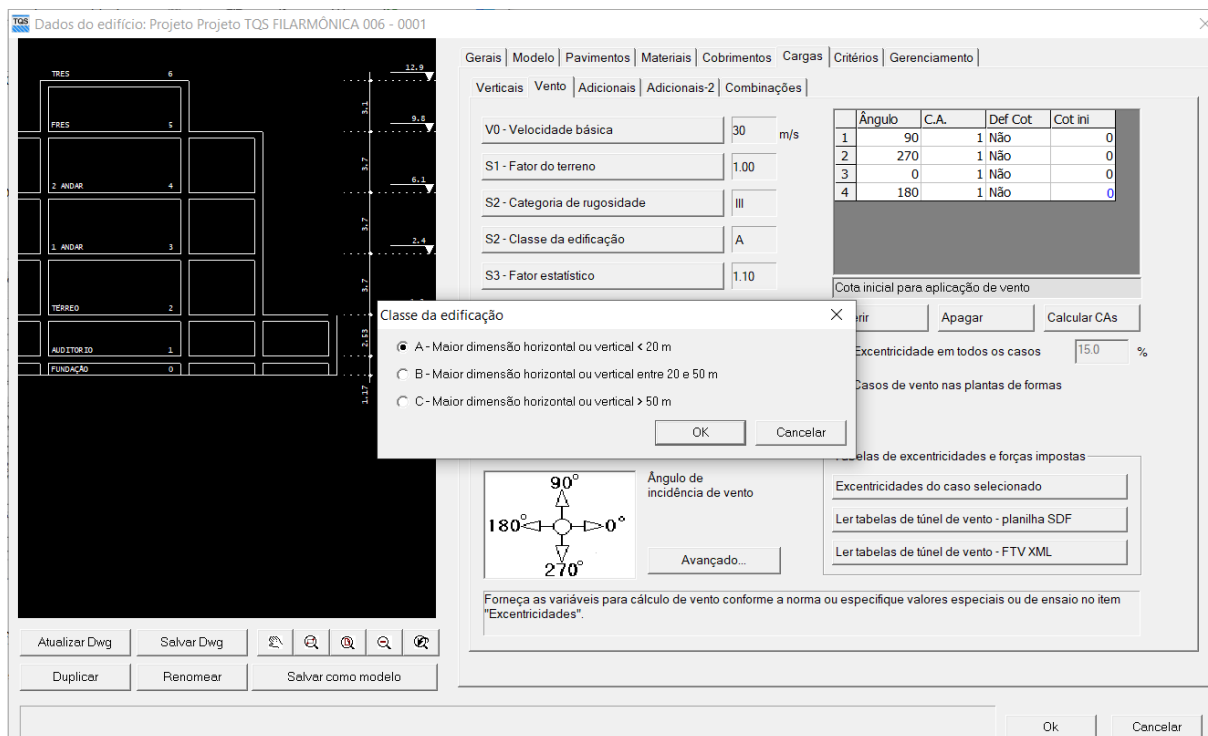
Figura 4. 18 - Categoria de rugosidade.



Fonte: Autoria própria (2024).

Conforme a NBR 6123:1988 a “categoria de rugosidade” escolhida foi a III, devido a localização, levando em consideração que será construída em um local com árvores e edificações baixas no qual apresentam uma cota média do topo dos obstáculos igual a 3,0m. Após a escolha, clica-se em “OK”. A seguir, o próximo item a ser escolhido é a classe da edificação, onde é definida de acordo como a maior dimensão horizontal, conforme se demonstra a Figura 4.19.

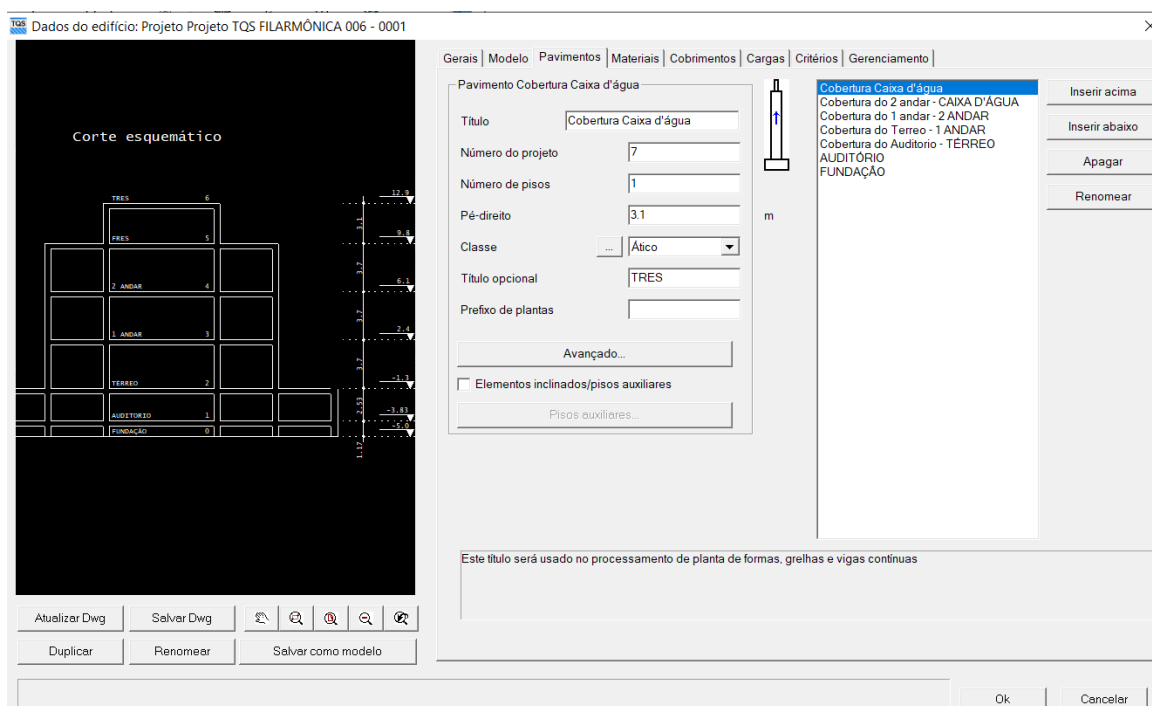
Figura 4. 19 - Classe da edificação.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para a visualização de como ficou a estrutura, seleciona em “Atualizar Dwg” e posteriormente seleciona em “Salvar Dwg”, e aparecerá a estrutura em corte vertical, como na Figura 4.20.

Figura 4. 20 - Atualizar DWG.



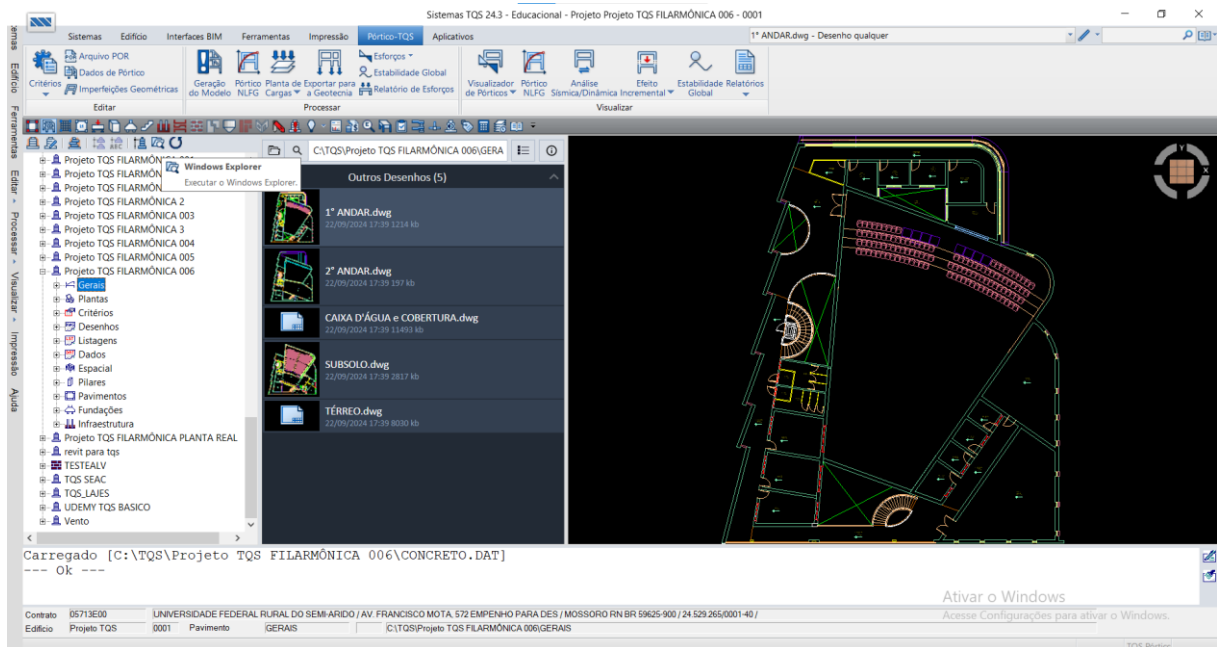
Fonte: Autoria Própria (2024).

4.2.3 Arquitetura de referência do AUTOCAD

No início do processo de criação do projeto estrutural, o Engenheiro de Estruturas recebe a planta arquitetônica. Esse documento normalmente inclui várias informações que não são relevantes para os cálculos estruturais, como a localização de móveis, detalhes de jardinagem e a designação dos ambientes. Embora esses dados sejam importantes para outras finalidades, como a elaboração de projetos elétricos e hidráulicos, para o Engenheiro de Estruturas, é fundamental reconhecer a localização de paredes, portas, janelas e escadas. Sendo assim, as plantas devem ser tratadas deixando as cotas em centímetros, retirar todas as hachuras, colocar no eixo cartesiano zero no dwg, com o mínimo de informação necessárias para a modelagem estrutural. Isto é, não precisa de cotas, blocos, entre outras.

Após criar o edifício deve ser inserido o desenho da arquitetura em DXF ou DWG inserido na pasta geral do Edifício. Em seguida, na árvore dos edifícios no TQS seleciona-se a pasta gerais do projeto e depois abre esse Windows Explorer, conforme se demonstra a Figura 4.21.

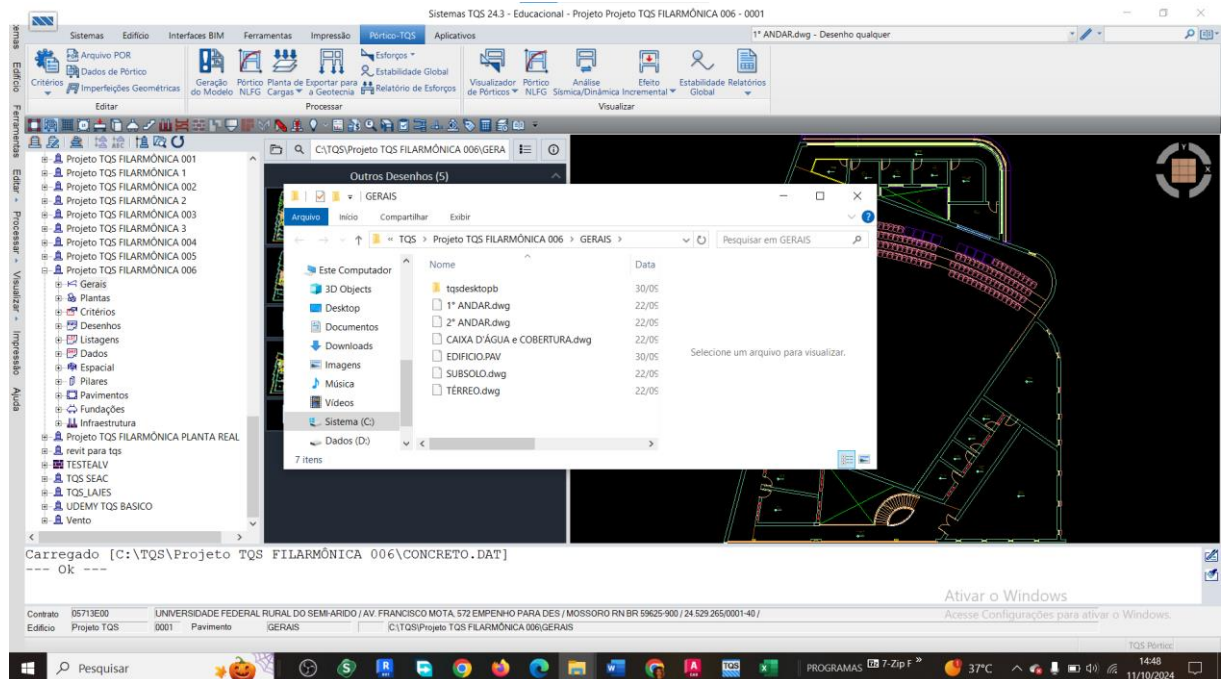
Figura 4. 21 - Abrindo pasta Gerais.



Fonte: Autoria Própria (2024).

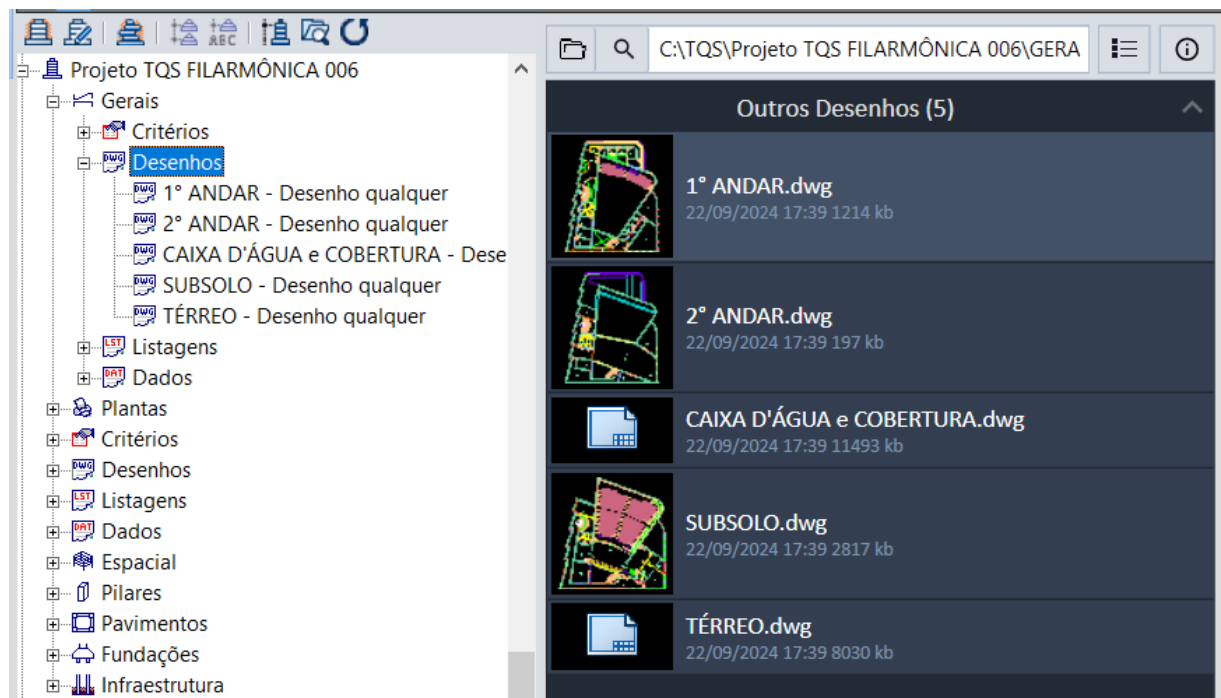
Copia as plantas baixas de cada pavimento e cola na pasta gerais, conforme mostrado na Figura 4.22 e Figura 4.23.

Figura 4. 22 - Pasta Gerais.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 23 - Plantas dos pavimentos inserida na pasta Gerais.

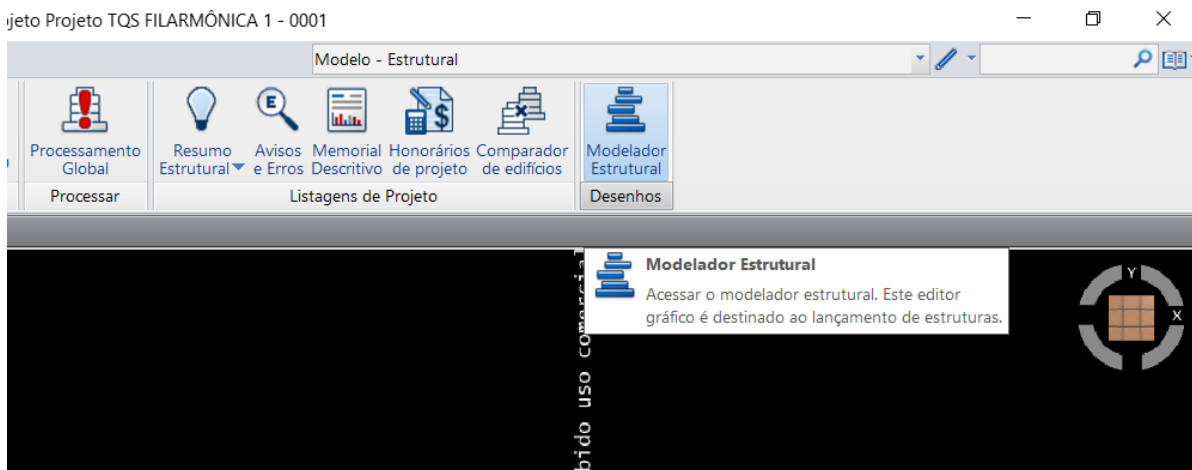


Fonte: Autoria Própria (2024).

Após isso, deve-se ir no modelador estrutural do TQS FORMAS e incluir as referências externas como suporte ao modelo. Para inserir a arquitetura como referência externa, no

modelador estrutural do pavimento, deve primeiro abrir o modelador estrutural indo na aba “Edifício”, e clicando em “modelador estrutural”, como na Figura 4.24.

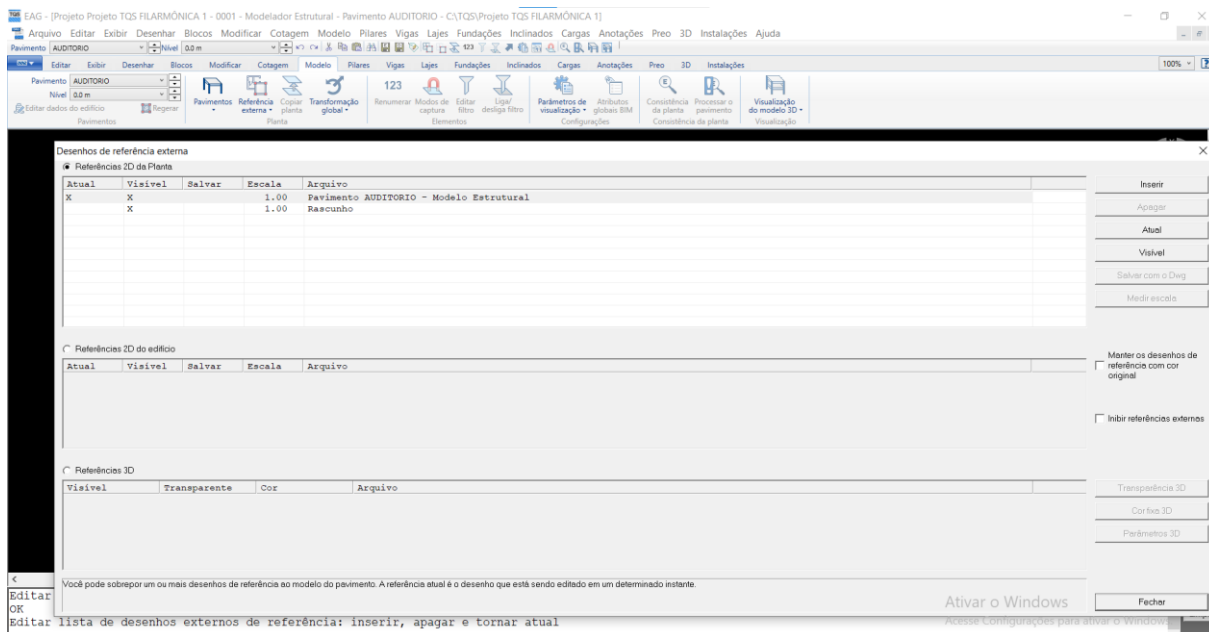
Figura 4. 24 - Modelador estrutural.



Fonte: Autoria Própria (2024).

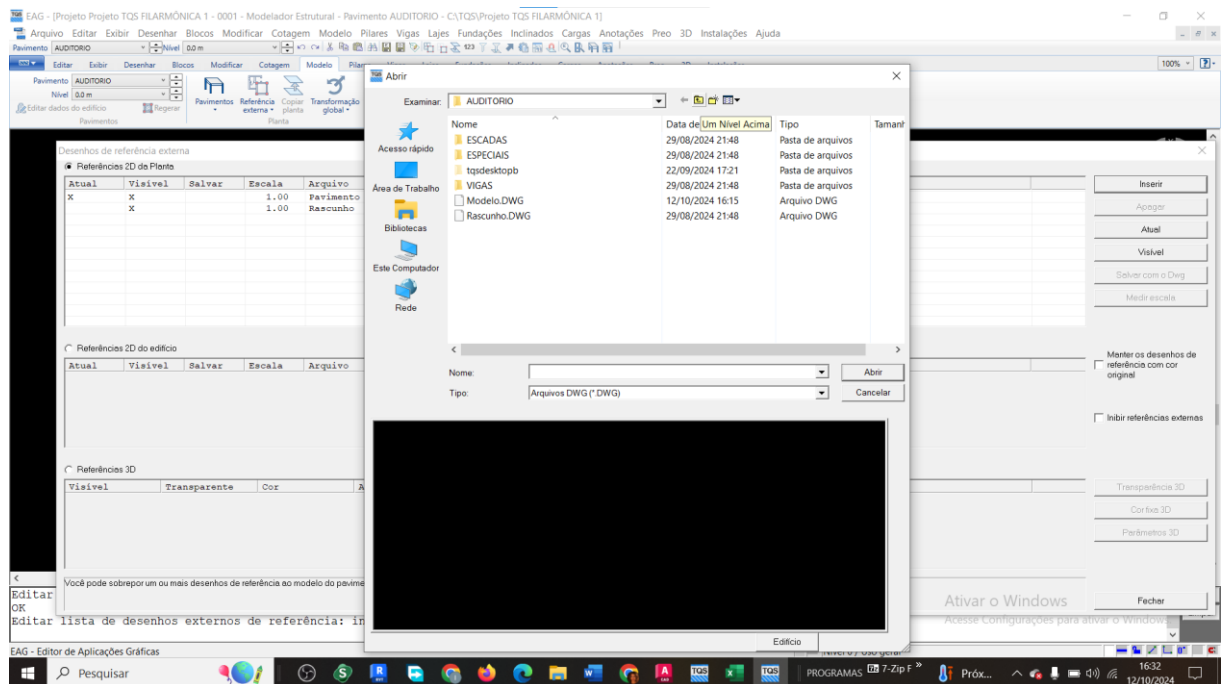
Na tela que irá abrir escolher qual pavimento serão inseridos as plantas de referências, para inserir as plantas deve-se ir na aba modelo para encontrar a opção de “referência externa”, a em seguida aparecerá a seguinte tela, como na Figura 4.25. Para uma nova referência, selecione em “INSERIR” (FIGURA 4.25).

Figura 4. 25 - Inserir referência externa.



Fonte: Autoria Própria (2024).

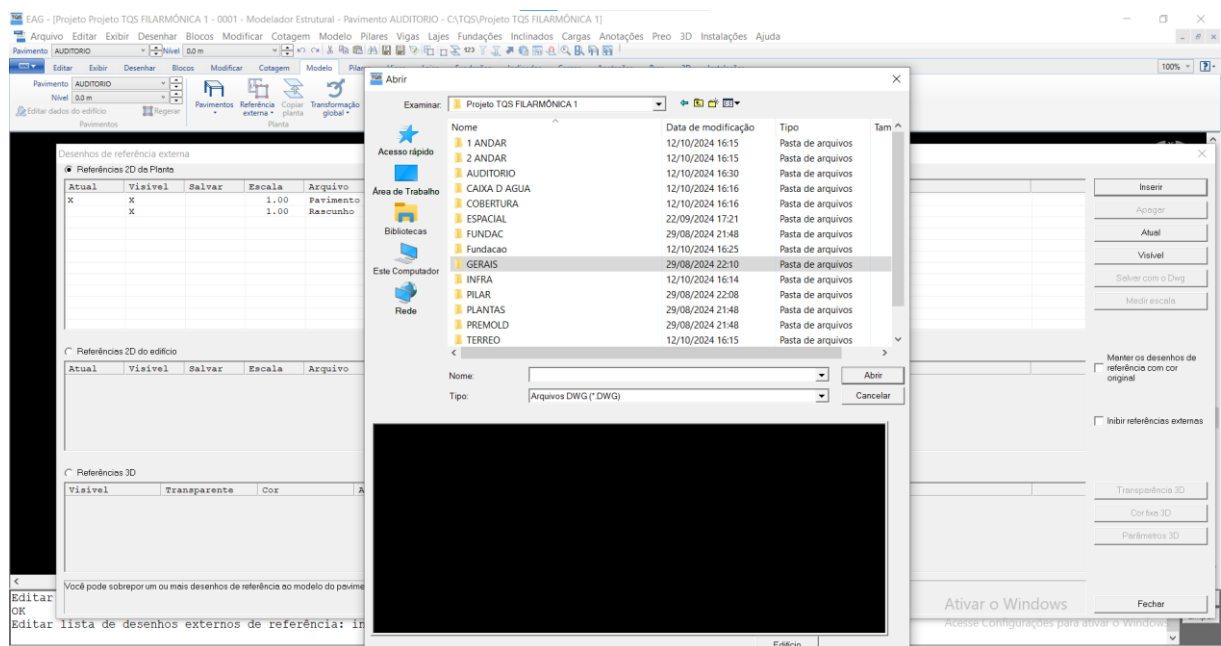
Figura 4. 26 - Inserindo o desenho de referência externa.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A seguir, aperta “INSERIR”, onde é preciso selecionar esse ícone da “UM NÍVEL ACIMA” e procurar a pasta “GERAIS”, como mostrado na figura 4.27. Isso é feito, devido a ser o local onde está salvo as referências externas de cada pavimento, que serão usados como referência para a modelagem estrutural.

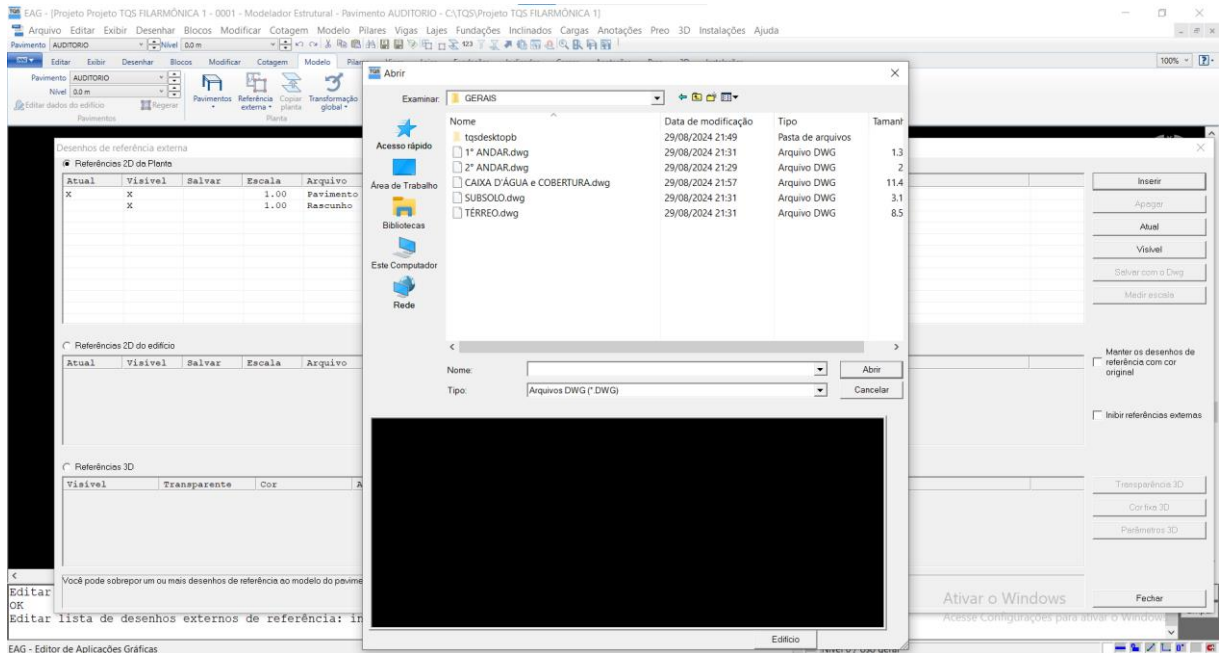
Figura 4. 27 - Pasta GERAIS.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Logo depois, abrir a pasta “GERAIS” para escolher qual a planta quer de referência externa para o pavimento, que foi selecionado anteriormente e desta forma é só apertar em “ABRIR”, como na figura 4.28.

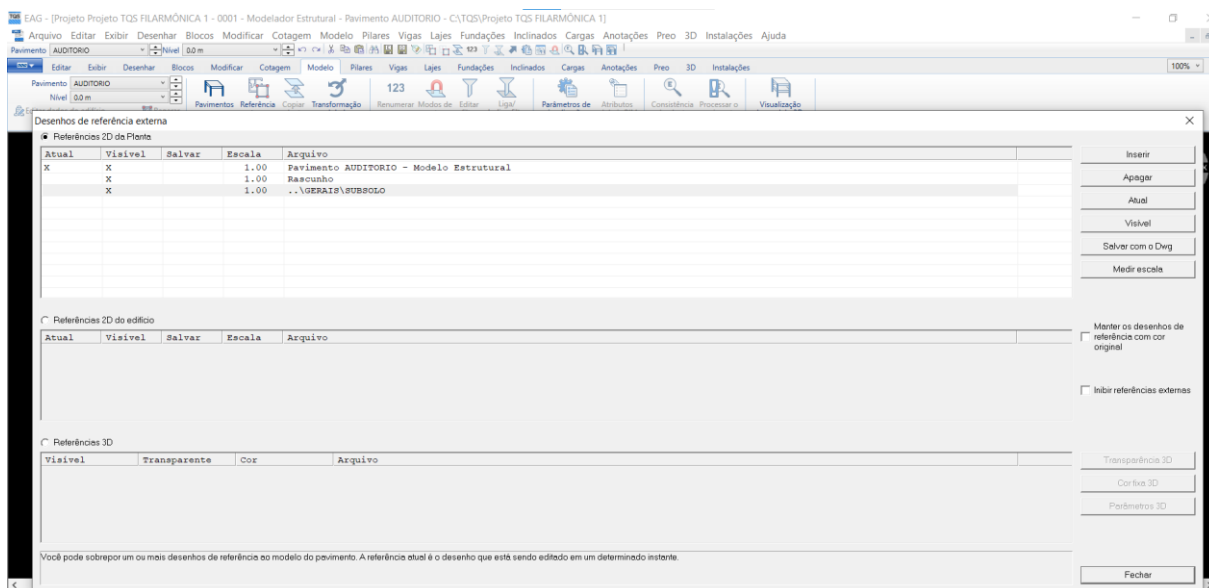
Figura 4. 28 - Escolhendo o DWG de referência.



Fonte: Autoria Própria (2024).

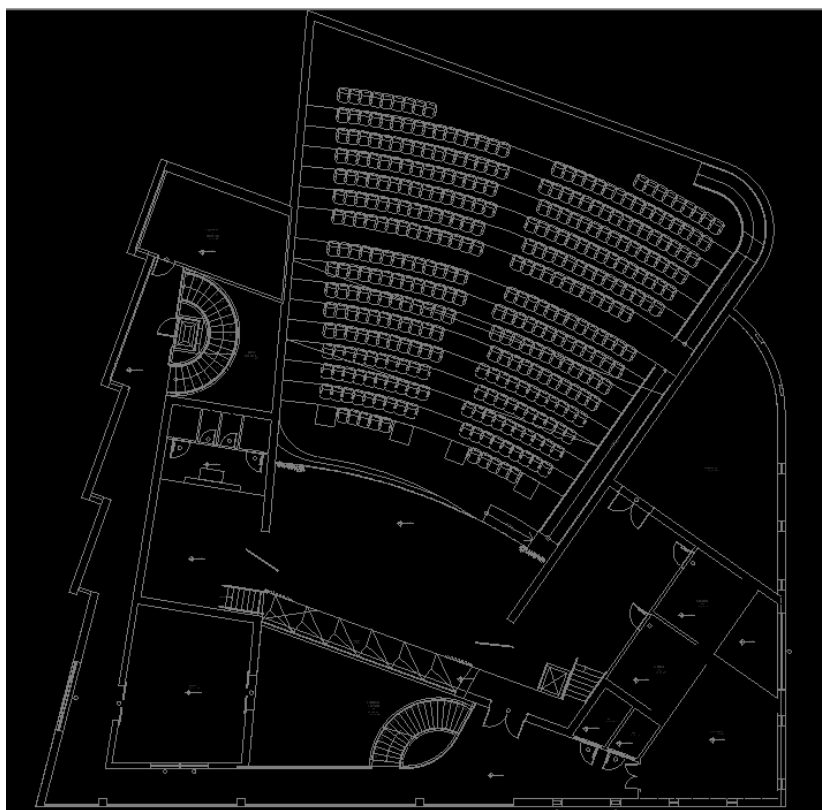
Seguidamente, irá ocorrer um pequeno processamento e a pasta selecionada irá aparecer. No caso como o pavimento selecionado é o auditório adotou-se a planta “subsolo” como referência (FIGURA 4.29).

Figura 4. 29 - Inserindo a referência externa Subsolo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 30 - Referência externa do pavimento Auditório.

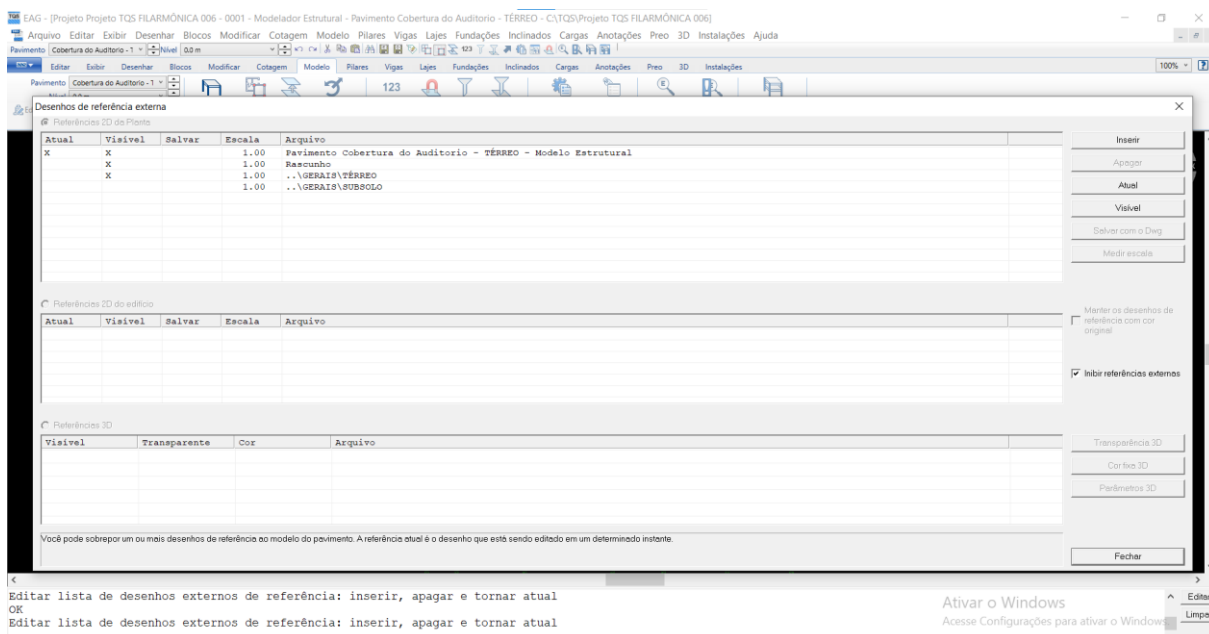


Fonte: Autoria Própria (2024).

O mesmo procedimento deve ser feito para os demais pavimentos.

No pavimento Cobertura do Auditório – Térreo, foi inserido a referência externa da planta do “SUBSLO” e “TERREO”, deixando visível qual a planta entre essas duas pretende-se visualizar, após escolhido, seleciona em “FECHAR”. como na Figura 4.31.

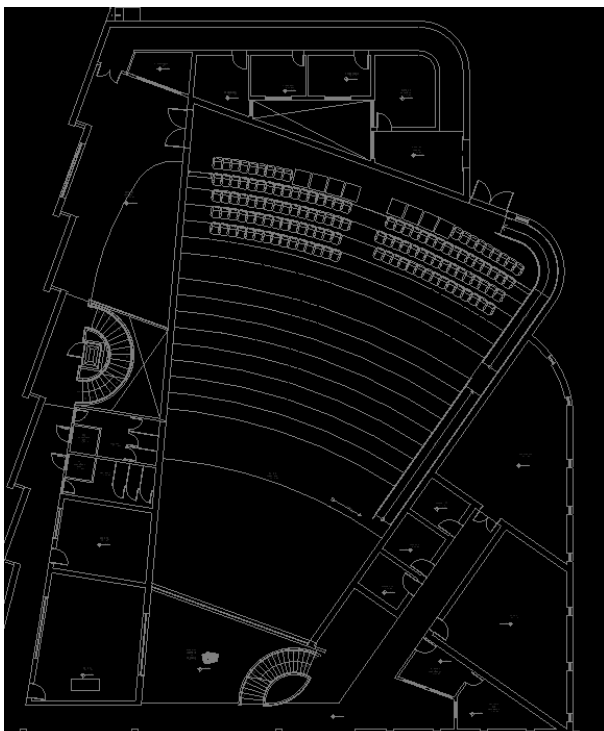
Figura 4. 31 - Inserindo a referência externa Subsolo e Térreo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Para a melhor visualização, clica-se no comando “Zoom Total” - Shift + F8, conforme se demonstra na Figura 4.32.

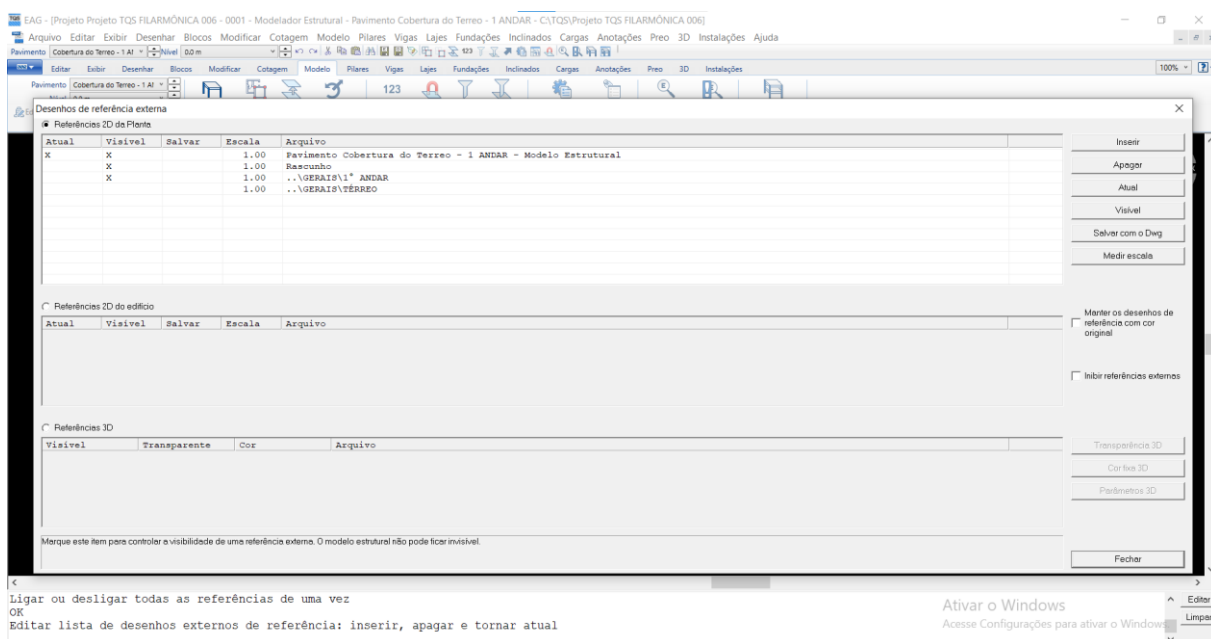
Figura 4. 32 - Zoom Total da referência externa do pavimento Cobertura do Auditório – Térreo.



Fonte: Autoria Própria (2024).

No pavimento Cobertura do Térreo – 1º Andar, foi inserido a referência externa da planta do “TÉRREO” e “1º ANDAR” deixando visível qual a planta entre essas duas pretende-se visualizar, após escolhido seleciona em “FECHAR”, conforme a Figura 4.33.

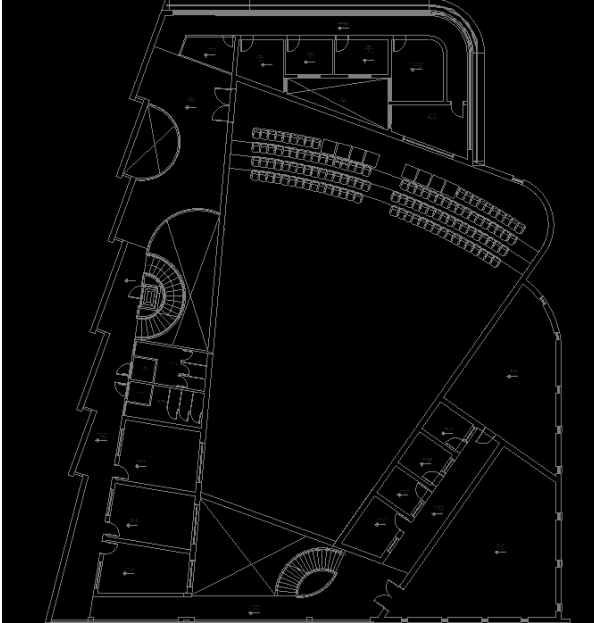
Figura 4. 33 - Inserindo a referência externa Térreo e 1º Andar.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Para a melhor visualização, seleciona o comando “Zoom Total” - Shift + F8 conforme se demonstra nas Figuras 4.34.

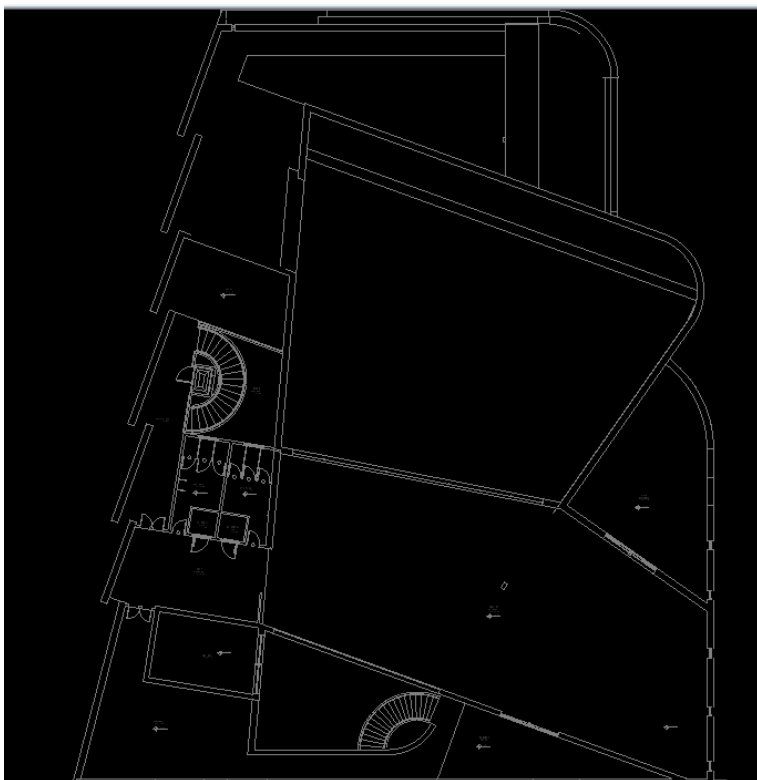
Figura 4. 34 - Zoom Total da referência externa do pavimento Cobertura Térreo – 1º Andar.



Fonte: Autoria Própria (2024).

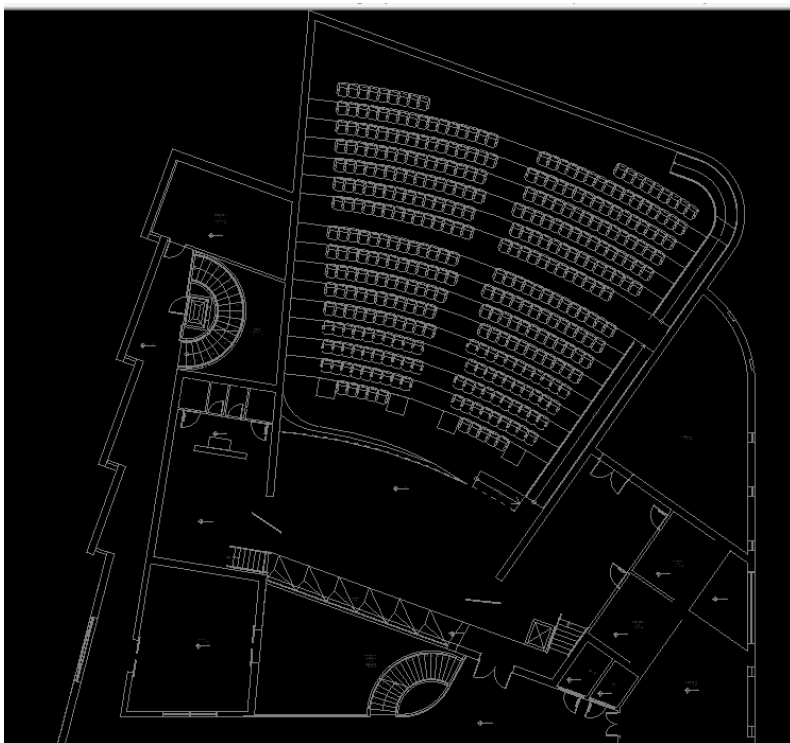
Nos demais pavimentos são realizados de forma análoga o procedimento de isenção da referência externa. Nas Figuras 4.35, Figuras 4.36, Figuras 4.37 apresenta respectivamente os pavimentos Cobertura 1º Andar – 2º Andar, Cobertura 2º Andar – Caixa d’água e cobertura com sua referência externa.

Figura 4. 35 - Referência externa inserida no pavimento Cobertura 1º Andar – 2º Andar.



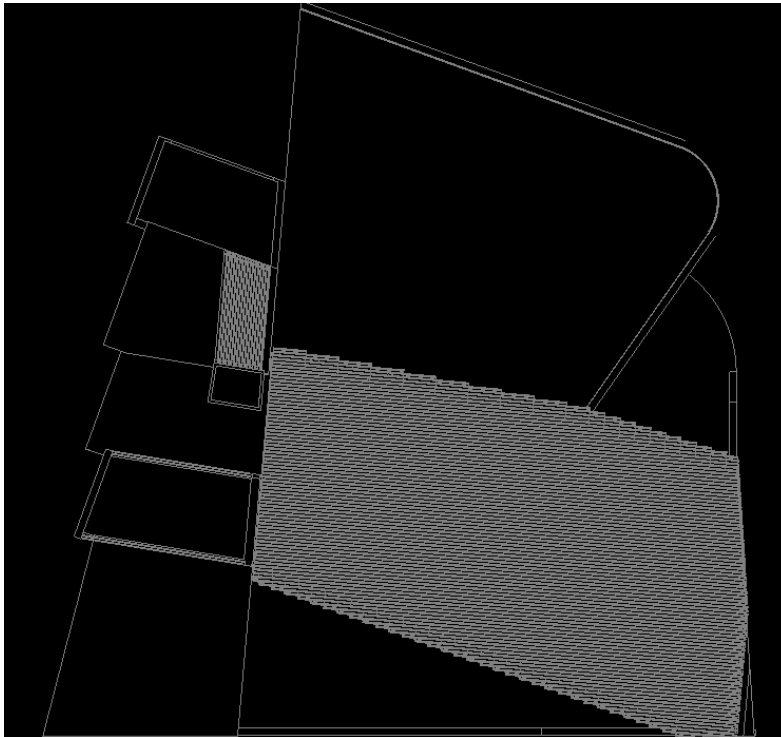
Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 36 - Referência externa inserida no pavimento Cobertura 2º Andar – Caixa d'água



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 37 - Referência externa inserida no pavimento Cobertura 2º Andar – Caixa d'água.

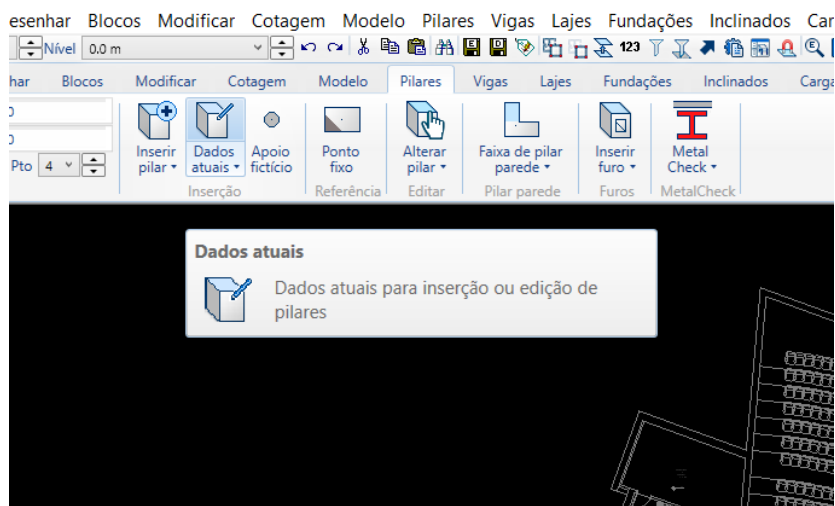


Fonte: Autoria Própria (2024).

4.2.4 Definição dos Pilares

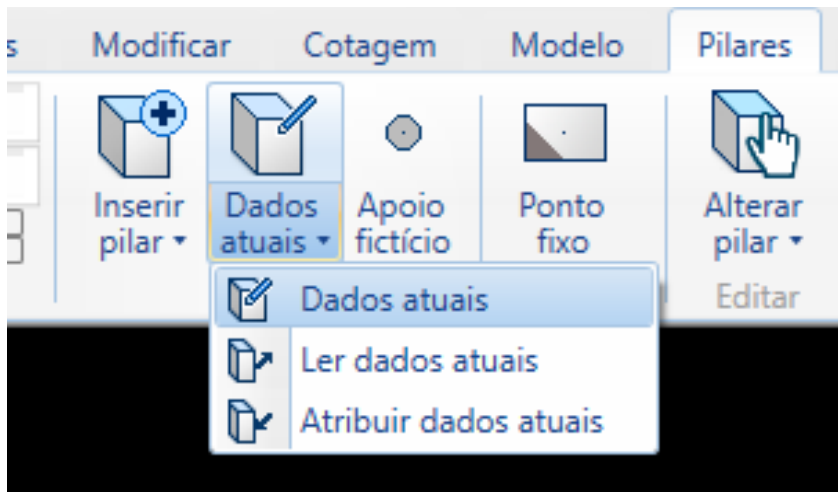
A definição dos Pilares pode ser realizada em qualquer pavimento. Para este trabalho, iniciou-se pela cobertura do auditório. Após escolhido onde será realizada a locação de cada pilar da edificação, pode-se fazer o lançamento dos pilares através da aba “PILARES”. Ao clicar em “Dados atuais”, define-se as dimensões do pilar, a numeração e a carga, como nas Figuras 4.38 e 4.39.

Figura 4. 38 - Inserção dos pilares.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 39 - Dados dos pilares.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após clicar na aba “Dados atuais”, aparecerá a tela, conforme se mostra na Figura 4.40.

Figura 4. 40 - Identificação dos pilares.

Fonte: Autoria Própria (2024).

Na parte “Identificação”, aparecerão os dados relativos à numeração do pilar. Automaticamente será definido como “P01”.

Na aba “Seção”, define-se os dados relativos à geometria do pilar. Quando acionada, aparecerá a seguinte tela, conforme se exhibe na Figura 4.41.

Figura 4. 41 - Seção dos pilares.

Dados de pilares

Identificação | Seção | Modelo | Grelha/Pavimento | Pórtico | Detalhamento | Cargas | Plantas/Seções | BIM

Posição de inserção
☐ Centro
☒ Canto
☐ Ponto médio seguido ao canto

Ângulo de inserção: 0 °

Revestimento: 0.5 cm

Material não padrão

Retangular | Em L | Em U | Circular | Poligonal | Perfil

B1: 39 cm
H1: 39 cm

Diagrama de seção: 4 3 1 2, E1

Revestimento considerado caso o pilar seja inserido por um dos cantos. O revestimento é paralelo às faces do pilar.

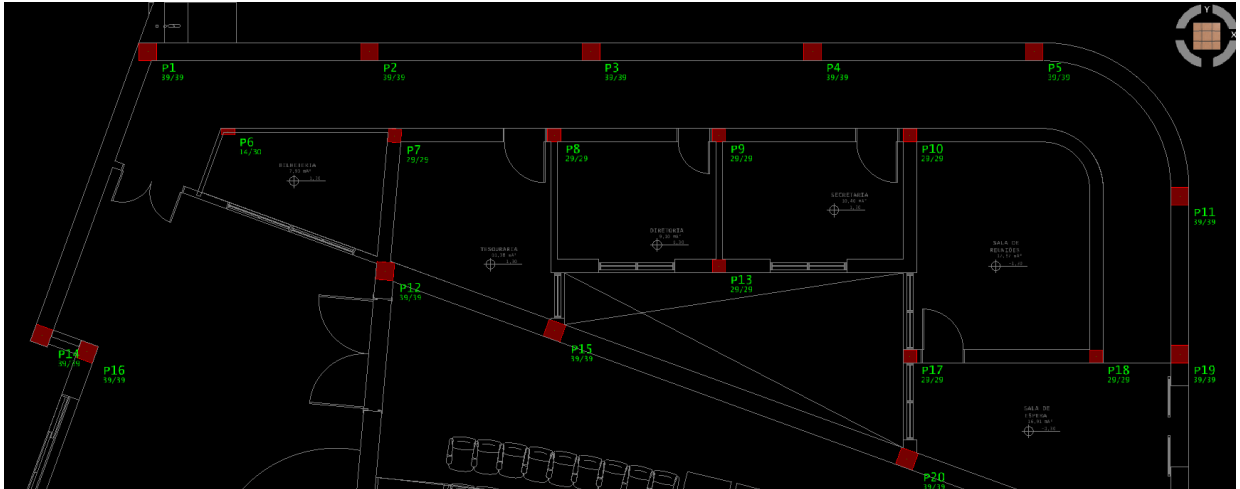
OK Cancelar Inserir

Fonte: Autoria Própria (2024).

Posteriormente se deve escolher “canto” em “posição de inserção” caso queira colocar através de um dos quatro cantos do pilar (retangular, no caso). Tal escolha de “centro” é dada através do centro do pilar, onde o software permite também a escolha da geometria do pilar. Todavia, as dimensões dos pilares foram definidas devido as dimensões da parede e considerando um revestimento em ambas as faces de 0.5cm. Logo se a parede apresenta uma seção de 40 cm considera um pilar de 39 cm com um revestimento em ambas as faces de 0.5cm. No entanto o projeto adotado tem paredes com dimensões de 40cm, 30cm, 20cm e 15cm sendo assim, a dimensões dos pilares dependem da região de inserção, neste projeto adotou-se pilares de 39 cm x 39 cm, pilares de 29 cm x 29 cm, pilares de 39cm x 80cm, pilares de 39 cm x 200 cm e pilares de 14cm x 30 cm em todos os pilares foi adotado um revestimento de 0,5 cm.

Como o primeiro pilar ficará de forma horizontal, o ângulo de inserção é 0°, conforme se exibe na Figura 4.42.

Figura 4. 42 - Posicionando pilares.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Para os pilares que apresentam alguma inclinação, é preciso gira-lo o comando para (girar) é selecionando (G) , após clicar-se em “Inserir Pilar” deve aparte “G” e selecionar dois pontos na arquitetura a qual será de referência para o pilar. Durante a inserção dos pilares é possível selecionar os comandos Ponto de isenção (atalho no teclado: F2) e rotacionar (atalho no teclado:F4). A distribuição final dos pilares é exibida na Figura 4.43.

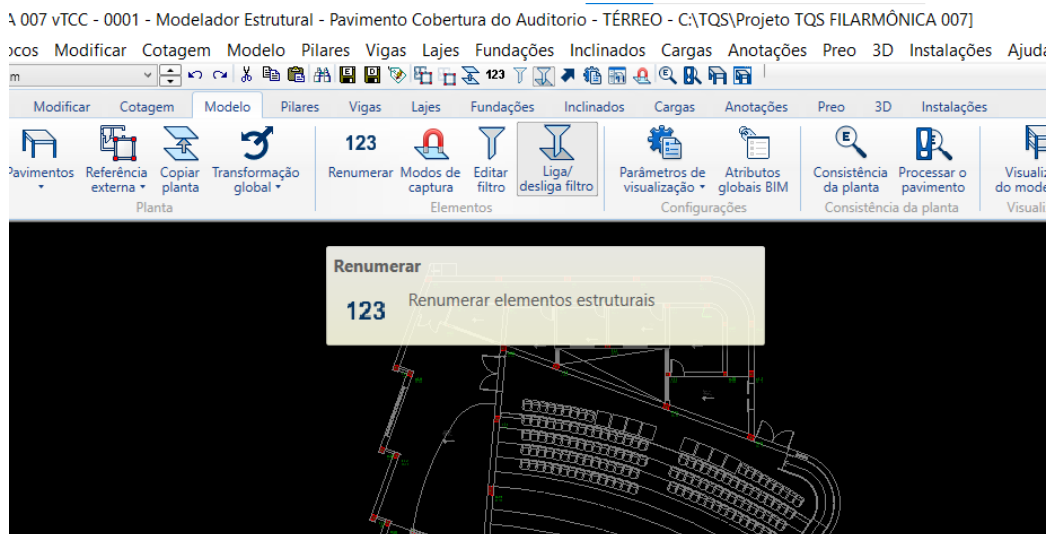
Figura 4. 43 - Pilares posicionados.



Fonte: Autoria Própria (2024).

É possível renumerar os pilares com o comando renumerar, conforme se demonstra na Figura 4.44.

Figura 4. 44 - Renumeração Pilares.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Na aba “Modelo”, seleciona-se a aba “renumerar” e parecerá a tela, conforme apresentado na Figura 4.45.

Figura 4. 45 - Renomeração Pilares.

Renomeração de elementos

Tipo

- ☒ Pilares
- ☐ Vigas
- ☐ Vigas Inclínadas
- ☐ Lajes
- ☐ Lajes Inclínadas
- ☐ Fundações
- ☐ Estacas

Elementos

- ☒ Todos
- ☐ Seleção
- ☐ Indicados

Valor inicial

Número:

Título:

Opções

- ☒ Números
- ☐ Títulos
- ☐ Eliminar títulos
- ☐ Realinhar identificações
- ☐ Retângulo envolvente
- ☐ Centro de gravidade
- ☐ Igualar à numeração de pilares

Tolerância: cm

Voce pode renumerar vigas, pilares ou lajes, todos de uma vez ou apenas os seleccionados. A renumeración pode ser feita também nos títulos atribuídos aos elementos.

Listar elementos

Somar numeração

Renumerar Cancelar

Fonte: Autoria Própria (2024).

Logo estarão ordenados de forma padrão utilizada em projetos como apresentado na Figura 4.46.

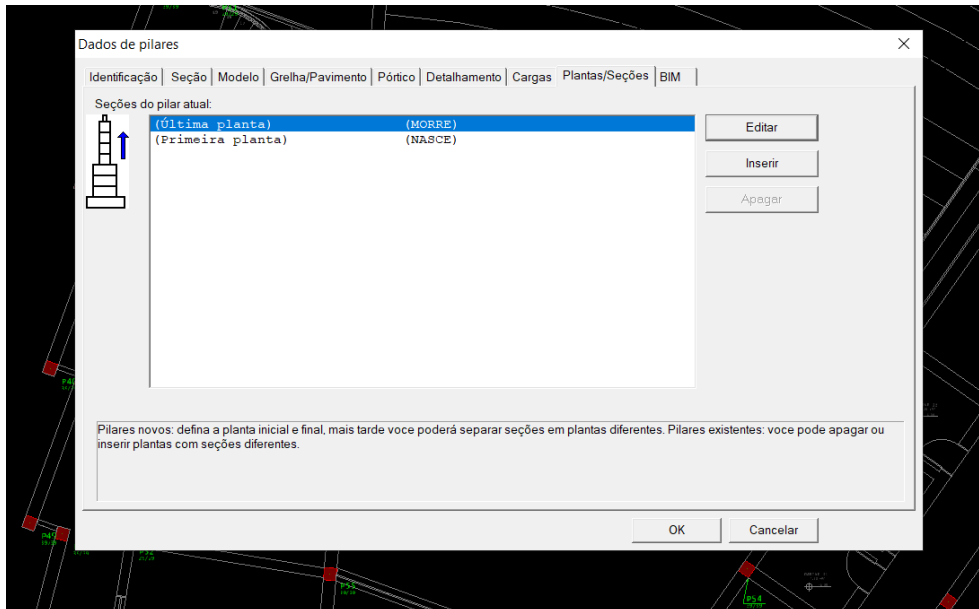
Figura 4. 46 - Pilares renumerados.



Fonte: Autoria Própria (2024).

No exemplo de projeto utilizado neste trabalho, nem todos os pilares iniciam na fundação e terminam na cobertura. Para alterar os lances dos pilares, deve-se selecioná-los (apertando duas vezes nos pilares). Após isso, aparecerá a tela (Figura 4.47).

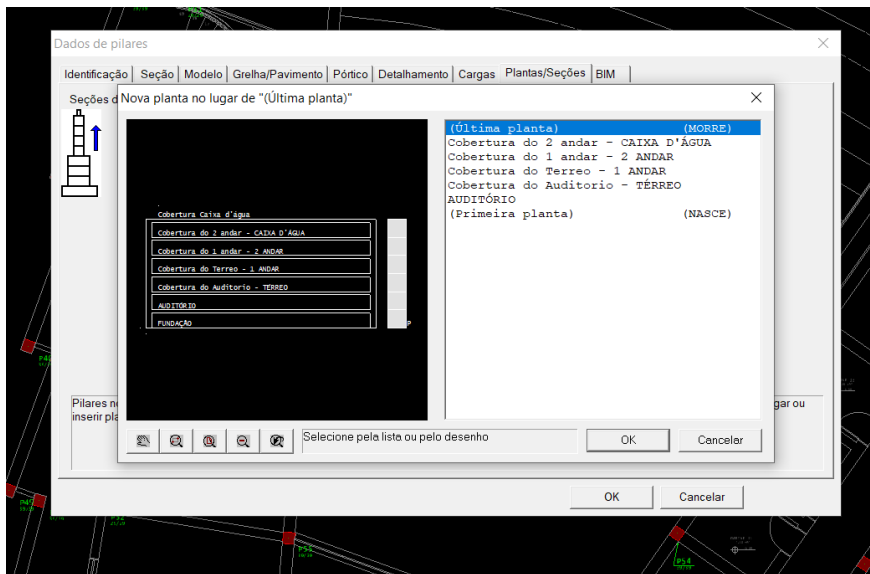
Figura 4. 47 - Editando Pilares.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Na parte de “plantas/seções”, aparecerá a tela igual a imagem acima. Escolhe-se caso queira se alterar onde o pilar “nasce” ou onde o pilar “morre”. No exemplo, o pilar escolhido foi o P39 o qual é um dos pilares da caixa d’água, logo ele vai “nascer” na primeira planta e “morre” na última planta. Clica-se em “editar, aparecerá a tela (Figura 4.48).

Figura 4. 48 - Definindo onde o pilar morre.



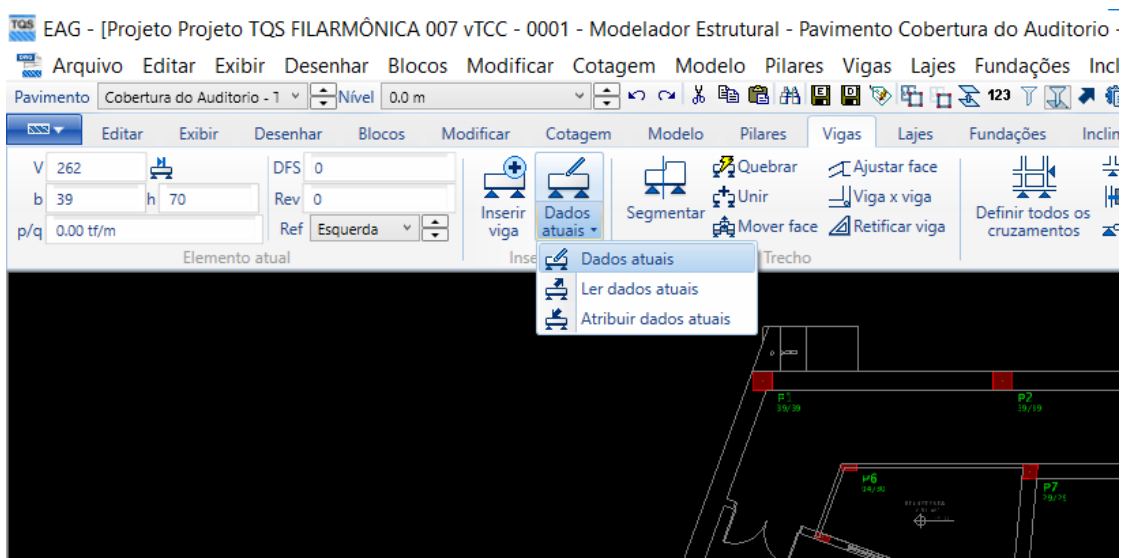
Fonte: Autoria Própria (2024).

Após escolhido os andares os quais se iniciam e terminam cada pilar, clica-se em “OK”.

4.2.5 Lançamento das Vigas

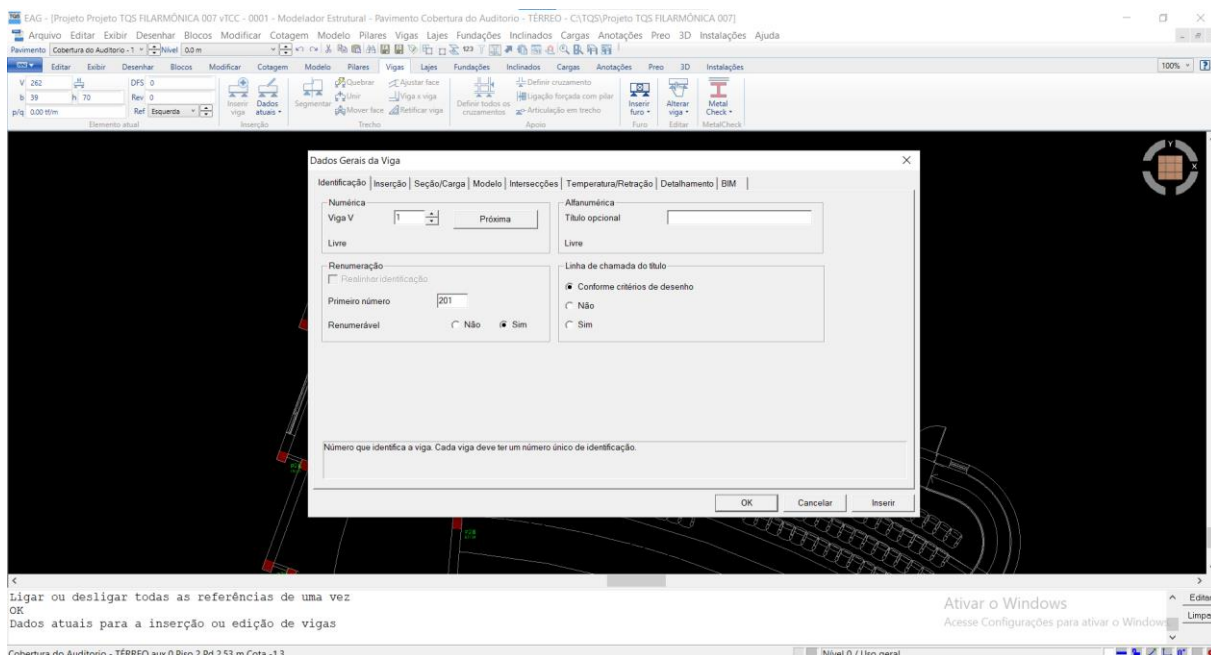
A inserção de vigas no sistema segue, o mesmo padrão aplicado aos pilares. Clica-se na aba “Vigas”, seleciona “Dados atuais”, conforme demonstrado na Figura 4.49.

Figura 4. 49 - Lançamento de Viga.



Fonte: Autoria Própria (2024).

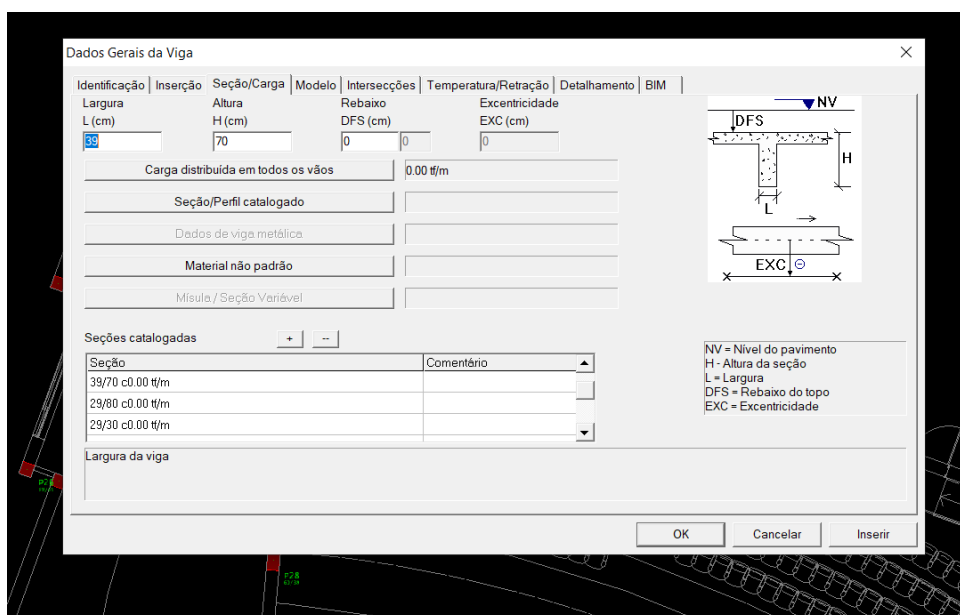
Figura 4. 50 - Dados das Vigas.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Na aba de “identificação”, será identificado todos os dados relativos à viga, como número de identificação e seu título opcional. Na aba “seção/carga”, serão definidas as dimensões e suas cargas, conforme é exibido na Figura 4.51.

Figura 4. 51 - Definindo carga da viga.



Fonte: Autoria Própria (2024).

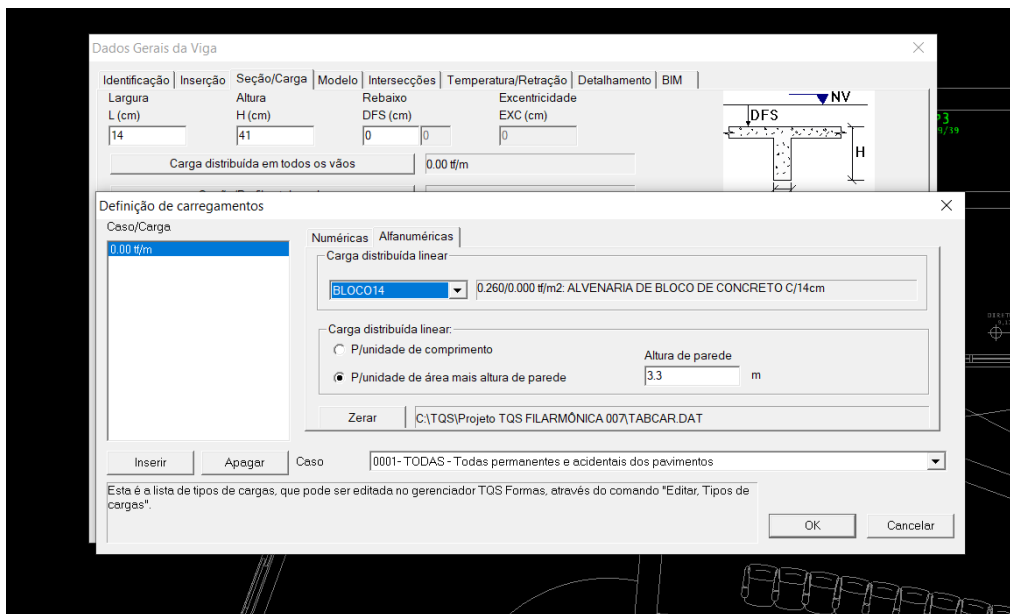
Foram adotadas vigas de 14 cm x 40 cm, 19 cm x 40 cm , 29 cm x 50 cm, 29 cm x 80 cm , 29 cm x 90 cm, 39 cm x 60 cm , 39 cm x 70 cm, 39 cm x 80 cm. A largura da viga foi

determinada em função da arquitetura, se a parede é de 15 cm consequentemente será adotada 14 cm de viga, desta forma o mesmo processo é realizado para quando as paredes forem definidas com 30 cm e 40 cm, respectivamente as vigas terão largura de 29 cm e 39 cm.

A altura de cada viga foi estabelecida aplicando um pré-dimensionamento no qual segue uma relação $10 < \frac{L}{h} < 12$, em que L é o vão teórico da viga e h a altura. A exemplo disso, se na viga o maior trecho for de 600 cm a altura a ser adotada será de 60 cm para essa viga.

Para incluir as cargas nas vigas, deve-se selecionar a aba "cargas distribuídas" e a seguinte tela aparecerá, conforme demonstrado na Figura 4.52.

Figura 4. 52 - Escolha da carga sobre a viga.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A seguir, seleciona-se a opção “p/unidade de área mais altura da parede” e o tamanho do bloco. A altura de parede a ser determinar é o valor do Pé direito apresentado na Tabela 1 menos a altura da viga. Como o valor do Pé direito no pavimento Cobertura Auditório – Térreo é de 3,7m e a viga tem 40 cm de altura, a altura da parede será 3,3m.

Nas vigas de 14 cm adotou-se o bloco de 14 cm nas demais vigas optou-se por deixar o bloco de 19cm. Após selecionado o tipo de alvenaria, confirma-se a escolha em “OK”. Retornará para a tela anterior com as cargas selecionadas e pode-se começar a inserção, conforme demonstrado na Figura 4.53.

Figura 4. 53 - Definição da seção da viga.

Dados Gerais da Viga

Identificação | Inserção | Seção/Carga | Modelo | Intersecções | Temperatura/Retração | Detalhamento | BIM

Largura L (cm): 14 Altura H (cm): 40 Rebaixo DFS (cm): 0 Excentricidade EXC (cm): 0

Carga distribuída em todos os vãos: BLOCO14 H3.3 m

Seção/Perfil catalogado:

Dados de viga metálica:

Material não padrão:

Misula/Seção Variável:

Seções catalogadas

Seção	Comentário
20/60 c0.00 tf/m	
14/40 cBLOCO14 H3.3 m	

Largura da viga

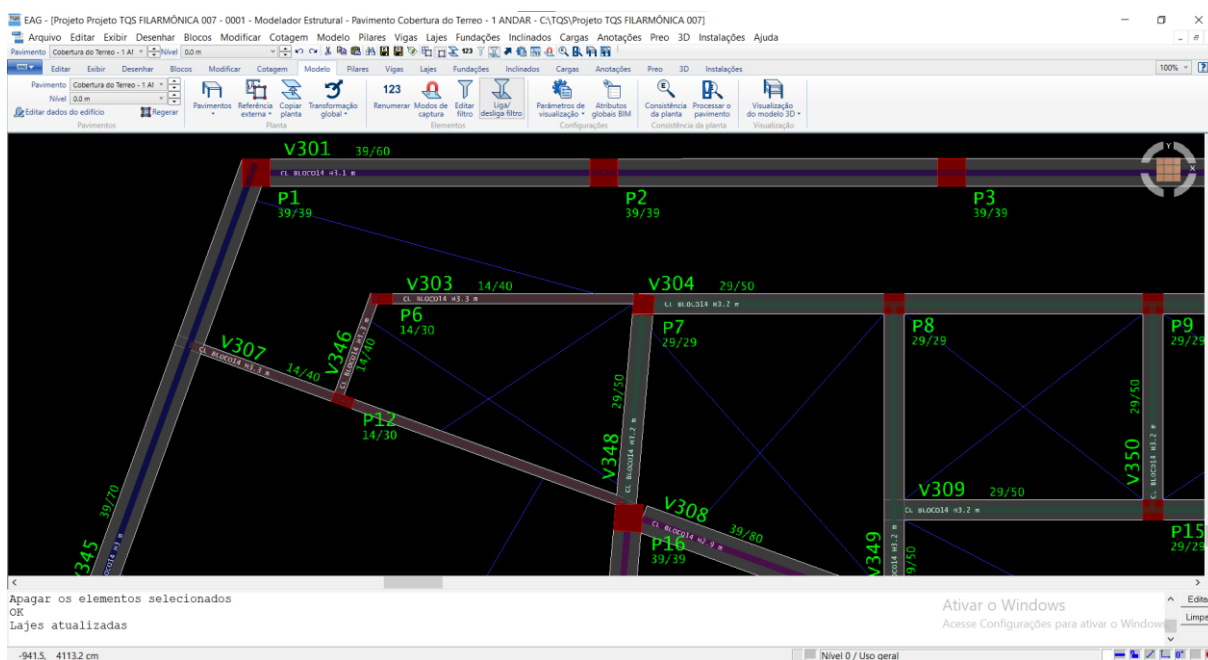
NV = Nível do pavimento
H = Altura da seção
L = Largura
DFS = Rebaixo do topo
EXC = Excentricidade

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autoria Própria (2024).

Posteriormente, as vigas são inseridas através dos pilares como apresentado na Figura 4.54. Automaticamente, quando as vigas são inseridas em um contorno fechado, a ferramenta reconhece um espaço vazio e nestes espaços é possível inserir uma laje.

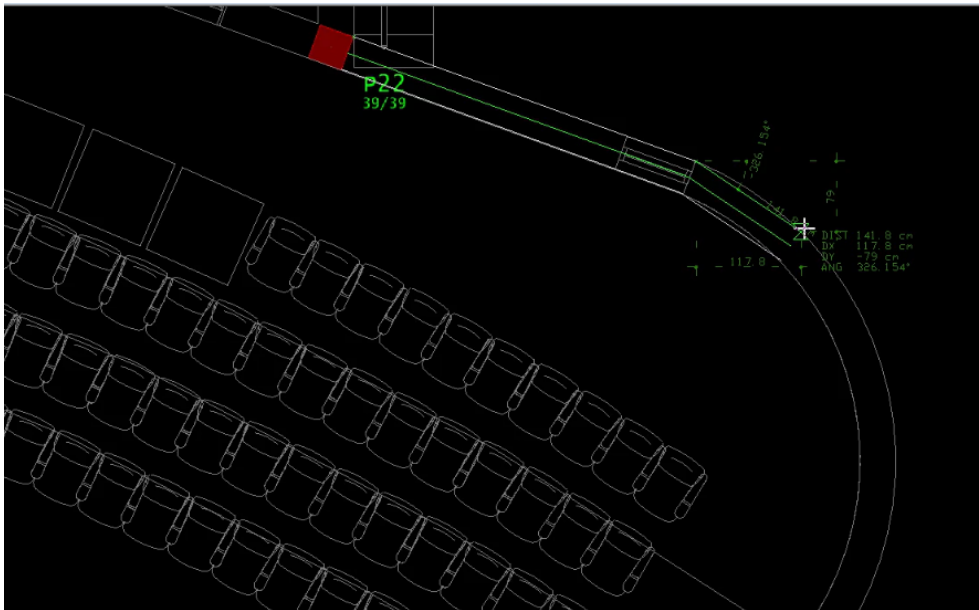
Figura 4. 54 - Inserindo Vigas.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A edificação em estudo tem trechos que são necessários colocar vigas curvas (Vigas balcão). Para esta modelagem, a ferramenta permite discretizar o trecho curvo em vários segmentos. Nas regiões onde se tem vigas curvas deve-se fazer o trecho retilíneo primeiro e aperta a letra “P” no teclado e se selecionar o trecho em forma de arco da arquitetura (FIGURA 4.55).

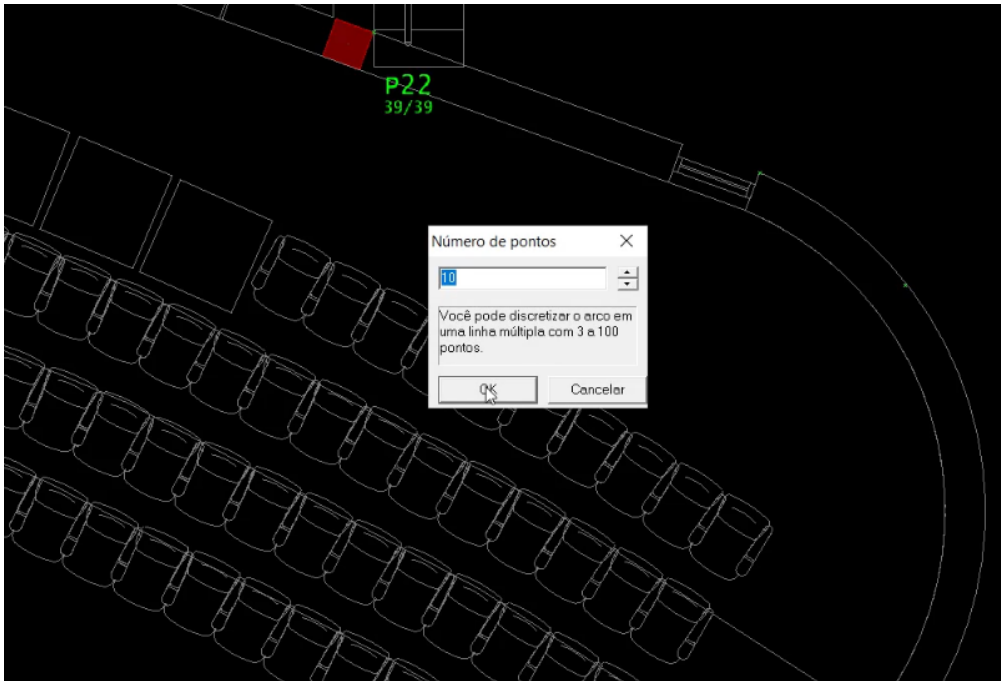
Figura 4. 55 - Inserindo a Viga Curva.



Fonte: Autoria Própria (2024).

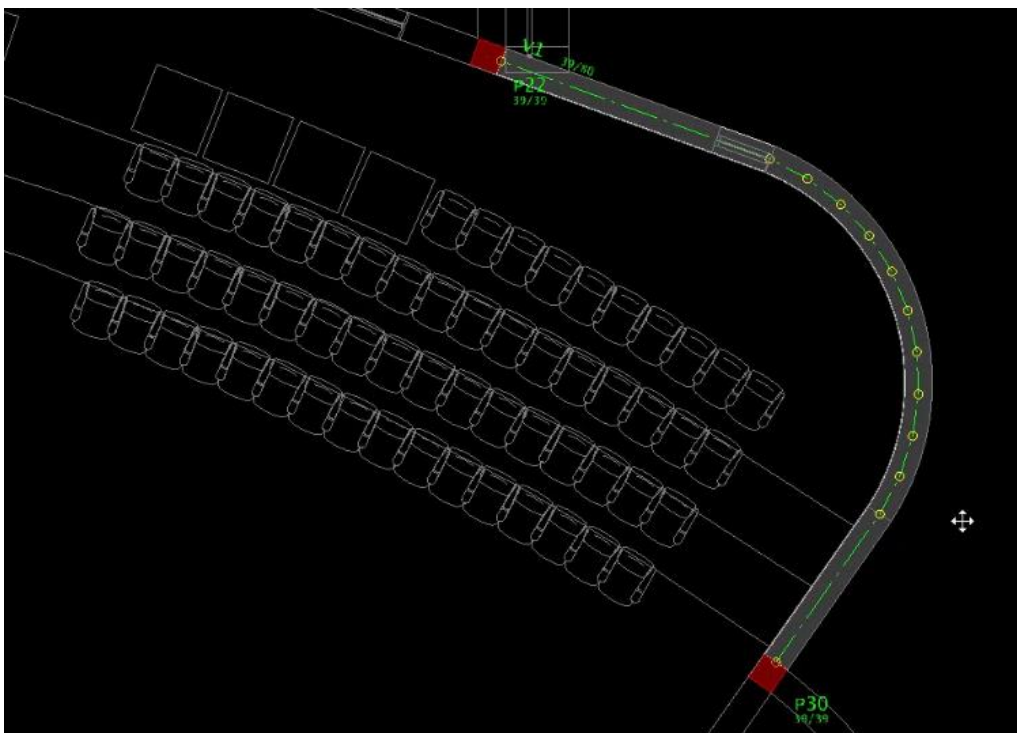
Após esse procedimento irá aparecer uma tela para determinar o número de seguimentos, o TQS propõem de forma automática um valor de 10 pontos em que a viga vai ser subdivida, formando a viga curva conforme demonstra na figura 4.56, clica em “OK” e finaliza a inserção da viga esse procedimento pode ser observado na Figura 4.57.

Figura 4. 56 - Determinado o número de segmentos da Viga Curva.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 57 - Viga Curva Inserida.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após todas as vigas inseridas, a edificação será apresentada conforme se mostra na Figura 4.58.

Figura 4. 58 - Vigas Inseridas.

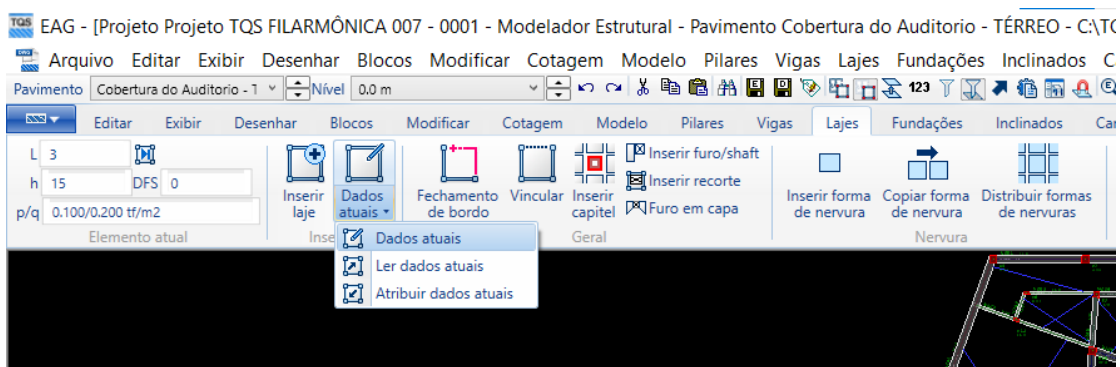


Fonte: Autoria Própria (2024).

4.2.6 Lançamento das lajes

Logo após, as lajes só podem ser inseridas se estiverem dentro de um contorno fechado. O ambiente de contorno fechado apresenta um “X” formado por linha azul, caracterizando assim uma região que está preparada para se inserir a laje, como mostra na Figura 4.59.

Figura 4. 59 – Inserindo dados das lajes.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Para lançar as lajes, seleciona-se na aba “lajes”, clica-se na aba “dados atuais”, conforme é mostrado na Figura 4.60.

Figura 4. 60 - Dados da laje.

The screenshot shows the 'Dados de lajes' dialog box with the 'Identificação' tab selected. The dialog has a title bar with a close button (X) and a tab bar with the following tabs: Identificação, Seção/Carga, Modelo, Grelha, Temperatura/Retração, Detalhamento, Catalogadas, and BIM. The 'Identificação' tab contains several input fields and checkboxes. On the left, there is a 'Numérica' section with a 'Laje L' field set to '1' and a 'Próxima' button. Below it is a 'Renumeração' section with a checkbox for 'Realinhar identificação' (unchecked), a 'Primeiro número' field set to '1', and radio buttons for 'Renumerável' (set to 'Sim'). On the right, there is an 'Alfanumérica' section with a 'Título opcional' field and a 'Direção p/discretização / detalhamento' section with an 'Ângulo principal' field set to '0'. At the bottom, there is a large text area labeled 'Número da laje, único no pavimento'. At the very bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancelar', and 'Inserir'.

Fonte: Autoria Própria (2024).

A aba “identificação” permitirá tratar dos dados relativos à identificação das lajes, a segunda aba, “seção/carga”, poderá ser escolhida o tipo de laje, através das diversas opções apresentadas e os dados a serem inseridos, como é mostrado na Figura 4.61.

Figura 4. 61 - Espessura da laje.

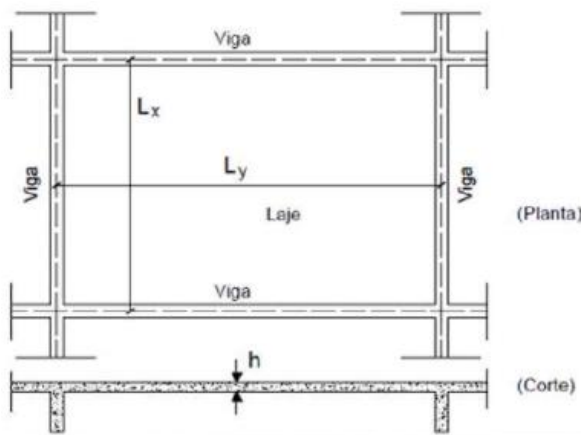
The screenshot shows the 'Dados de lajes' dialog box with the 'Seção/Carga' tab selected. The dialog has a title bar with a close button (X) and a tab bar with the following tabs: Identificação, Seção/Carga, Modelo, Grelha, Temperatura/Retração, Detalhamento, Catalogadas, and BIM. The 'Seção/Carga' tab contains a sub-tab bar with the following tabs: Maciça, Nervurada R, Nervurada T, Vigota, Treliçada, Pré-fabricada, and Mista. The 'Maciça' sub-tab is selected. It features an 'Espessura HL' field set to '16' cm, a diagram of a slab cross-section with a vertical dimension line labeled 'HL', and a 'Rebaixo' field set to '0' cm. Below these is a 'Carga distribuída' field set to '0.100/0.200 tf/m2' and an 'Alterar' button. At the bottom, there is a text area with the label 'Rebaixo da laje, positivo se abaixo do nível convencional do pavimento.' At the very bottom of the dialog are three buttons: 'OK', 'Cancelar', and 'Inserir'.

Fonte: Autoria Própria (2024).

O tipo de laje escolhido foi a “laje maciça”. A determinação da altura da laje é feita por um pré-dimensionamento, onde a altura estimada para essa laje é calculada utilizando-se o seu menor vão, conforme a Equação 4.

$$h \cong \frac{L_x}{40} \quad \text{Equação 4}$$

Figura 4. 62 - Laje Maciça detalhada.



Fonte: Master em concreto Armado (2023).

Segundo a NBR 6118: 2023 (item 13.2.4.1) estabelece os seguintes valores mínimos para lajes maciças.

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo.

Na Figura 69 podem ser definidos os parâmetros como espessura, rebaixo e a carga distribuída. Ao selecionar a carga que será atribuída, adotou-se o formato numéricas onde será aplicado um valor para a carga permanente e a carga acidental da laje, seleciona em “alterar” foi adotado dois valores de cargas para as lajes. Segundo a NBR 6120: 2019 os valores adotados para os carregamentos permanentes e acidentais foram para a lajes teto que representam a laje de cobertura de cada ambiente tem uma carga permanente de 0,10 tf/m² e uma carga acidental 0,10 tf/m², já para as lajes que representam o piso do ambiente foi determinado uma carga

permanente de 0,1 tf/m² e uma acidental de 0,2 tf/m². Ao selecionar a carga que será atribuída, clica-se em “INSERIR” e “OK”, como se demonstra na Figura 4.63.

Figura 4. 63 - Definindo carga da laje.

Dados de lajes

Identificação | Seção/Carga | Modelo | Grelha | Temperatura/Retração | Detalhamento | Catalogadas | BIM

Definição de carregamentos

Caso/Carga

0.100/0.200 tf/m²

Numéricas | Alfanuméricas

Carga distribuída por área

Carga principal ou permanente 0.1 tf/m²

Carga acidental 0.2 tf/m²

Inserir Apagar Caso 0001-TODAS - Todas permanentes e acidentais dos pavimentos

Entre com o valor total da carga, ou a componente permanente, caso haja separação de cargas acidentais e permanentes definida no edifício.

OK Cancelar

Fonte: Autoria Própria (2024).

Se optar por adotar carga predefinidas para cada ambiente usa as “alfanuméricas”, pois nesta aba tem algumas cargas pré-definidas para cada ambiente, como demonstrada na figura 4.64.

Figura 4. 64 - Cargas Alfanuméricas.

Dados de lajes

Identificação | Seção/Carga | Modelo | Grelha | Temperatura/Retração | Detalhamento | Catalogadas | BIM

Definição de carregamentos

Caso/Carga

0.100/0.200 tf/m²

Numéricas | Alfanuméricas

Carga distribuída por área

SERVICO1 0.100/0.200 tf/m²: AREAS DE SERVIÇO E ESCRITORIO

BARRILET

CASAMAQ

COBERT1

COMERC1

DECK1

ESCADA

GARAGEM1

GINASTC1

JARDIM1

REUNIAO1

Inserir Apagar Caso TERR-EXT TERR-INT

Esta é a lista de tipos de cargas, que pode ser editada no gerenciador TOS Formas, através do comando "Editar. Tipos de cargas".

OK Cancelar

Fonte: Autoria Própria (2024).

Escolhido qual tipo de carga entre a numérica ou a alfanumérica a ser adota. Clica em “INSERIR” para adicionar o carregamento escolhido para a laje. Também pode-se escolher quais cargas também atuarão. No caso admite que todos os carregamentos interferirão na laje, para confirmar a escolha, clica-se em “OK”, como demonstrada na Figura 73.

Figura 4. 65 - Cargas determinadas.

Dados de lajes

Identificação | Seção/Carga | Modelo | Grelha | Temperatura/Retração | Detalhamento | Catalogadas | BIM

Definição de carregamentos

Caso/Carga

0.100/0.200 tf/m2

Numéricas | Alfanuméricas

Carga distribuída por área

Carga principal ou permanente 0.1 tf/m2

Carga acidental 0.2 tf/m2

Inserir Apagar Caso

0001-TODAS- Todas permanentes e acidentais dos pavimentos

0001-TODAS- Todas permanentes e acidentais dos pavimentos

0002- PP - Peso Próprio

0003- PERM - Cargas permanentes

0004- ACID - Cargas acidentais

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autoria Própria (2024).

Retornará a tela anterior, seleciona-se “inserir” para prosseguir a inserção das lajes, conforme a Figura 74.

Figura 4. 66 - Tela Inicial das lajes.

Dados de lajes

Identificação | Seção/Carga | Modelo | Grelha | Temperatura/Retração | Detalhamento | Catalogadas | BIM

Maciça | Nervurada R | Nervurada T | Vigota | Treliçada | Pré-fabricada | Mista

Espessura HL 16 cm

HL

Rebaixo 0 cm Carga distribuída 0.100/0.200 tf/m2

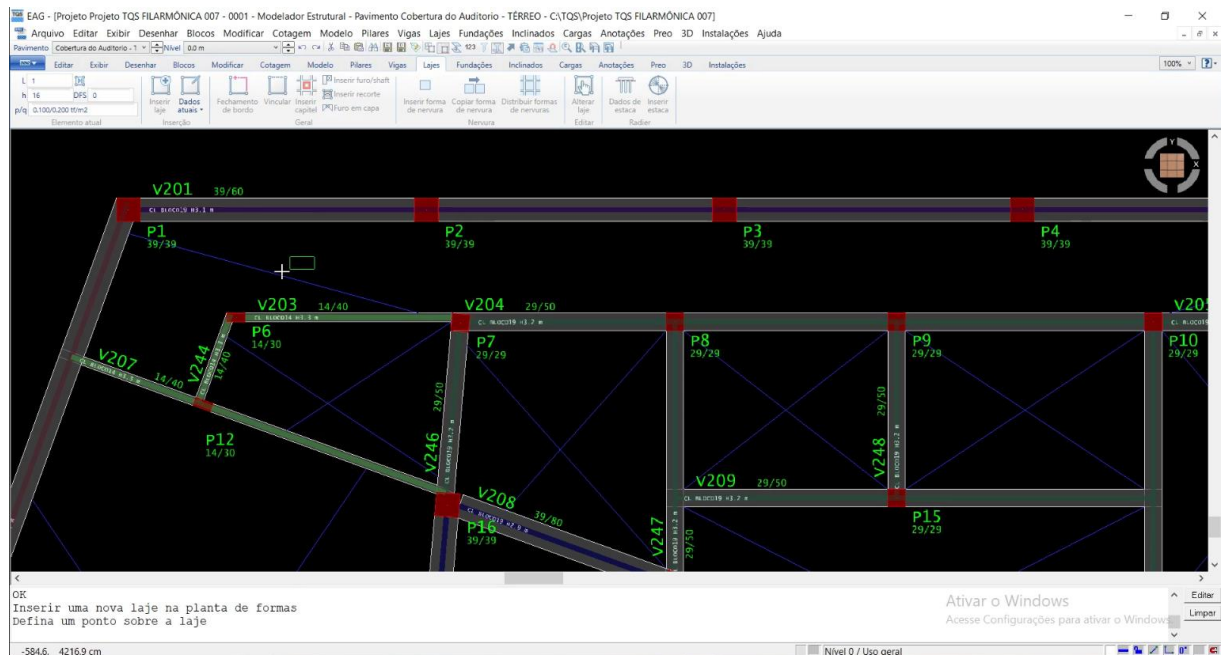
Alterar

OK Cancelar Inserir

Fonte: Autoria Própria (2024).

A tela se apresentará conforme a Figura 4.67.

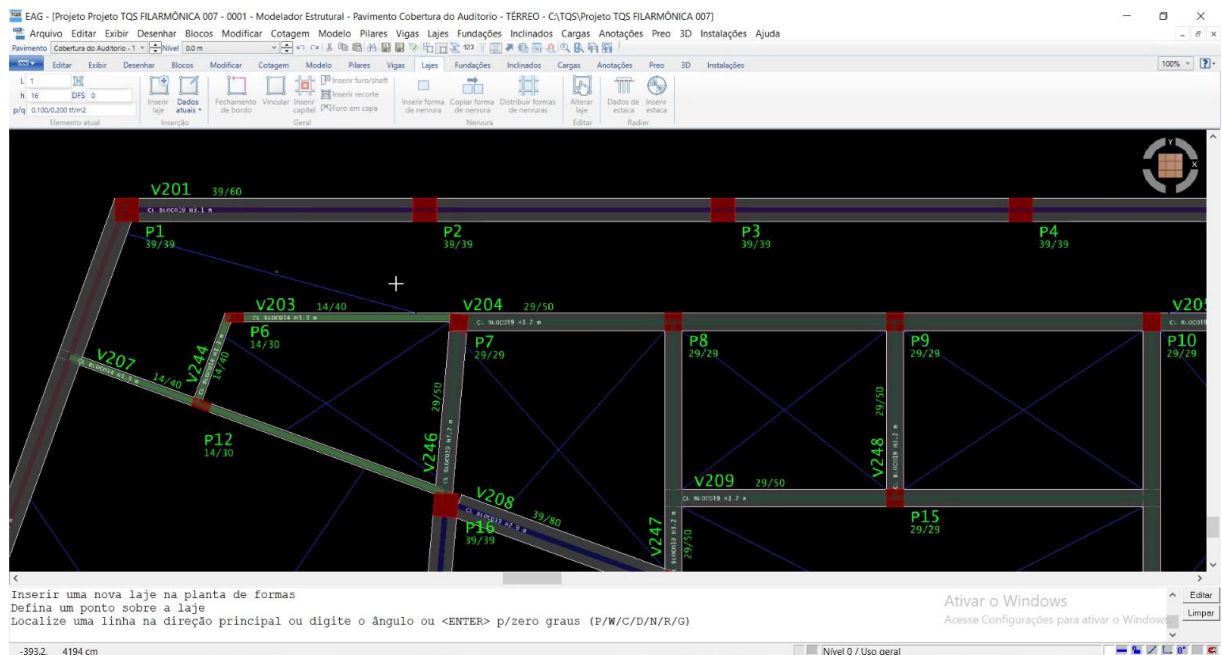
Figura 4. 67 - Escolha do local da laje.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após selecionado, aparecerá apenas um ponto verde no espaço selecionado, como é demonstrado na figura 4.68.

Figura 4. 68 - Ponto para inserir laje.

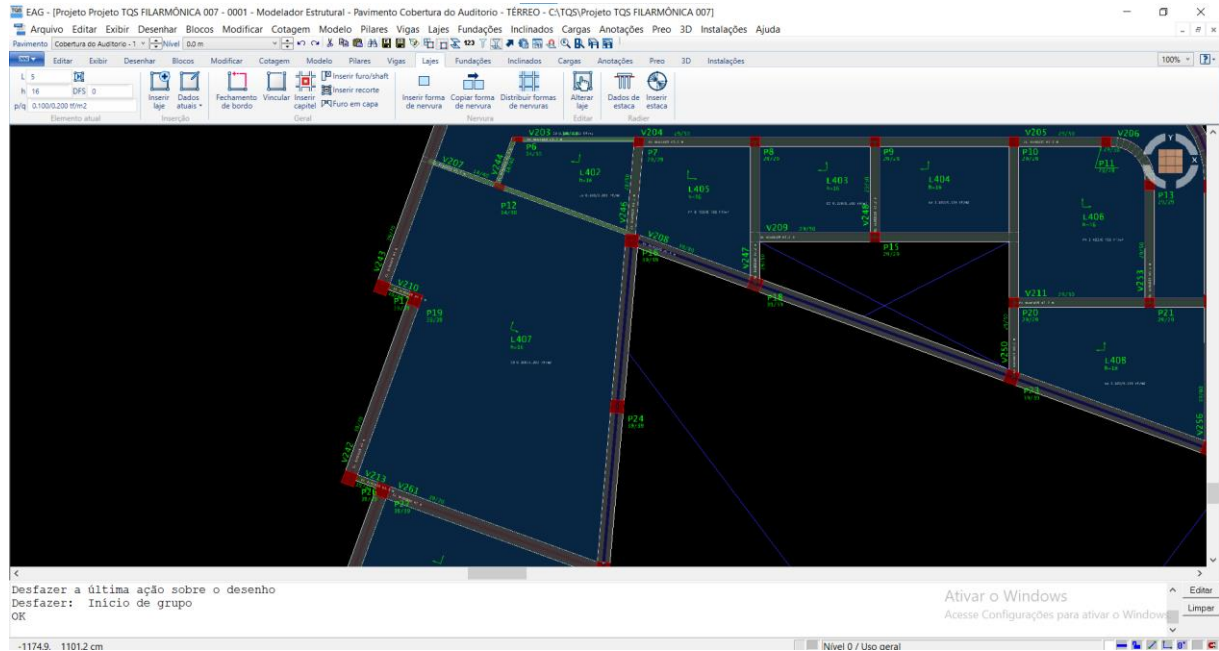


Fonte: Autoria Própria (2024).

Em seguida é preciso definir a direção principal da laje, após selecionar o espaço em que a laje será inserida. Sendo assim, em seguida clica no número 0 ou 90 do teclado para

Para os ambientes em que não fica claro qual é o menor vão selecionar uma das vigas que estão no menor vão da laje, assim a laje segue a inclinação da viga ficando sentido de menor vão, conforme demonstrado na figura 4.71.

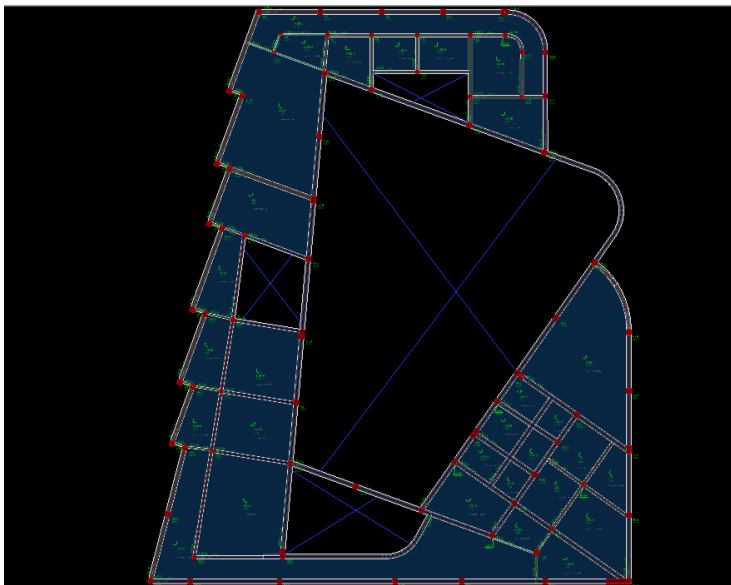
Figura 4. 71 - Inserindo Lajes parte II.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após todas as lajes serem inseridas, a planta se apresentará conforme a Figura 4.71.

Figura 4. 72 - Todas as lajes do pavimento Cobertura do auditório – Térreo inseridas.

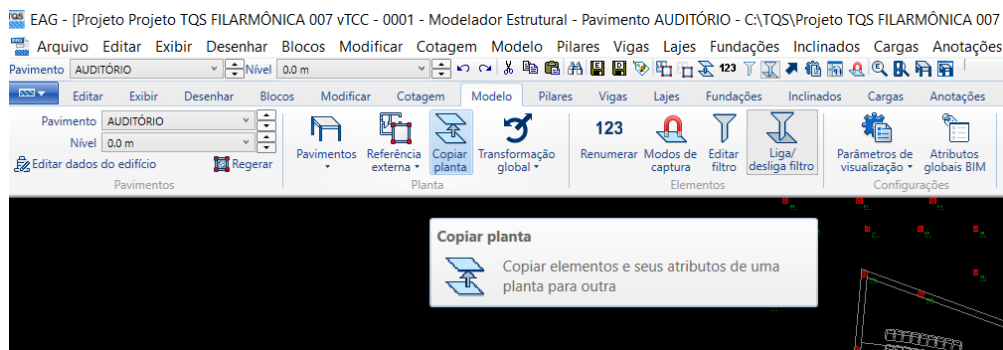


Fonte: Autoria Própria (2024).

4.2.7 Copiando plantas

Em alguns projetos é possível que os pavimentos tenham geometria semelhante da planta de forma. Para isso é possível copiar a inserção de lajes, vigas, cargas entre outras utilizando a ferramenta de “copiar planta”. Para copiar uma planta, seleciona-se o pavimento ao qual deseja copiar a planta, clica-se na aba “modelo”, seleciona-se a aba “copiar planta”, conforme apresentado na Figura 4.73.

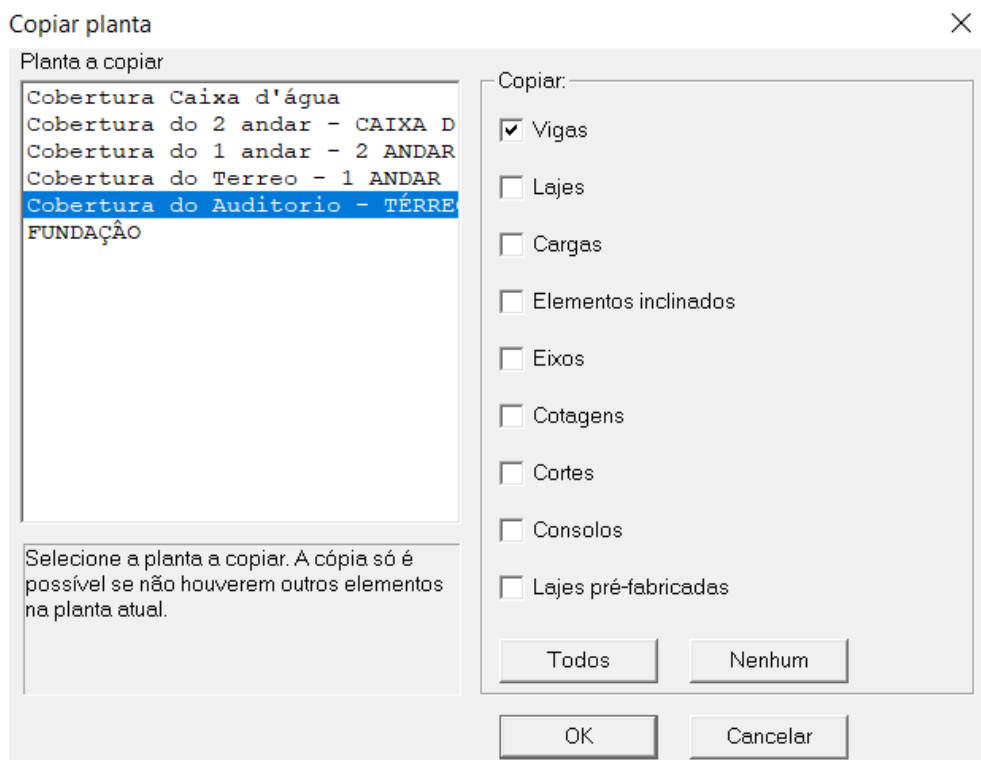
Figura 4. 73 - Copiar planta para o pavimento auditório.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Aparecerá a tela conforme apresentado na Figura 4.74.

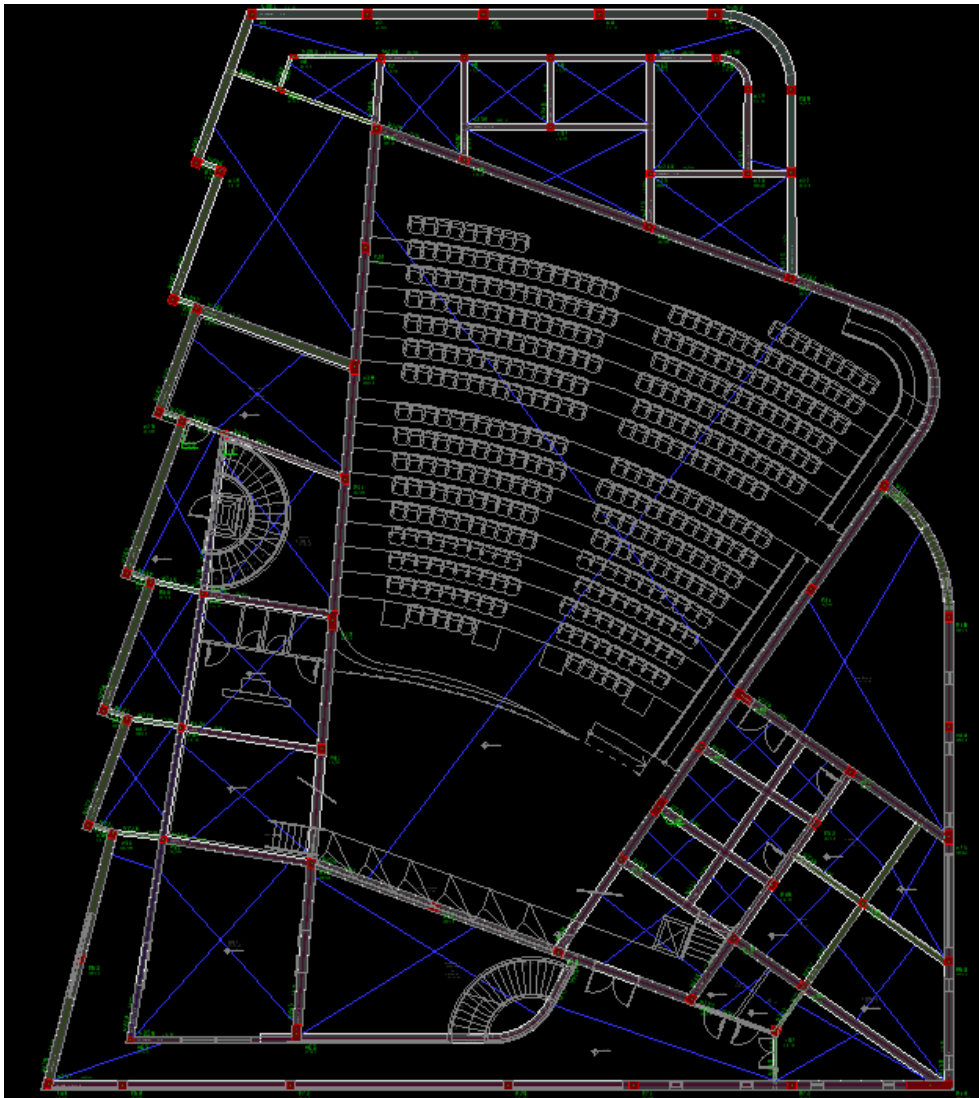
Figura 4. 74 - Pavimento de referência.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Escolhe-se o pavimento o qual se copiará e clica-se em “OK” e seleciona o que deseja copiar da planta de referência. O pavimento auditório é primeiro pavimento acima da fundação logo foi caracterizado as vigas baldrame, logo vai ser copiado apenas as vigas como referência (Figura 4.75).

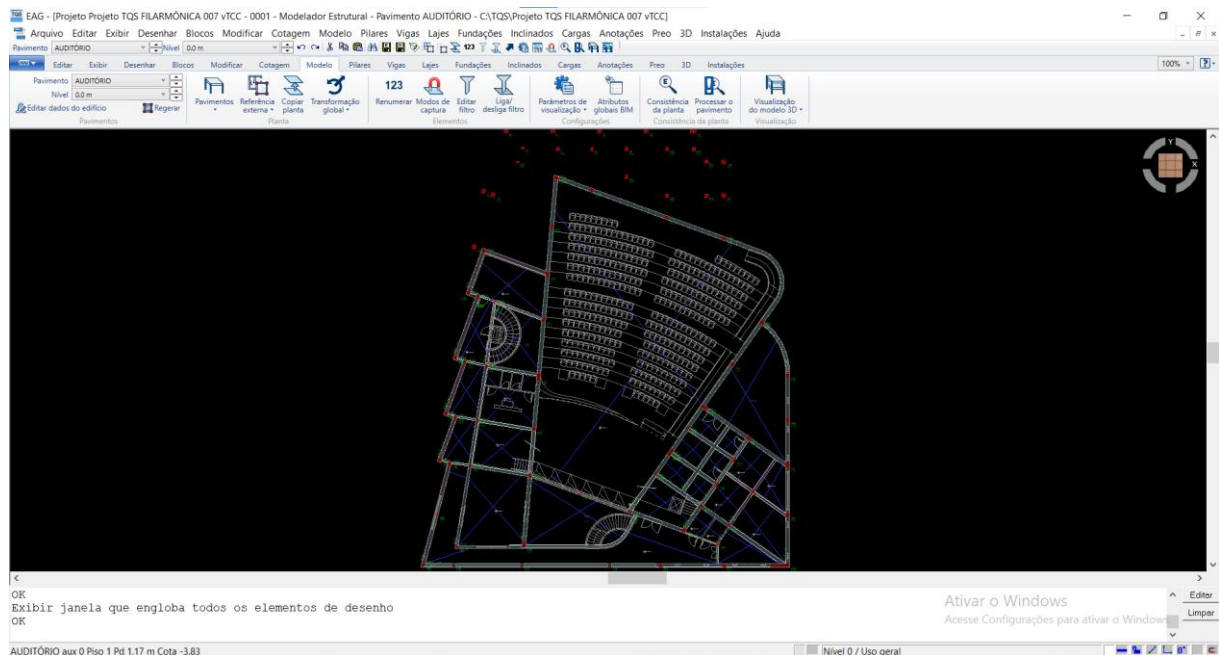
Figura 4. 75 - Pavimento Auditório com a planta copiada.



Fonte: Autoria Própria (2024).

No entanto algumas adequações devem ser feitas a fim de tornar a planta copiada adequada para o novo pavimento. Na arquitetura de referência do auditório como mostrada na Figura 4.77 algumas vigas que não deveria existir, logo devem ser apagadas e deve-se alterar a altura de parede nas cargas distribuídas das vigas. Lembrar que, após apagar alguns elementos, deve-se renumerar as vigas, lajes e pilares, a planta se apresentará conforme a Figura 4.76.

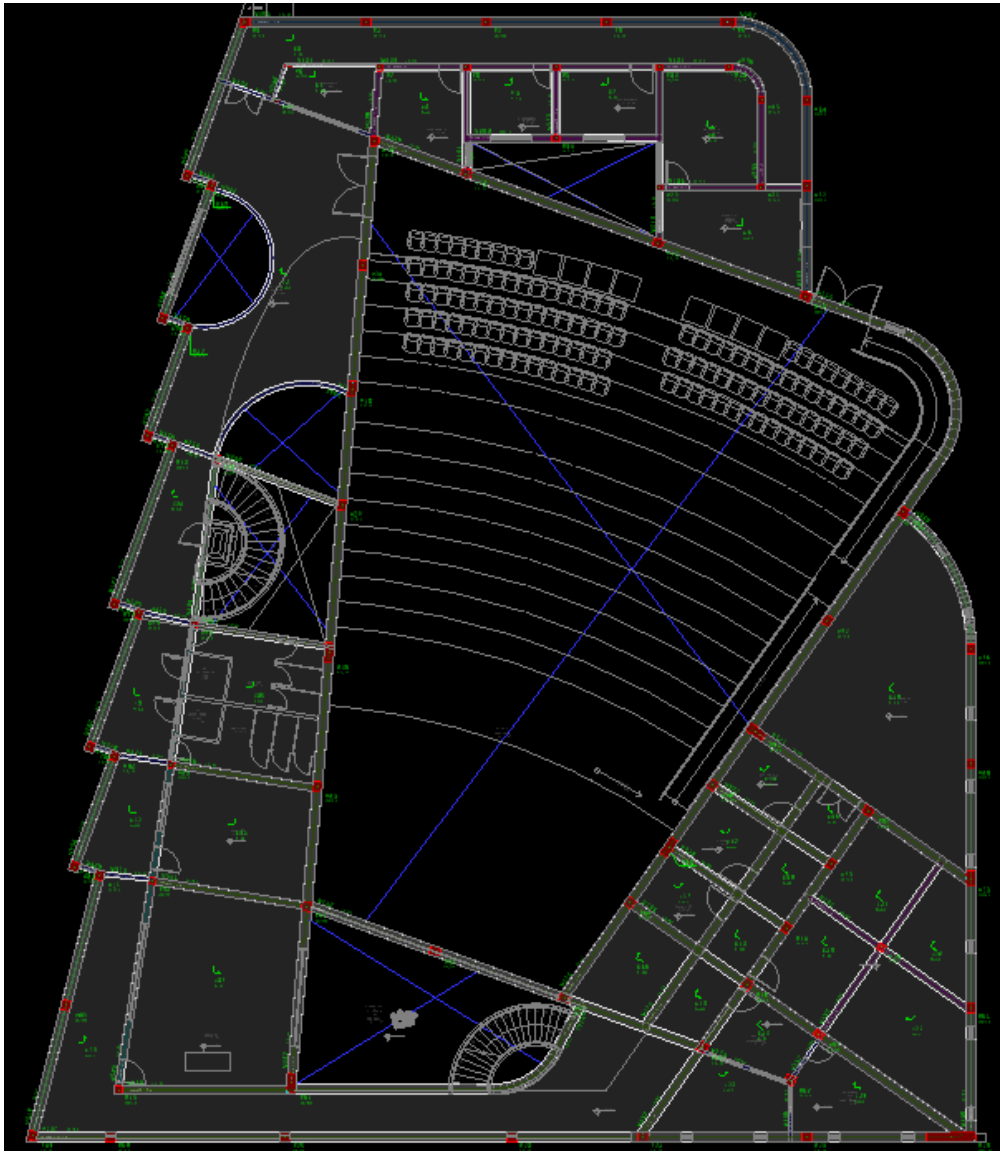
Figura 4. 76 - Pavimento Auditório.



Fonte: Autoria Própria (2024).

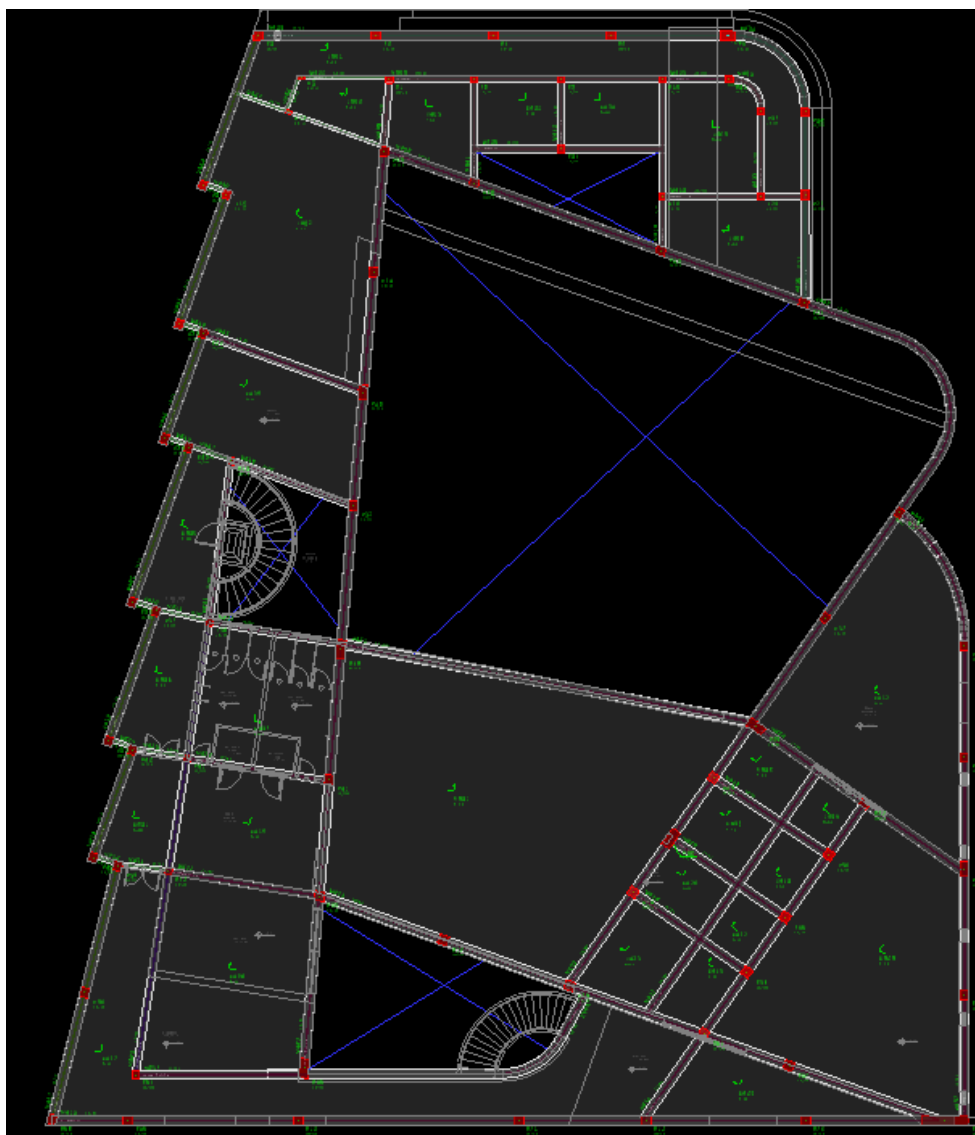
O mesmo procedimento se repetirá para os pavimentos cobertura térreo – 1ºAndar, cobertura 1ºAndar – 2ºAndar, cobertura 2ºAndar – Caixa D’água e cobertura será copiado a planta do pavimento cobertura auditório – Térreo como referência para cada pavimento e em seguida será feito as adequações de cada pavimento. Após feito esses procedimentos, a planta de cada pavimento se apresentará conforme a Figuras 4.77, 4.78, 4.79 e Figura 4.80.

Figura 4. 77 - Pavimento cobertura térreo – 1º Andar



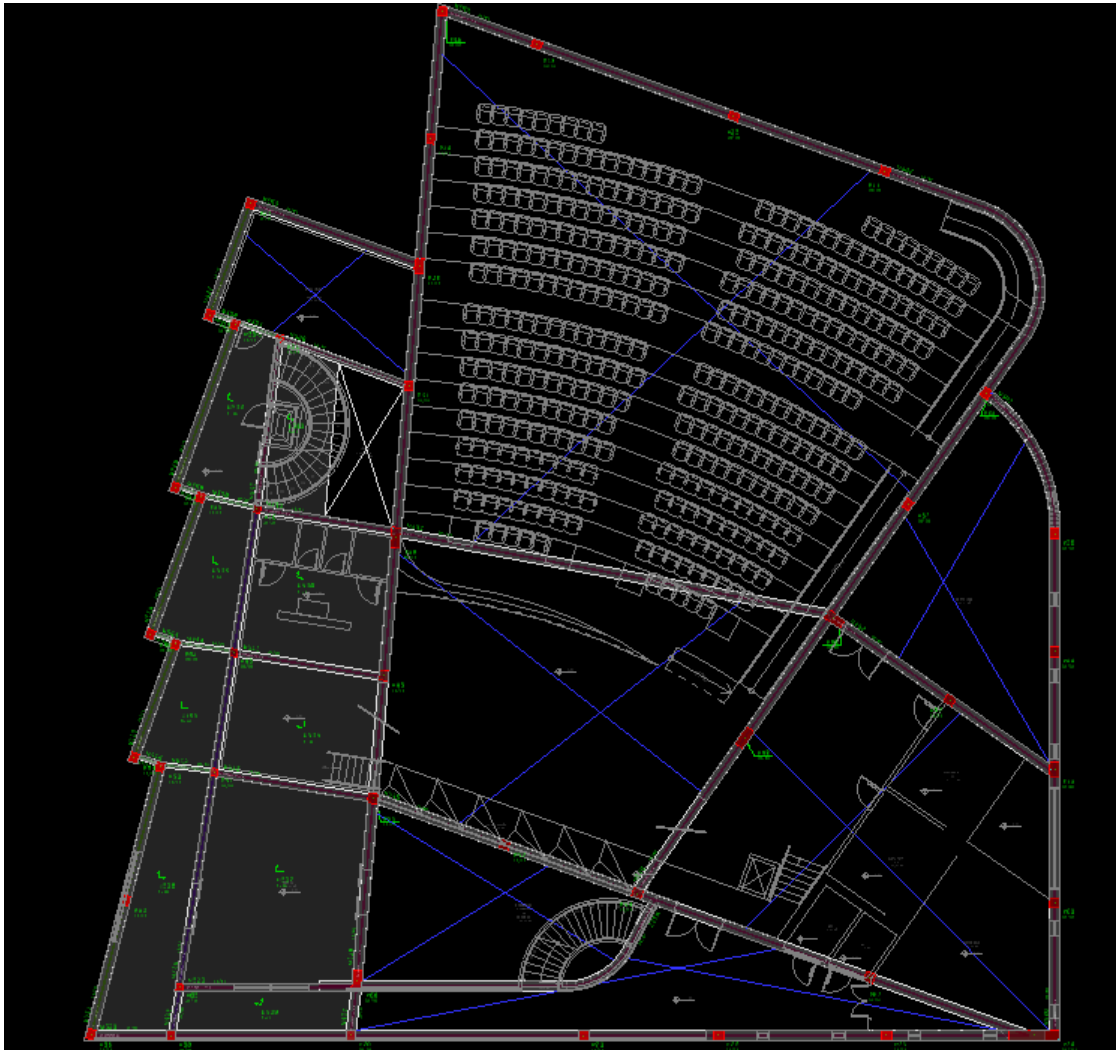
Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 78 - Pavimento cobertura 1ºAndar – 2ºAndar.



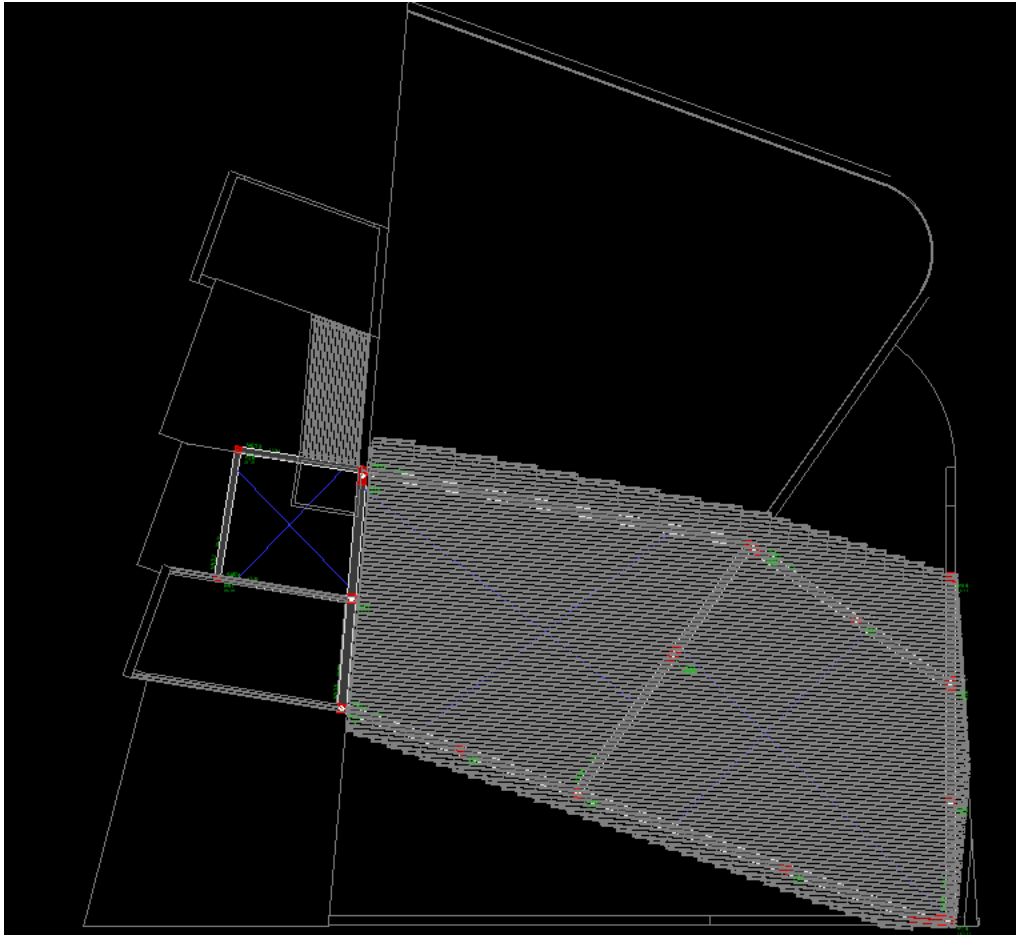
Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 79 - Pavimento cobertura 1ºAndar – 2ºAndar.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 4. 80 - Pavimento Cobertura.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após a modelagem concluída adotando o Modelo IV que permite uma análise estrutural mais próxima à realidade. O edifício será modelado por um pórtico espacial mais os modelos dos pavimentos (vigas contínuas ou grelhas). O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares serão calculados com o pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais serão calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelha de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas serão transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimento, as cargas das lajes serão transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga. A flexibilização das ligações viga-pilar, a separação de modelos específicos p/avaliações ELU e ELS, bem como seus respectivos coeficientes de não-linearidade física e geométrica do concreto armado, são controlados por critérios gerais do Pórtico-TQS.

Sendo assim, o processamento passa pela extração dos parâmetros e elementos da forma, depois monta a grelha de lajes, e com os resultados de lajes, é montado o pórtico. Os esforços e deslocamentos serão analisados no pórtico e na grelha para dimensionamento dos elementos. Os desenhos dos dimensionamentos serão gerados após a obtenção desses resultados.

Contudo o foco do trabalho é modelagem e não envolve a análise do processamento do modelo. A modelagem vai desde a criação do modelo estrutural definindo geometria, materiais e carregamentos a atendendo às normas brasileiras (NBR) vigentes.

CAPÍTULO 5: CONSIDERAÇÕES FINAIS

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso proporcionou uma experiência prática e aprofundada no desenvolvimento de um projeto estrutural de um edifício que apresenta uma arquitetura desafiadora devido os vários ângulos de inserção dos pilares e vigas, utilizando o software TQS. Ao seguir rigorosamente os parâmetros estabelecidos pelas normas brasileiras, especificamente a ABNT NBR 6118:2023, foi possível compreender e aplicar os conceitos teóricos na prática, assegurando a conformidade e a integridade estrutural do edifício planejado.

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um manual para a modelagem de elementos estruturais utilizando o software TQS, com a intenção de servir como um recurso prático e abrangente para estudantes e profissionais da engenharia civil. A abordagem didática adotada, com uso de ilustrações e uma exposição clara dos passos a serem seguidos, facilitou a compreensão dos conceitos apresentados.

O manual abrangeu os principais elementos utilizados em edificações de concreto armado, oferecendo diretrizes que vão desde as cargas até os critérios de segurança estabelecidos nas normas brasileiras.

Os resultados alcançados indicaram que, ao cumprir as normas técnicas atuais e usar as ferramentas apropriadas, o desenvolvimento estrutural do projeto se torna simples e intuitivo. Isso se deve à interface gráfica do software TQS, que é fácil de entender, possibilitando a criação e análise da estrutura de maneira ágil, sem gerar incertezas durante o processo do projeto.

A experiência adquirida ao longo deste trabalho reforça a importância de introduzir o uso de softwares especializados nos cursos de graduação em Engenharia Civil no Brasil. O contato com essas ferramentas desde a etapa acadêmica prepara os futuros engenheiros para criar projetos com maior precisão e eficiência, alinhando a prática profissional às exigências do mercado e às normas técnicas.

REFERÊNCIAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. Concepção estrutural de edifícios em concreto armado. Santa Maria, RS, 2007. Apostila. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2024.

BASTOS, P. S. **Notas de aula da disciplina Estrutura de concreto I**. Em BASTOS, Fundamentos do concreto. Baurú, São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2023.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado: segundo a NBR 6118: 2014**. 4. ed. São Carlos: Edufscar, 2014.

PINHEIRO, L. (2010). **Fundamentos de concreto e projeto de edifícios**. Em L. PINHEIRO, C. D. MUZARDO, & S. P. SANTOS. São Carlos: Universidade de São Paulo – USP.

REBELLO, Y. C. (2007). **Bases para projeto estrutural na arquitetura**. São Paulo: Zigurate Editora

SAMPAIO, A. L. P. **E do barro fez-se a vida**: anteprojeto de uma casa filarmônica para Pau dos Ferros/RN. 2017. 112f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.