

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

MATEUS CANDIDO DANESI

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO DE
UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO DA
ÁREA DE AÇO CALCULADA PELO CÁLCULO SEMIAUTOMATIZADO E PELO
USO DO SOFTWARE TQS®**

Goiânia, GO
2021

Mateus Candido Danesi

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO DE
UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO DA
ÁREA DE AÇO CALCULADA PELO CÁLCULO SEMIAUTOMATIZADO E PELO
USO DO SOFTWARE TQS®**

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

Orientador: Prof. Dr^a Liana de Lucca Jardim Borges

**Goiânia, GO
2021**



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

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

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

Identificação da Produção Técnico-Científica

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

Nome Completo do Autor: Mateus Candido Danesi

Matrícula: 20151011050098

Título do Trabalho: ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO DA ÁREA DE AÇO CALCULADA PELO CÁLCULO SEMIAUTOMATIZADO E PELO USO DO SOFTWARE TQS®

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

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

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

Goiânia, 20/09/2021.

Mateus Candido Danesi

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

D179a Danesi, Mateus Candido.

Análise estrutural de lajes maciças em concreto armado de uma residência unifamiliar de dois pavimentos: comparação da área de aço calculada pelo cálculo semiautomatizado e pelo uso do software TQS® / Mateus Candido Danesi. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.
135 f.: il.

Orientadora: Profa. Drª Liana de Lucca Jardim Borges.

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

1. Projeto estrutural – concreto armado – software TQS®. 2. Lajes maciças – cálculo semiautomatizado. I. Borges, Liana de Lucca Jardim (orientadora). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 624

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

Mateus Candido Danesi

ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO DA ÁREA DE AÇO CALCULADA PELO CÁLCULO SEMIAUTOMATIZADO E PELO USO DO SOFTWARE TQS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Dra. Liana de Lucca Jardim Borges (orientadora); Me. Matilde Batista Melo; Me Cláudio Marra Alves.

Aprovado em 16 de Agosto de 2021.

Documento assinado eletronicamente por:

Claudio Marra Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/09/2021 20:55:08.

Liana de Lucca Jardim Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/08/2021 17:28:34.

Matilde Batista Melo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 16/08/2021 17:26:58.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/08/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 190711

Código de Autenticação: ba1ba5aef6



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

*A minha família, em especial ao meu pai
Ulisses Danese de Santana que me deixou um
legado de honra, humildade, dignidade e
honestidade. Meu exemplo e referencial.*

AGRADECIMENTOS

Primordialmente sou grato a Deus, meu Senhor, por me dar forças para seguir em frente no Seu caminho.

Agradeço à minha orientadora Dr^a Liana de Lucca Jardim Borges pela paciência, dedicação e compreensão nessa jornada. A todo corpo docente do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás campus Goiânia, pela excelência da qualidade técnica de cada um.

A minha querida mãe Marli e ao meu finado pai Ulisses, meus alicerces em Deus, são o norte de minha bússola em amor, determinação, justiça, humildade e dignidade.

A minha noiva Nicolay Santos Furtado que esteve comigo desde o começo da jornada de graduação me suportando com paciência, dedicação e genuinidade.

Ao meu irmão Felipe Candido Danesi, que caminha comigo durante toda minha trajetória, e a toda a minha família.

Aos meus colegas de curso pelo companheirismo, amizade e apoio.

Ao engenheiro civil Leandro Prado, contramestre de obras Rogério e em especial ao mestre de obras Sebastião Prado que me forjou a pressão e me adotou como profissional na área de construção civil que me ensinou com tanta dedicação.

A amizade do engenheiro Rafael Machado Afonso Alves que me ensina dia após dia o caminho da excelência do profissional de engenharia civil.

RESUMO

ANÁLISE ESTRUTURAL DE LAJES MACIÇAS EM CONCRETO ARMADO DE UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR DE DOIS PAVIMENTOS: COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DE AÇO OBTIDAS PELO CÁLCULO SEMIAUTOMATIZADO E PELO USO DO SOFTWARE TQS®

AUTOR: Mateus Candido Danesi

ORIENTADORA: Prof. Dr^a Liana de Lucca Jardim Borges

As ferramentas computacionais estão presentes nos escritórios de projetos estruturais, pois, tornou factível análises outrora não possíveis com caneta e papel e pela agilidade proporcionada ao projetista estrutural. A vista disso, este trabalho realizou a comparação das áreas de aço calculada de lajes maciças no modelo clássico de forma semiautomatizada e pelo uso do *software* TQS® em uma residência unifamiliar de dois pavimentos. Para isso, foi necessário fundamentar nas normas vigentes referentes a projetos estruturais em concreto armado, modelar a estrutura no programa TQS® com base no projeto arquitetônico, realizar o pré-dimensionamento com recomendações práticas solidificadas na área de engenharia de estruturas e validar o lançamento estrutural nos estados limites últimos e de utilização (a partir dos dados visualizados no subsistema Grelha-TQS® e pórtico-TQS®). Em seguida, fez-se o processamento global da estrutura e realizou-se o dimensionamento das lajes maciças do pavimento superior e de cobertura pelo cálculo semiautomatizado. Após isso, para cada laje, do pavimento superior e de cobertura, foi feita a comparação pela razão dos resultados obtidos no cálculo semiautomatizado sobre o programa TQS®. Neste lançamento estrutural de uma edificação unifamiliar de dois pavimentos, o cálculo semiautomatizado resultou em áreas de aço positivas para as lajes do pavimento superior e de cobertura e em média 7,2% menores do que o programa TQS®, em contrapartida, na armadura negativa o cálculo semiautomatizado apresentou áreas de aço, em média, 33,0% maiores. Isso se deve pela análise mais precisa do comportamento da estrutura que os modelos de cálculos mais complexos utilizados nos programas modernos de cálculo estrutural, alcançando maior eficiência no dimensionamento da estrutura. Os resultados também apresentam que o dimensionamento no modelo clássico de lajes maciças resolvidas por séries não é obsoleto, mas uma opção viável no aspecto de segurança e economicidade, atendendo as prescrições normativas, para os projetos estruturais.

Palavras-chave: Comparação área de aço. Semiautomatizado. Análise computacional, TQS.

ABSTRACT

STRUCTURAL ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE MASSIVE SLABS OF A TWO-STORY SINGLE-FAMILY RESIDENCE: COMPARISON OF THE STEEL AREAS OBTAINED BY THE SEMI-AUTOMATED CALCULATION AND BY THE USE OF TQS® SOFTWARE

AUTHOR: Mateus Candido Danesi

ADVISOR: Dr^a Liana de Lucca Jardim Borges

Computational tools are present in structural design offices, because it has made viable analysis once not possible with pen and paper and the agility provided to the structural designer. In view of this, this study compared the calculated steel areas of solid slabs in the classical model in a semi-automated way and by using the TQS® software in a two-floor single family residence. For this, it was necessary to base the model on the current standards for structural design in reinforced concrete, model the structure in the TQS® program based on the architectural design, perform the pre-dimensioning with practical recommendations solidified in the area of structural engineering and validate the structural launch in the ultimate limit states and states of use (from the visualized in the Grid-TQS® and Portico-TQS® subsystems). Then, the global processing of the structure was done and the design of the solid slabs of the upper floor and roof was performed by semi-automated calculation. After that, for each slab, upper floor and penthouse, a comparison was made by the ratio of the results obtained in the semi-automated calculation on the TQS® program. In this structural design of a single family building of two floors, the semi-automated calculation resulted in positive steel areas for the upper floor slabs and roof slabs and on average 7.2% smaller than the TQS® program, on the other hand, in the negative reinforcement the semi-automated calculation showed steel areas, on average, 33.0% larger. This is due to the more precise analysis of the structure's behavior than the more complex calculation models used in modern structural calculation programs, achieving greater efficiency in the structure's design. The results also show that the design in the classic model of massive slabs solved by series is not obsolete, but a viable option in the aspect of safety and economy, meeting the normative prescriptions for structural projects.

Keywords: Steel area comparison. Semiautomated. Computational analysis. TQS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de pavimento por analogia de grelhas (malha com 25 nós e 40 barras).....	25
Figura 2 – Quinhões de carga e grelhas de vigas	25
Figura 3 – Diagrama simplificado das tensões internas resistentes numa seção retangular de concreto armado	31
Figura 4 – Domínios de deformação estado limite último.....	32
Figura 5 – Exemplo Estado Limite Último	40
Figura 6 – Exemplo gráfico de viga contínua	40
Figura 7 – Representação gráfica de grelhas de lajes e vigas	41
Figura 8 – Representação gráfica de um pórtico espacial	41
Figura 9 – Vinculações de lajes.....	46
Figura 10 – Lajes com continuidade parcial	46
Figura 11 – Alteração do posicionamento do ático.....	50
Figura 12 – Planta baixa do pavimento térreo.....	51
Figura 13 – Planta baixa do pavimento superior	52
Figura 14 – Planta baixa do pavimento de cobertura	53
Figura 15 – Legenda pilares do lançamento estrutural	55
Figura 16 – Lançamento estrutural pavimento de cobertura	55
Figura 17 – Lançamento estrutural pavimento superior	56
Figura 18 – Planta de formas pavimento térreo	57
Figura 19 – Áreas de influência dos pilares nos pavimentos superior e cobertura....	60

Figura 20 – Representação tridimensional do edifício modelado	63
Figura 21 – Janela novo edifício	64
Figura 22 – Dados de pilares	65
Figura 23 – Dados de pilar que nasce em viga	66
Figura 24 – Dados da viga de cobertura invertida	67
Figura 25 – Dados da viga de transição V121	67
Figura 26 – Ferramentas do modelador estrutural na aba vigas	68
Figura 27 – Lançamento de cargas lineares	68
Figura 28 – Dados de laje maciça	69
Figura 29 – Consistência de planta no modelador estrutural	69
Figura 30 – Processamento Global	70
Figura 31 – Quadro de avisos e erros	71
Figura 32 – Combinações para verificação de Estado Limite no <i>software</i> TQS®	72
Figura 33 – Visualização dos deslocamentos na grelha do pavimento de cobertura no grelha-TQS®	73
Figura 34 – Representação gráfica do deslocamento da viga V106 no grelha-TQS®	74
Figura 35 – Visualização dos momentos fletores no pórtico-TQS®	75
Figura 36 – Edição rápida de armadura no subsistema TQSLajes	77
Figura 37 – Agrupamento de faixas de esforços para o maior valor	77
Figura 38 – Faixa de esforço de punção	78
Figura 39 – Vinculações das bordas da L8	79

Figura 40 – Lançamento laje C1 no aplicativo LajesWIN	80
Figura 41 – Quadros baseados nas soluções em séries desenvolvidas por Bares...	81
Figura 42 – Nomenclatura dos esforços LajesWIN	82
Figura 43 – Considerações da altura útil no TQS®	83
Figura 44 – Painel de lajes C2, C4, C6 e C7	87
Figura 45 – Área de aço positiva na direção x das lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS® ...	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Peso específico dos materiais de construção NBR 6120 (ABNT, 2019) .	27
Tabela 2 – Valores médios de acordo com a norma 6120 (ABNT, 2019)	27
Tabela 3 – Valores característicos das cargas variáveis NBR 6120 (ABNT, 2019) ..	28
Tabela 4 – Coeficientes do Estado Limite Último	28
Tabela 5 – Coeficientes de serviço γ_f 2.....	28
Tabela 6 – Espessuras mínimas	33
Tabela 7 – Coeficiente ξ	35
Tabela 8 – Deslocamento-limite	36
Tabela 9 – Cobrimento nominal em função da classe de agressividade ambiente...	37
Tabela 10 – Coeficiente (β)	48
Tabela 11 – Dados para pré-dimensionamento pilares.....	59
Tabela 12 – Cargas verticais por unidade de área sobre lajes.....	62
Tabela 13 – Alturas mínimas consideradas no cálculo semiautomatizado	83
Tabela 14 – Área de aço máxima.....	84
Tabela 15 – Área de aço mínima	85
Tabela 16 – Áreas de aço positivas nas lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS®	88
Tabela 17 – Áreas de aço negativa entre as lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS®	89
Tabela 18 – Áreas de aço positivas nas lajes C2, C4, C6 e C7 – Semiautomatizado	89
Tabela 19 – Áreas de aço negativa entre as lajes C2, C4, C6 e C7 – Semiautomatizado	90

Tabela 20 – Comparação de lajes armadas em cruz na cobertura	92
Tabela 21 – Comparação de lajes armadas em cruz no pavimento superior.....	92
Tabela 22 – Comparação de lajes armadas em uma direção no pavimento de cobertura	93
Tabela 23 – Comparação de lajes armadas em uma direção no pavimento de cobertura	94
Tabela 24 – Comparação da armadura negativa em lajes com bordas comuns no pavimento de cobertura.....	96
Tabela 25 – Comparação da armadura negativa em lajes com bordas comuns no pavimento superior.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Seções das vigas por pavimento	59
Quadro 2 – Dados do edifício inseridos	64

LISTA DE ABREVIATURA DE SÍMBOLOS

® Marca registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Contextualização e justificativa do tema.....	19
1.2	Objetivos gerais e específicos	20
1.3	Hipótese	21
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Considerações iniciais.....	22
2.2	Prescrições normativas para projetos de estruturas em concreto armado	22
2.2.1	Segurança e utilização	22
2.2.2	Modelos de Cálculo	24
2.2.3	Ações.....	26
2.2.4	Coeficientes de ponderação	28
2.2.5	Combinações de ações	29
2.2.6	Dimensionamento a flexão	30
2.2.7	Verificação do estado limite de serviço de deformação excessiva	34
2.3	Modelagem estrutural no software TQS®	37
2.3.1	Modelos disponíveis pelo <i>software</i> TQS®	37
2.3.2	Modelagem estrutural ELU e ELS	39
2.4	Recomendações práticas para concepção estrutural.....	42
2.4.1	Estrutura	43
3	O PROJETO.....	50
4	DIMENSIONAMENTO DO EDIFÍCIO	54
4.1	Lançamento estrutural	54
4.2	Pré-dimensionamento	58
4.3	Levantamento de cargas.....	61
4.4	Dimensionamento no software TQS®	63
4.4.1	Modelagem do edifício.....	63
4.4.2	Processamento global	69
4.4.3	Análise de deslocamentos e esforços	71
4.4.4	Área de aço das lajes	76

4.5	Dimensionamento semiautomatizado	78
4.5.1	Esforços na laje e vinculações nas bordas	78
4.5.2	Área de aço das lajes	82
5	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	86
5.1	Resultados do software TQS®	87
5.1.1	Área de aço positiva	87
5.1.2	Área de aço negativa.....	88
5.2	Resultados do cálculo semiautomatizado	89
5.2.1	Área de aço positiva	89
5.2.2	Área de aço negativa.....	89
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
6.1	Área de aço positiva.....	91
6.2	Área de aço negativa.....	95
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	99
8	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – PRÉ-DIMENSIONAMENTO LAJES	104
	APÊNDICE B – PRÉ-DIMENSIONAMENTO VIGAS.....	105
	APÊNDICE C – CARGAS NOS PILARES POR ÁREA DE INFLUÊNCIA	107
	APÊNDICE D – PRÉ-DIMENSIONAMENTO PILARES.....	108
	APÊNDICE E – CARGAS LINEARES DE PAREDE	109
	APÊNDICE F – CARGAS NAS LAJES DO PAVIMENTO DE COBERTURA.....	110
	APÊNDICE G – CARGAS NAS LAJES DO PAVIMENTO SUPERIOR	111
	APÊNDICE H – ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM LAJES	112
	APÊNDICE I – ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM VIGAS	113
	APÊNDICE J – ANÁLISE DOS ESFORÇOS EM LAJES.....	115
	APÊNDICE K – ANÁLISE DOS ESFORÇOS EM VIGAS	116
	APÊNDICE L – VINCULAÇÕES DAS LAJES NO EIXO X	118
	APÊNDICE M – VINCULAÇÃO DAS LAJES NO EIXO Y.....	119
	APÊNDICE N – ESFORÇOS DE MOMENTO FLETOR NAS LAJES	120
	APÊNDICE O – ÁREA DE AÇO POSITIVA NO SOFTWARE TQS®	121
	APÊNDICE P – ÁREA DE AÇO NEGATIVA NO SOFTWARE TQS®	122
	APÊNDICE Q – DIMENSIONAMENTO ÁREA DE AÇO POSITIVA.....	123
	APÊNDICE R – DIMENSIONAMENTO ÁREA DE AÇO NEGATIVA	124

APÊNDICE S – ÁREAS DE AÇO POSITIVAS TQS® E SEMIAUTOMATIZADO...	126
APÊNDICE T – ÁREAS DE AÇO NEGATIVAS TQS® E SEMIAUTOMATIZADO .	127
ANEXO A – PLANTA BAIXA DO TÉRREO PROJETO ARQUITETÔNICO	129
ANEXO B – PLANTA BAIXA PAVIMENTO SUPERIOR	130
ANEXO C – PLANTA DE COBERTURA.....	131
ANEXO D – CORTE AA DO PROJETO DE ARQUITETURA	132
ANEXO E – CORTE BB PROJETO DE ARQUITETURA	133
ANEXO F – COEFICIENTES PARA CÁLCULO DE ESFORÇOS DE MOMENTO FLETOR EM LAJES ARMADAS EM UMA DIREÇÃO	134
ANEXO H – VALORES ADMINESIONAIS DE DIMENSIONAMENTO DE LAJES	135

1 INTRODUÇÃO

O projeto estrutural é a área de abrangência da engenharia civil, no qual, é responsável pelo estudo do comportamento das estruturas dentre as várias técnicas de construção, como concreto armado, madeira, aço e estruturas mistas. Os projetos estruturais, possuem intrinsecamente, uma complexidade inevitável, dado a necessidade em atender aspectos técnicos, segurança e economicidade.

1.1 Contextualização e justificativa do tema

Loriggio (2016) afirma que “O projeto de estruturas de concreto armado utilizando recursos computacionais é praticamente a única maneira usada atualmente no meio técnico internacional” (p. 62).

Em seguida, no mesmo artigo, afirma-se que o começo do uso da computação em projetos de estruturas era de programas que simplesmente automatizavam os procedimentos realizados nos cálculos manuais, assim, os projetistas compreendiam o comportamento estrutural e tinham ordem da grandeza dos resultados obtidos. (LORIGGIO, 2016)

Logo mais, é expressado que com a evolução da análise computacional, com modelos mais complexos somado aos programas comerciais com interfaces gráficas amigáveis, houve uma falsa impressão que não é necessário conhecimento aprofundado para atuar nessa área. Dificilmente um projetista que não compreende os modelos clássicos poderá analisar modelos mais complexos viabilizados pela análise computacional. (LORIGGIO, 2016)

Entretanto, como afirmar categoricamente o professor Dr. Loriggio (2016): “Programa não substitui o conhecimento.” (p. 63)

As ferramentas computacionais se desenvolvem constantemente, tornando possíveis análises e considerações, que outrora não eram possíveis pelo uso exclusivo de caneta e papel, tendendo cada vez mais representar a realidade do comportamento das estruturas. (KIMURA, 2007)

O tempo que um projetista demanda para concluir um projeto estrutural é um fator importante para a sua eficiência, nesse aspecto as ferramentas computacionais proporcionam uma grande agilidade para o profissional da área de projetos estruturais. (KIMURA, 2007)

Nessa perspectiva, diante da evolução dos modelos estruturais pela análise computacional, percebe-se a oportunidade de comparar a área de aço calculada a partir dos esforços resultantes desses modelos. Comparação das armaduras de flexão positivas e negativas de lajes entre os modelos clássicos sobre os computacionais, usando o cálculo semiautomatizado (cálculo manual com o auxílio de programas que automatizam alguns dos processos referentes ao cálculo manual), e o *software* TQS® no modelo IV.

Portanto, indaga-se: Num edifício unifamiliar de dois pavimentos; os valores de área de aço de flexão na seção transversal de lajes maciças, no modelo clássico de teoria das placas prescrito na NBR 6118 (ABNT, 2014) e os valores no pavimento discretizado por grelha do Modelo IV no *software* TQS®, são significativamente diferentes?

1.2 Objetivos gerais e específicos

O objetivo geral deste trabalho é efetuar uma comparação dos valores da área de aço das lajes, realizando um lançamento estrutural modelado no *software* TQS®, de uma residência unifamiliar de dois pavimentos através do cálculo manual (processo de resolução de placas por séries) e do cálculo por uso do *software* TQS®.

Os objetivos específicos compreendem-se em:

- Estruturar as prescrições normativas da NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 6120 (ABNT, 1980), NBR 8681 (ABNT, 2003), recomendações práticas da consolidada experiência brasileira na área de estruturas e modelos apresentados pelo *software*, focado em projeto estrutural de edificações residenciais de pequeno porte;

- Realizar o lançamento e modelagem da superestrutura (lajes, vigas e pilares) no *software* TQS® a partir do projeto arquitetônico de um edifício unifamiliar de dois pavimentos;
- Validar o lançamento estrutural, realizado no *software* TQS®, em relação aos Estados Limites Últimos e de Estados Limites Serviço.
- Realizar os dimensionamentos das lajes baseados no mesmo lançamento estrutural para os dois modos de cálculo:
 - Cálculo semiautomatizado baseado nas normas, literatura e recomendações práticas. Neste trabalho foi adotado os modelos de lajes calculadas por processos simplificados, com o programa LajesWIN (cálculo de esforços em tabelas por Czerny) para lajes armadas em cruz e tabela de Bares para lajes armadas em uma direção;
 - Cálculo por auxílio do *software* TQS® com o edifício modelado no pórtico espacial e o pavimento modelado em grelha, com o uso do modelo IV.
 - Comparar o consumo de aço nas lajes resultantes dos dois procedimentos de dimensionamento das lajes.

1.3 Hipótese

Parte-se da hipótese que os modelos estruturais mais complexos utilizados *software* TQS® permitem uma análise estrutural mais próxima a realidade em relação aos processos de resolução de placas por séries, portanto, espera-se que a análise estrutural computacional resulte em valores de área de aço menores em relação ao modelo clássico mesmo em um edifício de dois pavimentos.

Ao final, conclui-se que os objetivos são atendidos e a pergunta respondida com a confirmação da hipótese de que o *software* TQS® forneceu um dimensionamento mais eficiente em relação à área de aço calculada na seção transversal das lajes maciças de um edifício unifamiliar de dois pavimentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais

Este capítulo apresenta a sustentação teórica para projetos de estruturas em concreto armado abordando conceitos, formulações, prescrições, considerações, procedimentos e referências contextualizadas nos objetivos desta pesquisa, para apresentar resultados consistentes e válidos pela comunidade científica.

2.2 Prescrições normativas para projetos de estruturas em concreto armado

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) rege os critérios envolvidos na elaboração de projetos estruturais no Brasil; cabe ao engenheiro responsável garantir que toda decisão tomada em um projeto estrutural atenda às exigências normativas. A seguir o objetivo das normas elementares para a concepção de projetos estruturais no Brasil.

- NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento).

Esta Norma estabelece os requisitos básicos exigíveis para o projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais. (ABNT, 2014, p. 01)”

- NBR 6120 (Ações para o cálculo de estruturas de edificações).

Esta Norma estabelece as ações mínimas a serem consideradas no projeto de estruturas de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas. (ABNT, 2019, p. 01)

- NBR 868 (Ações e segurança nas estruturas – Procedimento).

Esta Norma fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino, salvo os casos previstos em Normas Brasileiras específicas (ABNT, 2003, p. 01).

2.2.1 Segurança e utilização

O método adotado pelas normas brasileiras relacionadas a projetos estruturais é o Método dos Estados Limites. As condições analíticas de segurança (item 12.5.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014)) exige que em qualquer caso: os esforços majorados

devem ser menores que as resistências minoradas. Em estruturas de concreto armado são considerados os Estados Limites Últimos (ELU) e Estados Limites de Serviços (ELS).

2.2.1.1 Estados Limites Últimos (ELU)

O dimensionamento ou verificação de uma estrutura, efetivamente, está ligada as seções transversais dos elementos estruturais. O Estado Limite Último (ELU) está relacionado ao colapso ou qualquer outro tipo de ruína estrutural. A NBR 6118 (ABNT, 2014) determina as seguranças que devem ser verificadas em relação ao ELU no item 10.3:

- estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- 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, 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;
- estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- estado-limite último de colapso progressivo;
- 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;
- estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

2.2.1.2 Estados Limites de Serviços ou Utilização (ELS)

Os Estados Limites de Serviços (ELS) são relacionados ao uso, conforto do usuário, durabilidade e a boa utilização funcional das mesmas seja em relação aos usuários, máquinas ou equipamentos. São diversas as verificações para o ELS encontrados na ANB NBR 6118:2014, sendo elas:

- estados limites de abertura de fissuras (ELS-W);
- estados limites de deformações excessivas (ELS-DEF);
- estados limites de descompressão (ELS-D);
- estados limites de descompressão parcial (ELS-DP);
- estados limites de compressão excessiva (ELS-CE);
- estados limites de vibrações excessivas (ELS-VE).

2.2.2 Modelos de Cálculo

Os modelos estruturais são, basicamente, a composição dos elementos estruturais (viga, laje, pilar e fundação), construindo sistemas resistentes, adequados para análise estrutural que será feita. Como exemplo, modelos baseados no método dos elementos finitos, diferenças finitas ou analogia de grelha, teoria das placas, vigas contínuas e combinações destes modelos.

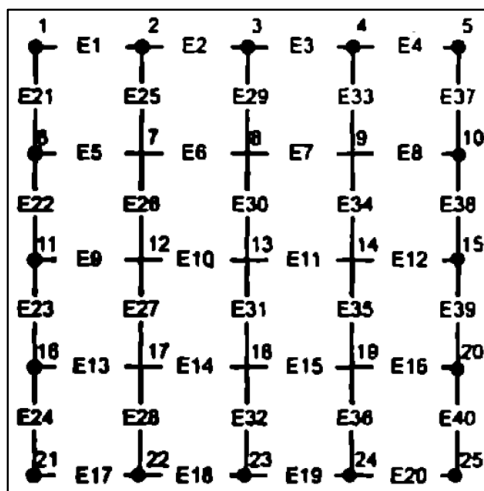
2.2.2.1 Lajes por teoria das placas ou modelo clássico de lajes resolvidas por séries

De acordo com Carvalho e Figueiredo (2016), para elementos estruturais de placa, Item 14.7 da NBR 6118 (2014,) é admitido o comportamento elástico-linear do concreto armado, sendo assim, o processo de resolução de placas elásticas por meio de séries, ou processo clássico de cálculo de lajes, com auxílio dos métodos de Marcus, Czerny, Bares e outros autores

2.2.2.2 Pavimento por grelhas

O pavimento discretizado por analogia de grelhas (Figura 1) conquistou grande aceitação do meio profissional, onde as lajes e vigas representadas por uma malha de barras permite a reprodução do comportamento estrutural de praticamente qualquer geometria. Este procedimento é adequado para a programação computacional. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2016).

Figura 1 – Exemplo de pavimento por analogia de grelhas (malha com 25 nós e 40 barras)



Fonte: Carvalho e Figueiredo, 2016, p. 401

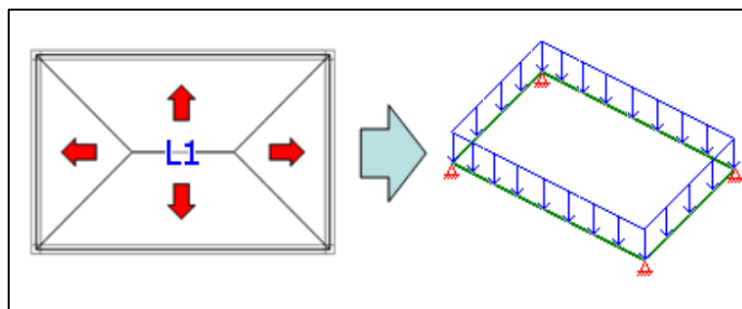
Sobre a ligação com os pilares a NBR 6118 diz

Os pavimentos dos edifícios podem ser modelados como grelhas, para o estudo das cargas verticais, considerando-se a rigidez à flexão dos pilares de maneira análoga à que foi prescrita para as vigas contínuas. ((ABNT, 2014, p. 94)

2.2.2.3 Grelhas de vigas

Nesta modelagem estrutural as vigas de um piso são simuladas por barras apoiadas nos pilares, sendo que as cargas provenientes das lajes não fazem parte do modelo e precisam ser analisadas a parte (quinhões de carga), como representado na Figura 2. Não são consideradas as cargas horizontais, somente as cargas verticais incidentes na grelha. Além disso, os pilares são considerados apenas como apoios simples e recebem apenas cargas verticais das resultantes das grelhas.

Figura 2 – Quinhões de carga e grelhas de vigas



Fonte: Kimura, 2007, p. 117

Os elementos da grelha possuem seção transversal, módulo de elasticidade e deformações, ou seja, as interações entre as peças dependem não somente dos

esforços solicitantes e do tipo de ligação (simplesmente apoiado nos pilares), mas também das características físicas das próprias vigas. (KIMURA, 2007).

2.2.3 Ações

Segundo Carvalho e Figueiredo (2016, p.53), “denomina-se ação qualquer influência, ou o conjunto de influências, capaz de produzir estados de tensão ou de deformação em uma estrutura”.

2.2.3.1 Ação Permanente

Ações que infligem na estrutura com valores constantes, pouca variação ou com crescimento no tempo tendendo a um limite constante são classificados como ações permanentes, dividida entre diretas e indiretas (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2016).

- as ações permanentes diretas são compostas pelo peso próprio da estrutura, elementos construtivos fixos e instalações permanentes e empuxos permanentes e fluência (quando não é possível retirar a terra ou materiais granulosos e estes provocam empuxo na estrutura);
- as ações permanentes indiretas são fruto de deformações impostas por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoio, imperfeições geométricas e cargas de protensão.

Os valores dos pesos específicos dos materiais são normalizados pela ABNT NBR 6120:2019 são apresentados:

- Tabela 1: A NBR 6120 (ABNT, 2019) fornece os valores do peso específico de alguns materiais, nesta tabela estão os valores utilizados neste trabalho
- Tabela 2: A NBR 6120 (ABNT, 2019) no caso de falta de informação a permite o uso de valores médios para cargas distribuídas por área no dimensionamento estrutural, nesta tabela estão os valores utilizados neste trabalho.

Tabela 1 – Peso específico dos materiais de construção NBR 6120 (ABNT, 2019)

Material	Peso Específico Aparente (kN/m³)
Tijolos Furados	18
Argamassa de cal, cimento e areia	19
Argamassa de cimento e areia	19 a 23
Argamassa de gesso	12 a 1,
Concreto Armado	25
Porcelanato	23

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 2019), adaptada pelo Autor

A norma permite alguns valores médios, no caso de falta de informação, como os apresentados a seguir.

Tabela 2 – Valores médios de acordo com a norma 6120 (ABNT, 2019)

Material	Carga distribuída por área (kN/m²)
Revestimento de piso	1,4
Impermeabilização com manta asfáltica simples	0,1
Telhas de fibrocimento com estrutura de madeira	0,35

Fonte: NBR 6120 (ABNT, 2019), adaptada pelo Autor

2.2.3.2 Ação Variável

Segundo a NBR 8681:2003: “Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.” A parcela variável também é subdivida em diretas e indiretas:

- Ações provenientes de fluidos (vento e água) e uso da construção;
- As ações dinâmicas e variações uniformes e não uniformes de temperatura são consideradas ações variáveis indiretas.

A NBR 6120 (ABNT, 1980) no item 2.2, diz que a carga accidental “é toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos etc.).” Na Tabela 3 da norma é definido os valores mínimos para as cargas accidentais em função do uso.

Tabela 3 – Valores característicos das cargas variáveis NBR 6120 (ABNT, 2019)

Local	Carga (kN/m²)
Dormitórios, sala, copa cozinha e sanitários	1,5
Despensa, área de serviço e lavanderia	1,5
Escada com acesso ao público	3,0
Sacadas residenciais	2,5

Fonte: Norma 6120 (ABNT, 2019), transcrita parcialmente pelo Autor

2.2.4 Coeficientes de ponderação

Os valores representativos, ou característicos, das ações utilizados no dimensionamento das estruturas devem ser majorados multiplicando-os pelos coeficientes de ponderação adequados. A normalização regente desses coeficientes é feita pela norma 8681 (ABNT, 2003). As ponderações podem ser encontradas nas tabelas 3 e 4 para combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

Tabela 4 – Coeficientes do Estado Limite Último

	Permanentes (g)		Variáveis (q)	
	D	F	G	T
Normais	1,4	1,0	1,4	1,2

D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis e T temperatura

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014) tabela 11.1 com alterações do Autor

No estado limite de serviço o coeficiente (γ_{f2}) é adotado igual ao valor de ψ_2 para combinações quase permanentes de acordo com a tabela a seguir.

Tabela 5 – Coeficientes de serviço γ_{f2}

Ações	ψ_0	ψ_2
Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,5	0,3
Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,6
Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local (ψ_e)	0,6	0,3

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014) tabela 11.2 com alterações do Autor

2.2.5 Combinações de ações

De acordo com a ABNT 6118 (2014, p.66) “Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido”.

Para a realização da análise estrutural deve-se determinar as solicitações a partir de combinações de diversas ações que incidem em uma estrutura num determinado tempo. A solicitação deve representar a combinação de ações que represente os efeitos mais desfavoráveis em uma estrutura de acordo com a análise estrutural adotada. Para todas combinações as ações permanentes são consideradas em sua totalidade, as variáveis devem ser tomadas apenas parcelas que produzem efeitos desfavoráveis sobre a estrutura. (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2016)

2.2.5.1 Combinações últimas normais

As combinações normais são apenas referentes a capacidade resistente da seção transversal dos elementos em concreto armado. Nesta classe de combinação devem estar com seus valores característicos as ações permanentes e variáveis principais, as ações variáveis secundárias devem ter seus valores reduzidos de acordo com os coeficientes de ponderação adequados. O equacionamento contido na tabela 11.3 da NBR 6118:2014 de combinações normais é dado pela expressão (2.1):

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eg} F_{egk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk} \quad (2.1)$$

Onde:

F_d – valor de cálculo das ações para combinação última;

F_{gk} – valor das ações permanentes diretas;

F_{ek} – valor das ações permanentes indiretas como a retração F_{egk} e variáveis como a temperatura F_{eqk} ;

F_{qk} – representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida como principal;

$\gamma_g, \gamma_q, \gamma_{eg}, \gamma_{eq}$ – ver Tabela 4;

ψ_0, ψ_{0e} – ver Tabela 5;

2.2.5.2 Combinações quase permanentes de serviço

O critério de classificação das combinações de serviço é a permanência da atuação das ações. A combinação quase permanente pode atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, sendo necessária para a verificação do estado limite de deformações excessivas, sendo expressada na tabela 11.4 da ANBT NBR 6118:2014, de acordo com a equação 2.5.

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_{2j} F_{qj,k} \quad (2.2)$$

2.2.6 Dimensionamento a flexão

A flexão de um elemento estrutural ocorre quando uma carga atua na direção transversal ao eixo longitudinal da peça, gerando tensões internas de tração e compressão que permitem equilibrar o momento fletor. (HIBBELER, 2009)

O concreto é um material que possui baixa resistência a tração, sendo este o principal motivo da existência do aço em estruturas de concreto armado, o concreto responsável por resistir aos esforços de compressão e o aço esforços de tração. (CARVALHO E FIGUEIREDO e FIGUEIREDO, 2016).

Sobre o dimensionamento de lajes, Bastos (2015) afirma

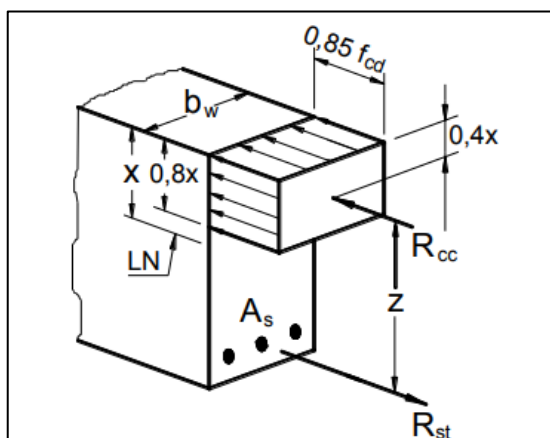
A solução da equação geral das placas é tarefa muito complexa, o que motivou o surgimento de diversas tabelas, de diferentes origens e autores, com coeficientes que proporcionam o cálculo dos momentos fletores e das flechas para casos específicos de apoios e carregamentos. (p.17)

Lajes e vigas são os elementos estruturais no qual é preponderante o dimensionamento à flexão. As lajes, ou placas, são responsáveis por receber e distribuir as cargas no qual a estrutura foi concebida. As vigas basicamente são elementos lineares, ou barras, que recebem cargas das lajes, alvenaria, e quando necessário, outras vigas e pilares, distribuindo essas cargas para seus apoios.

2.2.6.1 Equações de equilíbrio

O equacionamento dos esforços resistentes internos de uma seção de concreto armado sujeito à flexão simples são feitos a partir das equações de equilíbrio dos esforços normais. Onde é nulo tanto o somatório das resultantes de tensão do aço e concreto (R_{cc} e R_{st} , respectivamente), quanto ao equilíbrio dos momentos $R_{st}z = R_{cc}z$.

Figura 3 – Diagrama simplificado das tensões internas resistentes numa seção retangular de concreto armado



Fonte: Bastos, 2019, p.13

A altura útil, representada pela letra “d”, é a distância a fibra de concreto mais comprimida até o centro de gravidade da armadura de tração.

$$d = 0,4x + z \quad (2.3)$$

Com o desenvolvimento das equações de equilíbrio é possível o dimensionamento da área de aço numa seção de concreto armado. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2016)

$$A_s = \frac{M_d}{z f_{yd}} \quad (2.4)$$

Onde,

A_s – área de aço;

M_d – momento solicitante de cálculo na seção;

z – braço de alavanca dos esforços binários;

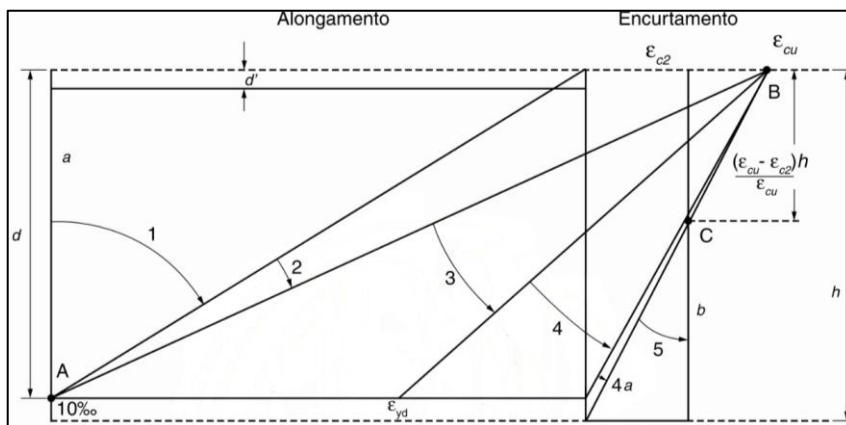
f_{yd} – tensão de escoamento do aço.

2.2.6.2 Ductibilidade

Os elementos submetidos à flexão são dimensionados para que na iminência de atingir o estado limite de ruptura, os usuários possam perceber, visualmente, o deslocamento da estrutura, possibilitando que as medidas necessárias sejam tomadas para garantir a segurança dos que utilizam a edificação. Para tal, a razão entre posicionamento da linha neutra (x) sobre a altura útil (d) deve ser de no máximo 0,45 para concretos até C50 segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014). Seguindo este critério o aço atinge o patamar de escoamento (domínios 2 e 3) no ELU e consequentemente elevando o valor da flecha antes da ruptura. A Figura 4 é a representação gráfica dos domínios de deformação.

$$x = 0,45d \quad (2.5)$$

Figura 4 – Domínios de deformação estado limite último



Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014), p. 122

2.2.6.3 Compatibilização de momentos fletores

O modelo clássico por resolução de séries do cálculo de lajes maciça faz aproximações como considerar as lajes como elementos isolados (simplesmente apoiados ou engastados em suas bordas), entretanto, esse procedimento necessita que os momentos fletores negativos sejam compatibilizados.

O item 14.7.6.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 97) afirma, “Permite-se, simplificadaamente, a adoção do maior valor de momento negativo em vez de equilibrar os momentos de lajes diferentes sobre uma borda comum.”

2.2.6.4 Dimensões mínimas

No item 13.2.4.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014) são definidos os valores mínimos para a espessura ou altura das lajes maciças, apresentadas na tabela 5. Quando uma laje em balanço tem sua espessura (h) entre 10 e 19 centímetros, deve-se majorar os esforços solicitantes, no dimensionamento, pelo coeficiente γ_n , determinado na equação (2.6).

Tabela 6 – Espessuras mínimas

ABNT NBR 6118:2014	Em balanço	Não em balanço
Lajes de Cobertura	10 cm	7 cm
Lajes de Piso	10 cm	8 cm

Fonte: ABNT NBR 6118, item 13.2.4.1, adaptada pelo autor

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05b \quad (2.6)$$

Em vigas a largura da seção transversal da viga pode ser no mínimo de 12 centímetros, de acordo com o item 13.2.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014) em casos especiais a largura das vigas pode ser reduzida até 10 centímetros. Desde que seja garantido os espaçamentos e cobrimentos, estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), e lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931:2004 (Execução de Estruturas de Concreto – Procedimento).

2.2.6.5 Armadura mínima de tração

A NBR 6118 (ABNT, 2014) diz que armadura mínima de flexão deve resistir a um momento mínimo de tração dado pela expressão (2.7).

$$M_{d,min} = 0,8W_0f_{ctk,sup} \quad (2.7)$$

$$f_{ctk,sup} = 0,39f_{ck}^{2/3} \quad (2.8)$$

W_0 – é o módulo de resistência da seção transversal bruta de concreto, relativo à fibra mais tracionada;

$f_{ctk,sup}$ – é a resistência característica superior do concreto à tração;

Os valores das armaduras negativas de bordas sem continuidade serão considerados a partir do momento mínimo dado pela equação (2.7).

2.2.6.6 Armadura máxima

A NBR 6118 (ABNT, 2014) prescreve: “A soma das armaduras de tração e de compressão ($A_s + A_s'$) não pode ter valor maior que 4 % A_c [...]”.

$$A_s + A_s' = 4\%A_c \quad (2.9)$$

2.2.7 Verificação do estado limite de serviço de deformação excessiva

A deformação excessiva afeta diretamente no conforto que uma estrutura pode oferecer, pois, as flechas em um edifício, sem o devido cuidado na fase de projeto e execução, podem ser vistas a olho nu.

Referente ao (ELS-DEF) a NBR 6118 (ABNT, 2014) define:

A verificação dos valores-limites [...] para a deformação da estrutura, mais propriamente rotações e deslocamentos em elementos estruturais lineares, analisados isoladamente e submetidos à combinação de ações [...], deve ser realizada através de modelos que considerem a rigidez efetiva das seções do elemento estrutural, ou seja, que levem em consideração a presença da armadura, a existência de fissuras no concreto ao longo dessa armadura e as deformações diferidas no tempo. (p. 125)

As verificações de ELS para vigas e lajes é determinado principalmente pela deformação e fissuração para proporcionar o conforto do usuário da edificação. As deformações em estruturas devem ser controladas, pois, grandes deformações afetam o conforto do usuário, pois como já foi dito, as estruturas de concreto não devem ser dimensionadas levando em conta apenas aos parâmetros de ruína (ELU), mas atender as necessidades de durabilidade, aparência, conforto e funcionalidade.

2.2.7.1 Flecha imediata

Os carregamentos atuantes em vigas e lajes causam uma deformação imediatamente após a retirada das escoras. Para o cálculo deste deslocamento, usa-se as formulações, apresentadas nas literaturas de resistência dos materiais, para os diversos carregamentos, onde, considera-se que o elemento estrutural trabalha em regime elástico.

2.2.7.2 Flecha diferida no tempo

Nos Estados Limites de Serviço para a determinação da flecha total deve-se considerar a fluência do concreto, multiplicando o valor da flecha imediata pelo coeficiente α_f , conforme o item 17.3.2.1.2 na NBR 6118 (ABNT, 2014).

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50\rho'} \quad (2.10)$$

Onde

α_f – coeficiente de fluência

ξ – é um coeficiente função do tempo, que pode ser obtido diretamente na Tabela 7 – Coeficiente ξ - $\Delta\xi = \xi_t - \xi_{t0}$;

ρ' – taxa de armadura de compressão na flexão;

Tabela 7 – Coeficiente ξ

Tempo (t) meses	Coeficiente $\xi(t)$
0	0
0,5	0,54
1	0,68
2	0,84
3	0,95
4	1,04
5	1,12
10	1,36
20	1,64
40	1,89
70	2

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014), p. 127

2.2.7.3 Flecha limite

Os valores limites para deslocamento-limite impostos por norma estão apresentados na Tabela 8. Quando um elemento está em balanço, o valor l deve ser multiplicado por 2.

Tabela 8 – Deslocamento-limite

Tipo de efeito	Razão da Limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Acessibilidade Sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido as cargas acidentais	$l/350$

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014) tabela 13.3, adaptada pelo autor

2.2.7.4 Contraflecha

A NBR 6118 (ABNT, 2014) diz que os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $l/350$.

2.2.7.5 Cobrimentos Mínimos

A edição em vigência da NBR 6118 (2014) diz sobre projetos estruturais, no item 6, a durabilidade de estruturas.

As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil. (NBR 6118, ABNT 2014, p.15)

No detalhamento de estruturas de concreto armado deve-se atentar primeiramente ao cobrimento nominal, pois, a partir da classe de agressividade ambiental define-se o cobrimento mínimo que poderá ser considerado no detalhamento de estruturas de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 9 – Cobrimento nominal em função da classe de agressividade ambiental

Componente ou Elemento Estrutural	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento Nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga/Pilar	25	30	40	50
Elementos Estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014), transcrita pelo autor

2.3 Modelagem estrutural no software TQS®

Somente o Engenheiro é capaz de projetar, mesmo que por auxílio de programas computacionais, é responsabilidade integral do engenheiro a responsabilidade, tomadas de decisões, critérios de projeto, concepção, revisão e garantia da adequação a todas as normas vigentes, ou seja, o profissional de engenharia na área de estruturas deve ter capacidade técnica para a correta inserção dos dados, manipulação do *software* e análise de todo e qualquer resultado oferecido pelo programa computacional.

2.3.1 Modelos disponíveis pelo *software* TQS®

Sobre a análise estrutural, Kimura afirma.

Trata-se, com toda a certeza, da etapa mais importante de todo o processo de elaboração de um projeto estrutural, pois são com seus resultados que o dimensionamento e detalhamento dos elementos são realizados, bem como o comportamento em serviço do edifício avaliado (2007, p. 111).

Os modelos escolhidos num projeto estrutural são a premissa de uma análise estrutural onde serão determinados os esforços internos, tensões e deslocamentos, isto é, a partir da adequada escolha dos modelos pode ser realizada uma análise estrutural satisfatória do comportamento da estrutura perante as ações.

O *software* TQS oferece uma série de opções denominadas de “modelos”, onde o *software* oferece combinações de modelos estruturais de acordo com a opção escolhida; cabe ao engenheiro escolher a opção para concepção do projeto estrutural.

O “modelo IV” será apresentado em um tópico separado, as demais opções estão listadas e brevemente descritas a seguir:

- Modelo I – O profissional fará toda a análise manualmente, não será possível a análise global da estrutura. A sequência de comandos utilizados para o cálculo deve ser coordenada pelo engenheiro;
- Modelo II – Modelagem por vigas contínuas ou grelhas, sem vento: A análise do vento é simplificada e o edifício não é calculado por pórticos espaciais;
- Modelo III – Modelagem por vigas contínuas ou grelhas; vento por pórtico espacial: A modelagem é feita por pórtico espacial e apenas na iteração das ações horizontais são utilizadas no dimensionamento de vigas e pilares. O equilíbrio espacial gerado por ações verticais não é considerado neste modelo;

2.3.1.1 Modelo IV

O Manual III (CLAUDIO, 2015) 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.

Os efeitos das cargas verticais nas vigas e pilares são calculados pelo Pórtico-TQS[®]. Nas lajes, apenas as cargas verticais são calculadas segundo o modelo escolhido para o pavimento, sendo eles, processos clássicos ou Grelha-TQS[®].

No caso da escolha do pavimento discretizado por grelhas as reações das barras são transmitidas automaticamente como carregamentos das vigas no pórtico espacial, assim, há uma certa integração entre os modelos (Grelha-TQS[®] e Pórtico-TQS[®]). É possível que seja feita a análise da não linearidade física e geométrica do concreto armado.

2.3.1.2 Não linearidade física e geométrica

A não linearidade física (NLF) se deve, em concreto armado, ao fato que as propriedades do concreto e aço se alteram conforme a estrutura é carregada. Toda estrutura a ser carregada apresenta uma certa deformação, esse deslocamento gera um acréscimo de tensões de 2ª ordem, isto é chamado de não linearidade geométrica (NLG). Para efetuar tal análise faz-se necessário diversas iterações para atestar o equilíbrio da estrutura levando em consideração o acréscimo de tensões gerado nessa estrutura. (CLAUDIO/TQS, 2015)

2.3.1.3 Fissuração

O concreto é um material pouco resistente a tração, por isso é de fundamental importância o controle da fissuração para elementos sujeitos a flexão em concreto armado. A fissuração é fator preponderante na análise de edifícios, pois, a seção bruta de concreto é a maior contribuinte para a rigidez da seção transversal em concreto armado, logo, a fissuração compromete o valor da rigidez reduzindo-o (KIMURA, 2007).

2.3.2 Modelagem estrutural ELU e ELS

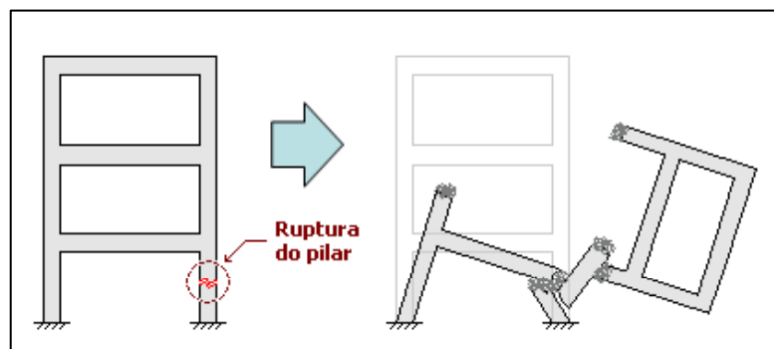
Devido as diferentes finalidades das verificações de ELU e ELS, faz-se necessário abordagem diferentes nas verificações de segurança escolha de modelos estruturais diferentes que satisfaçam as verificações de forma adequada em cada caso separadamente.

Quanto mais simples as modelagens estruturais forem (análise-linear), mais fácil será a compreensão, entretanto, maiores serão as limitações que estes modelos possuem, como lajes por teoria das placas, vigas contínuas, grelha somente de vigas e pórticos planos. Assim, modelos com maior complexidade (análise-plástica) como grelhas de vigas e lajes, pórticos espaciais e elementos finitos apresentam maior a complexidade do modelo estrutural adotado, resultados mais condizentes com a realidade são proporcionados. Alguns modelos são possíveis apenas por auxílio de *softwares* especializados, sendo o TQS um deles.

2.3.2.1 Modelagem para o ELU

Quando o uso de uma estrutura é comprometido pelo colapso ou perda de equilíbrio parcial ou total da estrutura é quando se atinge o Estado Limite Último (ELU). Exemplo: esmagamento da região comprimida do concreto em uma viga, perda de estabilidade de um edifício, ruína de um pilar, etc.

Figura 5 – Exemplo Estado Limite Último

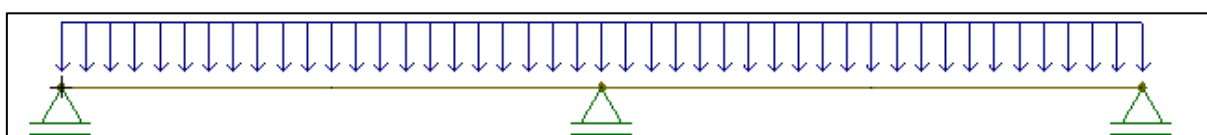


Fonte: CLAUDIO/TQS, 2015, p. 08

a) Vigas contínuas e lajes por teoria das placas planas

Uma opção de cálculo de um pavimento de edifício em concreto armado é calcular as lajes resolvidas por séries (tabelas de Marcus, Czerny, Bares entre outros autores), onde o elemento é dimensionado para resistir aos esforços de flexão (momento fletor). As vigas calculadas pelo processo de vigas contínuas (Figura 6), resistem aos esforços de momento fletor e ao cisalhamento.

Figura 6 – Exemplo gráfico de viga contínua

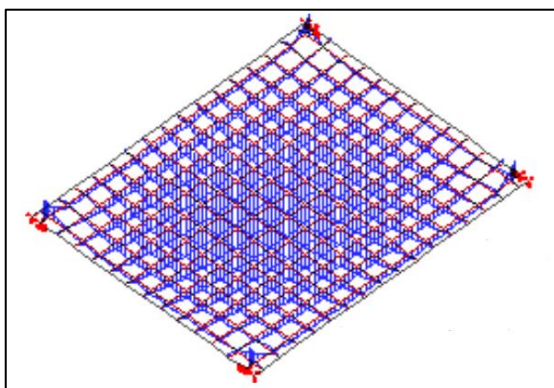


Fonte: Autor

b) Grelhas de vigas e grelhas de lajes e vigas

Quando se calcula um pavimento e define a adoção de grelhas somente de vigas, como foi já descrito neste trabalho no item 2.2.2.2, calcula-se as lajes como processo clássicos e as vigas como grelhas, como representado na figura 1. Grelha somente de vigas é usado, principalmente, em pavimentos onde não há presença de lajes como por exemplo: fundação com vigas baldrame. O processo no qual todo o pavimento é calculado como grelha, ou seja, lajes e vigas são discretizadas juntas por uma malha de barras, tornando a análise mais complexa e precisa.

Figura 7 – Representação gráfica de grelhas de lajes e vigas



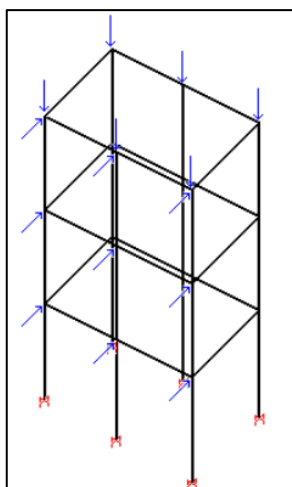
Fonte: CLAUDIO/TQS, 2015, p. 25.

c) Pórtico espacial

O pórtico espacial é um modelo tridimensional composto por barras, permitindo a avaliação de todo o conjunto de vigas e pilares do edifício sujeito às cargas verticais e horizontais simultaneamente. Normalmente as lajes não estão consideradas no modelo pois são consideradas como elementos de alta rigidez. Neste modelo considera-se a não linearidade física de vigas e pilares de forma aproximada. O pórtico espacial pode ser usado para:

- Dimensionamento de vigas, pilares e elementos de fundação;
- Avaliação da estabilidade global.

Figura 8 – Representação gráfica de um pórtico espacial



Fonte: CLAUDIO/TQS, 2015, p. 06.

2.3.2.2 Modelagem para o ELS

a) Grelha linear e não-linear

Utilizando de grelhas lineares é possível obter uma estimativa do valor da flecha e a fluência é considerada de forma simplificada, realizando o processo simplificado de majoração da flecha imediata. A escolha de grelha não-linear considera a não-linearidade física (fluência, fissuração e presença de armaduras), assim oferecendo um resultado com maior precisão.

b) Pórtico espacial ELS

O pórtico espacial ELS é um modelo especializado em mensurar os deslocamentos entre pisos e no topo do edifício, além disso pode-se analisar as vibrações geradas por cargas dinâmicas como o vento. Assim, o pórtico ELS tem sua análise direcionada para:

- Verificação de deslocamentos horizontais.
- Verificação do conforto perante a vibrações.

Nota-se que, sobre a principal diferença para o pórtico espacial no modelo ELU e ELS é o nível de rigidez dos elementos. A rigidez é considerada integral na verificação do ELS, em contrapartida, no ELS é levada em conta a não-linearidade física de vigas e pilares. (CLAUDIOTQS, 2015)

2.3.2.3 Modelos adequados

O *software* TQS® indica que os subsistemas Grelha-TQS® e Pórtico-TQS® são adequados para projetos estruturais em concreto armado, pois são baseados nos modelos clássicos de grelha e de pórticos espaciais com características e considerações especiais que simulam um comportamento estrutural mais compatível com a realidade como a não linearidade física e geométrica. Considerar o concreto como material puramente elástico pode causar uma série de imprecisões.

2.4 Recomendações práticas para concepção estrutural

A concepção estrutural é, de forma simplificada, a primeira etapa na elaboração de um projeto estrutural. Nesta etapa é definido os dados dos materiais a serem empregados, o arranjo dos elementos estruturais como posicionamento, localização e pré-dimensionamento, também estipulando as ações que serão incidentes na estrutura. É dever do Engenheiro imaginar, estudar e conceber a solução mais adequada e prever seu comportamento. Para tanto, é necessário experiência, bom senso e raciocínio. (KIMURA, 2007)

Na fase de concepção estrutural é necessária que o engenheiro tenha perspicácia no ato de projetar a estrutura para atender os critérios de segurança (estados limites), econômicos (custo) e às condições impostas pela arquitetura. Deve-se atentar também aos demais projetos da edificação, como projetos de arquitetura, alvenaria, instalações elétricas, hidráulicas, ar-condicionado, som entre outros. (Alva, 2007)

2.4.1 Estrutura

No processo de concepção estrutural a primeira barreira encontrada pelo engenheiro é: a geometria das peças (seções transversais) é determinada em função dos esforços solicitantes, mas só é possível encontrar os esforços solicitantes conhecendo a seção transversal. As dimensões dos elementos são significativas nos esforços solicitantes, de fato é consolidado que umas das principais desvantagens de estruturas em concreto armado é seu elevado peso próprio.

Para transpor este obstáculo, faz-se necessário realizar o pré-dimensionamento dos elementos estruturais, isto é, estimar dimensões plausíveis com a realidade e atendendo as prescrições normativas para cada elemento estrutural.

Neste ponto é de suma importância salientar, ao longo do tempo os engenheiros desenvolveram através de experiência e observação parâmetros práticos para o pré-dimensionamento, assim, algumas prescrições práticas são solidificadas no meio da engenharia estrutural em concreto armado convencional que proporcionam um pré-dimensionamento próximo ao resultado final e em geral, com fatores econômicos favoráveis.

“Não existem regras tampouco normas para o pré-dimensionamento. As recomendações encontradas na bibliografia especializada resultam da experiência dos calculistas estruturais ou são fruto de estudos aprofundados sobre o assunto.” (ALVA,2007)

2.4.1.1 Lançamento estrutural

O lançamento estrutural consiste na localização física dos elementos estruturais da estrutura de concreto armado. O lançamento estrutural define o arranjo dos elementos estruturais, assim, define os vãos da estrutura. (ALVA, 2007)

Recomenda-se realizar o lançamento das vigas sob a localização das paredes é uma orientação inicial consistente para o lançamento estrutural. É de boa prática evitar as paredes sobre a laje, em razão da parede infligir um aumento de esforços, consequentemente, elevar a espessura desse elemento estrutural

. O posicionamento das vigas já delimita as bordas das lajes, assim em seguida, realizar o lançamento dos pilares. Recomenda-se que a localização dos pilares seja nas intercessões entre vigas, para que apoiem nos pilares. Procura-se formar pórticos entre os pilares e vigas para que eleve a estabilidade do edifício.

Sobre o lançamento estrutural Pinheiro diz

Usualmente os pilares são dispostos de forma que resultem distâncias entre seus eixos da ordem de 4 m a 6 m. Distâncias muito grandes entre pilares produzem vigas com dimensões incompatíveis e acarretam maiores custos à construção (maiores seções transversais dos pilares, maiores taxas de armadura, dificuldades nas montagens da armação e das formas etc.). Por outro lado, pilares muito próximos acarretam interferência nos elementos de fundação e aumento do consumo de materiais e de mão-de-obra, afetando desfavoravelmente os custos. (2007, p. 4.5)

Nota-se que mesmo com as diversas recomendações para otimização em relação ao projeto e execução de uma estrutura, existem casos nos quais a arquitetura restringe a escolha do engenheiro forçando-o a tomar decisões fora às recomendações práticas de otimização da estrutura.

2.4.1.2 Pré-dimensionamento

Quanto maior o vão de uma laje ou viga, conseqüentemente, maior serão os esforços solicitantes, advindos do elevado peso próprio do concreto e demais cargas incidentes sobre o elemento.

Em pilares faz-se uma estimativa do esforço solicitante, assim, seguindo os parâmetros normativos, uma área de concreto inicial é pré-dimensionada.

2.4.1.2.1 Lajes maciças

- **Espessura**

As lajes podem trabalhar de duas formas: armada em uma direção ou armada em duas direções. Se a equação 2.21 for satisfeita a laje é armada em duas direções, caso contrário é armada em uma direção.

$$\frac{l_y}{l_x} \leq 2 \quad (2.11)$$

Onde

l_y – maior vão da laje;

l_x – menor vão da laje.

O “Método do Vão” proposto por Cunha (2014) dimensiona a espessura da laje (h) em função do vão da laje (L). Usa-se para laje armada em duas direções a equação 2.22 e para armada em uma direção a equação 2.23. (PELIZARO e CUNHA, 2017)

$$\frac{L}{40} \leq h_1 \leq \frac{L}{38} \quad (2.12)$$

$$\frac{L}{38} \leq h_2 \leq \frac{L}{30} \quad (2.13)$$

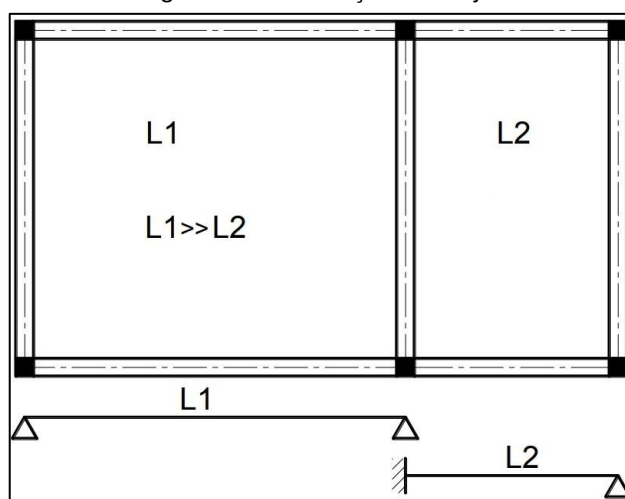
- **Vinculações nas bordas**

“A borda de uma laje será considerada engastada caso haja uma laje vizinha com rigidez suficiente para impedir a rotação nessa borda comum.” (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2016, p. 336)

Neste trabalho as lajes de um pavimento comum têm as alturas iguais, por isso, elimina-se este critério de avaliação de vinculações de lajes.

Outro critério é em relação as dimensões perpendiculares à borda de apoio, como indicado na Figura 9. Quando a razão entre essas dimensões é maior do que 1,5 a laje com menor rigidez pode ser considerada engastada na borda, enquanto a laje com maior rigidez deve ser considerada como borda com rotação livre ou simplesmente apoiada.

Figura 9 – Vinculações de lajes

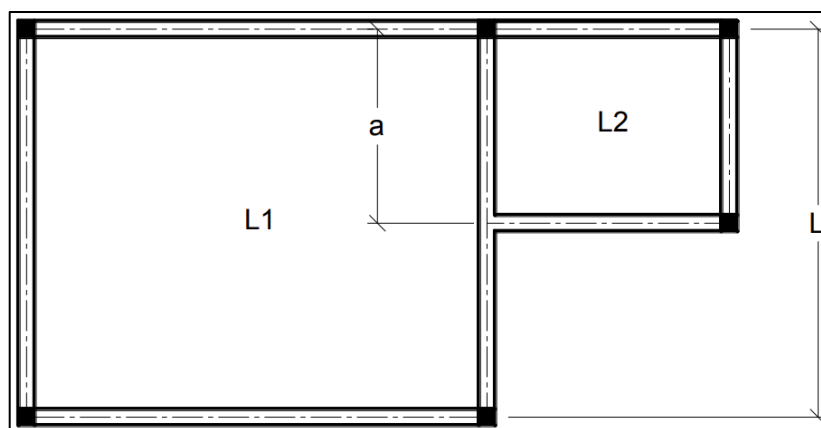


Fonte: BASTOS, 2015, p. 05

De acordo com Bastos (2015), a Figura 10 representa as lajes com bordos parcialmente contínuos; a verificação do tipo de apoio é feita da seguinte maneira:

- se $a \geq \frac{2}{3} L$ as lajes podem ser consideradas mutuamente engastadas
- se $a < \frac{2}{3} L$, a laje L2 pode ser considerada engastada no bordo comum à L1, enquanto a laje L1 deve ser considerada apoiada no bordo comum a L2.

Figura 10 – Lajes com continuidade parcial



Fonte: BASTOS, 2015, p. 5

2.4.1.3 Vigas

As vigas, em muitos casos, devem ser embutidas na parede em função do projeto arquitetônico. Como já mencionado, as vigas têm largura mínima de 12 centímetros, podendo atingir um valor absoluto mínimo de 10 centímetros.

Segundo Cunha (2014), citado por Pelizaro e Cunha (2017) pode-se adotar os seguintes valores para a largura (b_w) de vigas:

- $b_w = 12 \text{ cm}$ (vão $\leq 4 \text{ m}$);
- $b_w = 20 \text{ cm}$ ($4 \text{ m} < \text{vão} \leq 8 \text{ m}$);
- $b_w = 25 \text{ a } 30 \text{ cm}$ (vão $> 8 \text{ m}$).

Em função dos processos construtivos é de boa prática utilizar poucas alturas das diversas vigas num pavimento, outro fator é que usualmente utiliza-se fôrmas de madeira, recomenda-se que as alturas das vigas devem, se possível, ter valores múltiplos de 5 centímetros.

Para estimar a altura das vigas (h_{est}) em função do maior vão da viga (L), seguem para vigas contínuas (2.14) ou vigas biapoçadas (2.15).

$$h_{est} \geq \frac{L}{12} \quad (2.14)$$

$$h_{est} \geq \frac{L}{10} \quad (2.15)$$

Quando uma viga apoiar em outra viga recomenda-se que a viga que trabalhará como apoio tenha uma altura maior ou igual a viga apoiada.

2.4.1.4 Pilares

No pré-dimensionamento de pilares a primeira etapa é estimar a carga axial atuante sobre o pilar. O método apresentado aqui para esta estimativa é o processo das áreas de influência.

O processo de área de influência consiste em qual a área do pavimento, em planta, que redistribuirá carga para o determinado pilar, ou seja, serão determinadas as áreas dos quinhões de cargas para cada pilar e então determinar o valor estimado de carga axial.

De acordo com Alva (2007, p.16) “A área de influência é calculada a partir da região compreendida entre as mediatrizes dos segmentos de reta que unem os pilares.” Este é um processo de estimativa, portanto existe uma imprecisão considerável, mas nota-se que quanto mais alinhados estiverem, ou seja, mais pórticos forem formados melhor será a precisão do método.

Como já mencionado, em pilares existem excentricidades que provocam esforços de momento fletor; a partir disso determina-se um esforço normal equivalente que contemple os esforços de flexão na seção transversal.

Para tal as solicitações normais são majoradas por um coeficiente (β) adotados em função da posição dos pilares na edificação. Este coeficiente já leva em conta os coeficientes de majoração do ELU (γ_f).

Tabela 10 – Coeficiente (β)

Posição dos pilares	Coeficiente (β)
Interno	1,8
Extremidade	2,2
Canto	2,5

Fonte: ALVA (2007).

Para o pré-dimensionamento dos pilares utiliza-se das seguintes expressões:

$$A_c = \frac{N_{d,pré-dim}}{(0,85f_{cd} + \sigma_s \rho)} \quad (2.16)$$

$$N_{d,pré-dim} = \beta n(g + q)A_i \quad (2.17)$$

Onde:

N_d – é a força normal majorada do pilar, a partir do método de área de influência, considerando todos os pavimentos da estrutura;

ρ – é a taxa de armadura longitudinal total no pilar. Para efeito de pré-dimensionamento, pode-se adotar valores em torno de 2%;

σ_s – é a tensão de compressão nas barras das armaduras para uma deformação de 0,2%. Em se tratando de aço CA-50, essa tensão corresponde a 4,2 tf/cm²;

β – coeficiente de majoração dos pilares em função da posição na estrutura;

A_i – área de influência;

n – Número de pavimentos que transmitem ações ao pilares subtraindo a cobertura.

$(g + q)$ – é a soma das cargas nominais (permanentes e acidentais) por unidade de área, entre 1,0 tf/m² e 1,2 tf/m² nos edifícios correntes.

3 O PROJETO

O projeto arquitetônico deste trabalho foi cedido gentilmente pelo autor do projeto.

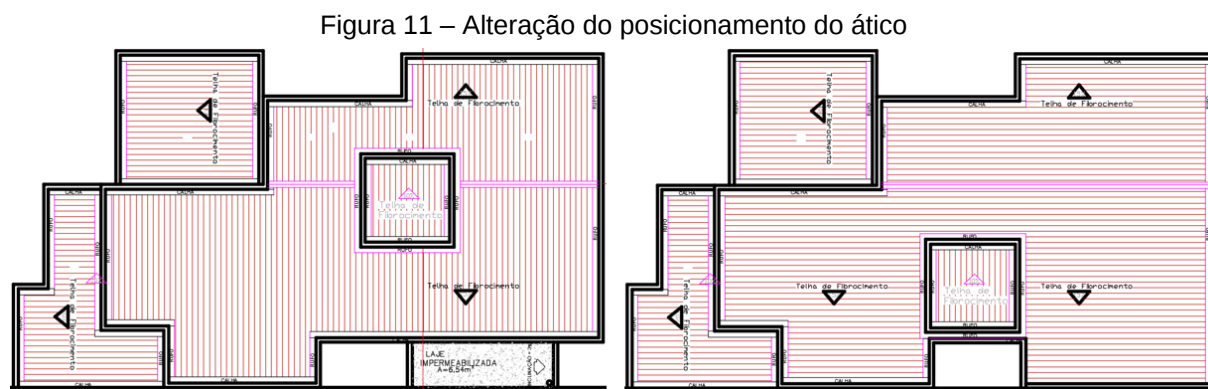
De acordo com Alva: “O projeto arquitetônico representa, de fato, a base para a elaboração do projeto estrutural. Este deve prever o posicionamento dos elementos de forma a respeitar a distribuição dos diferentes ambientes nos diversos pavimentos.” (2007, p. 01)

O projeto arquitetônico deste trabalho possui pavimento térreo com área de 170,94 m², pavimento superior com área de 100,51 m², pavimento de cobertura com 100,51 m².

Para facilitar a visualização fez-se a limpeza do projeto arquitetônico, sendo assim, a Figura 12, Figura 13 e Figura 14 são os projetos arquitetônicos dos pavimentos térreo, superior e de cobertura.

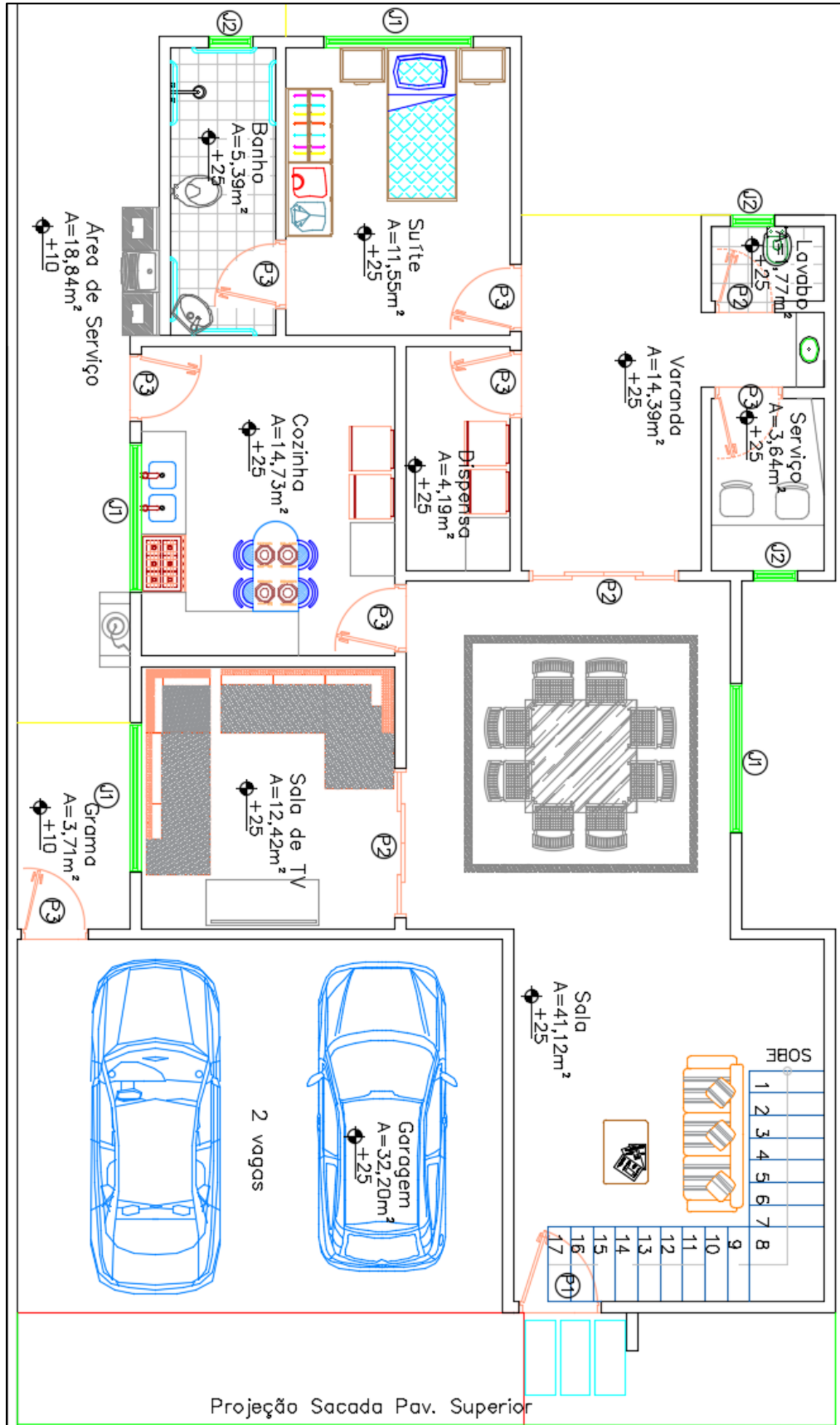
Algumas adequações foram feitas para o lançamento estrutural. Neste trabalho, além de alinhar algumas paredes que fiquem sob vigas a principal alteração foi o posicionamento do ático.

O ático originalmente foi posicionado sobre o pé direito duplo; foi necessário alterar a posição do ático para uma região onde possa ser lançado pilares com mais facilidade. A Figura 11 está apresentado ao lado esquerdo o posicionamento original e a direita está a adequação realizada.



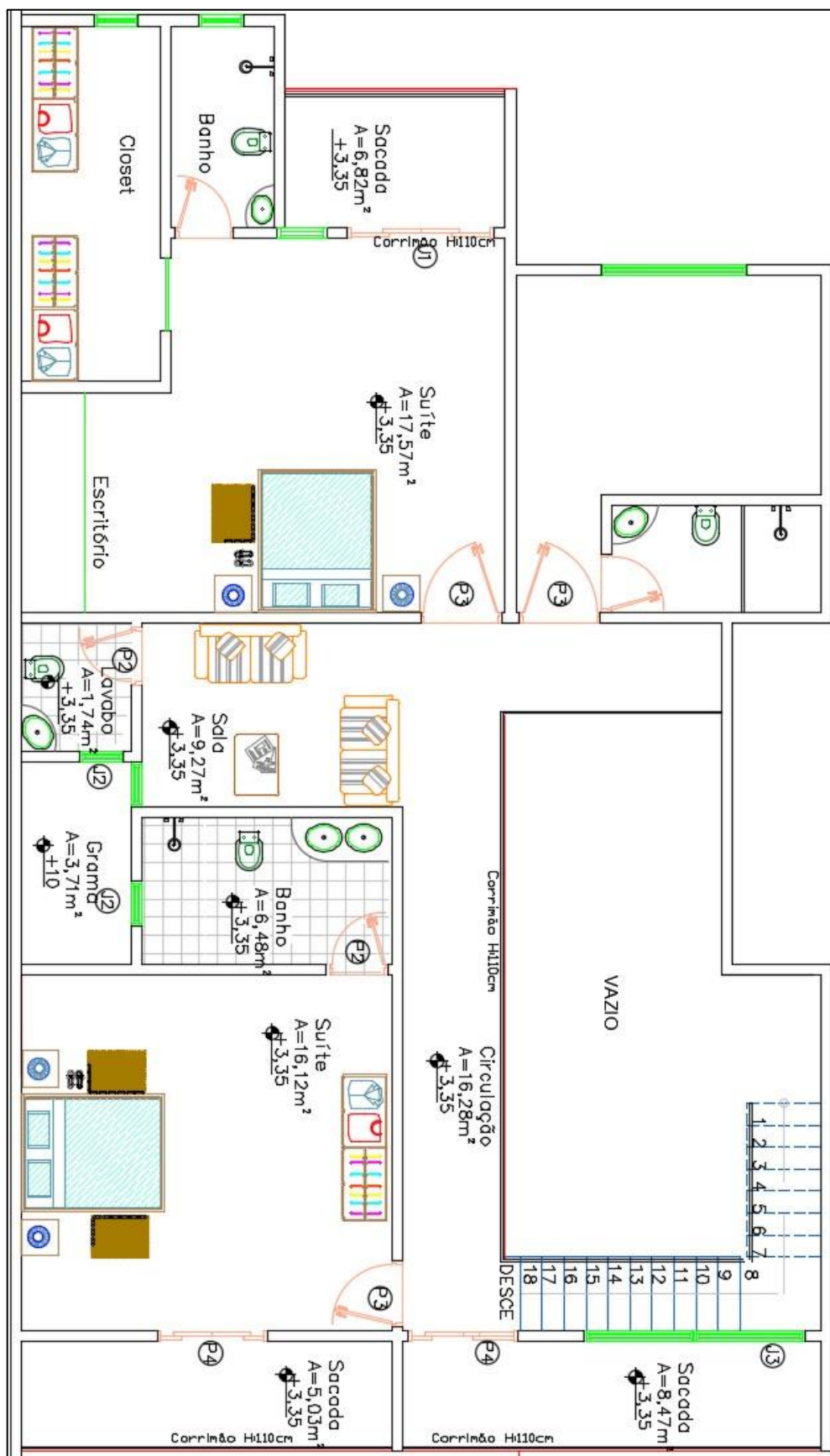
Fonte: Projeto arquitetônico adaptado pelo autor

Figura 12 – Planta baixa do pavimento térreo



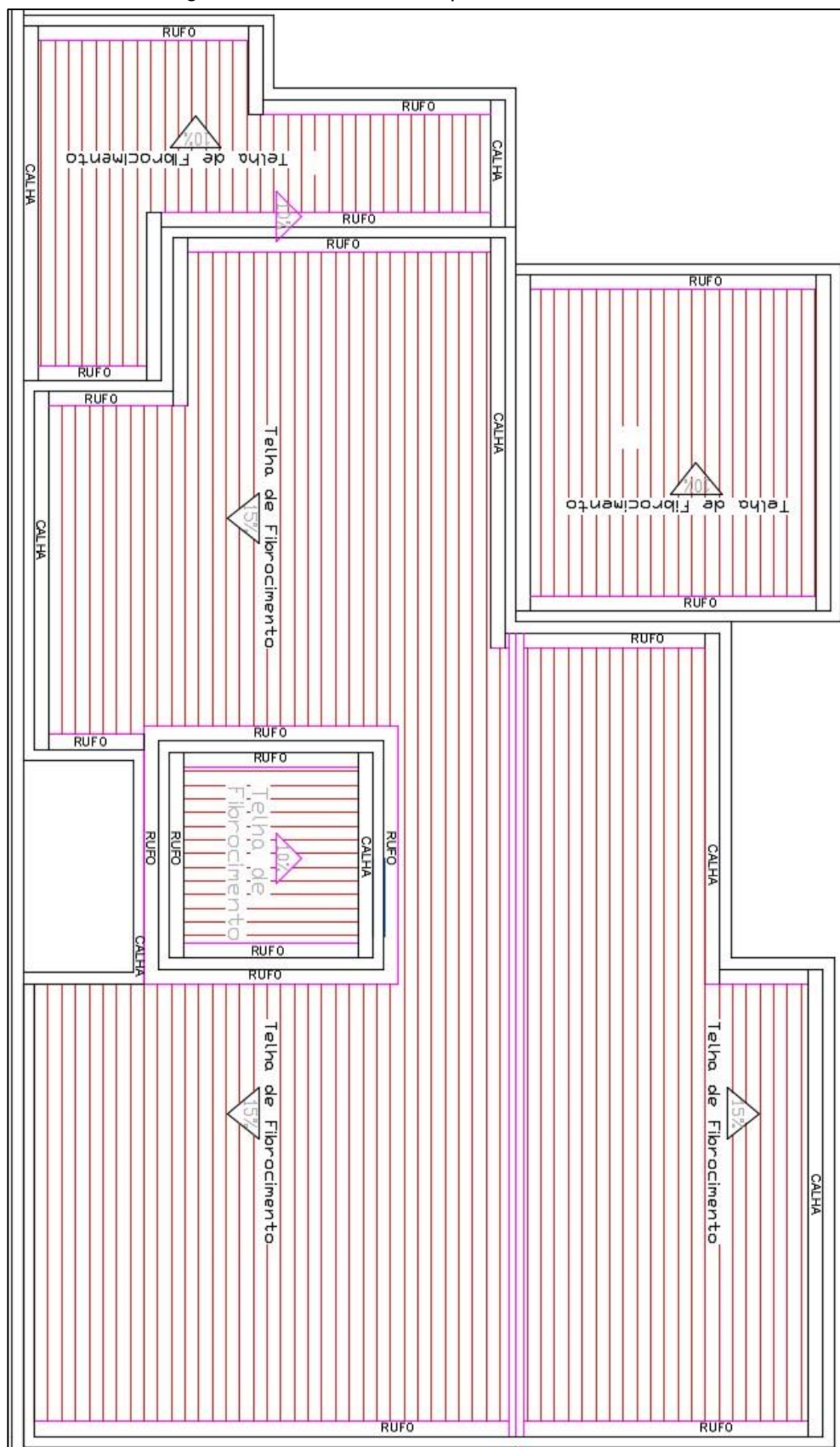
Fonte: Projeto cedido pelo autor do projeto arquitetônico

Figura 13 – Planta baixa do pavimento superior



Fonte: Projeto cedido pelo autor do projeto arquitetônico

Figura 14 – Planta baixa do pavimento de cobertura



Fonte: Projeto cedido pelo autor do projeto arquitetônico

4 DIMENSIONAMENTO DO EDIFÍCIO

Neste capítulo são apresentados os processos realizados para o dimensionamento da estrutura de cada elemento estrutural, ou seja, a partir de uma seção de concreto, determinar a área de aço necessária impedir a ruína do elemento. Evitar a ruína não é somente garantir que o elemento não chegue ao estado de ruptura, mas também é garantir o perfeito estado para utilização (CARVALHO E FIGUEIREDO, 2016).

4.1 Lançamento estrutural

“Na concepção da estrutura, uma das principais preocupações do engenheiro estrutural deverá ser a interação com os demais projetos, em especial com o arquitetônico, o qual direcionará grande parte das decisões tomadas.” (ALVA, 2007, p. 02)

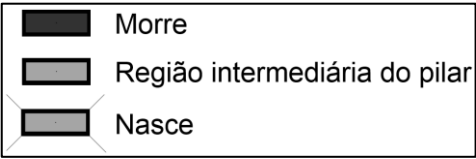
As recomendações contidas no item 2.4.1.1 foram submetidas às condições arquitetônicas do projeto, pois, as recomendações não são regras impostas pela comunidade de engenharia estrutural, mas referências consolidadas na busca de um projeto eficiente.

Buscou-se, neste projeto, evitar ao máximo vigas e pilares aparentes, portanto, o principal desafio para o lançamento estrutural foi a diferença dos layouts arquitetônicos entre os pavimentos térreo e superior, onde, dificulta a disposição de vigas sob e sobre paredes. Na cobertura todas as vigas foram consideradas invertidas.

O projeto arquitetônico representa o ático somente sem lajes, por isso, não foi incluso um pavimento ático no lançamento estrutural. O ático foi simplificado reduzido a cargas lineares e por área, sendo de alvenaria e telhado, respectivamente. As demais cargas do ático estão apresentadas no item 4.3 Levantamento de cargas.

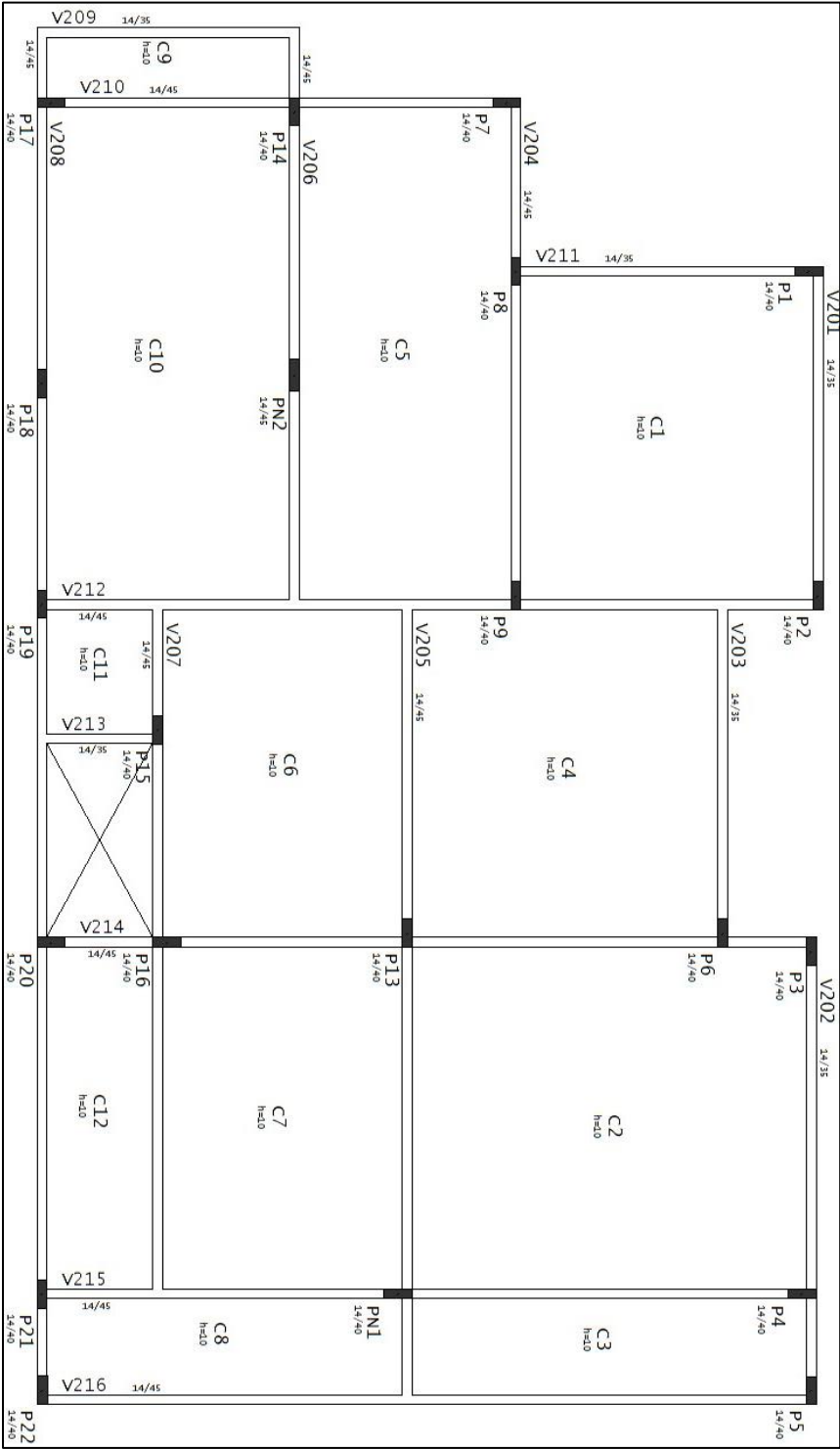
A legenda dos pilares na visualização do lançamento estrutural (Figura 16, Figura 17 e Figura 18) está apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Legenda pilares do lançamento estrutural



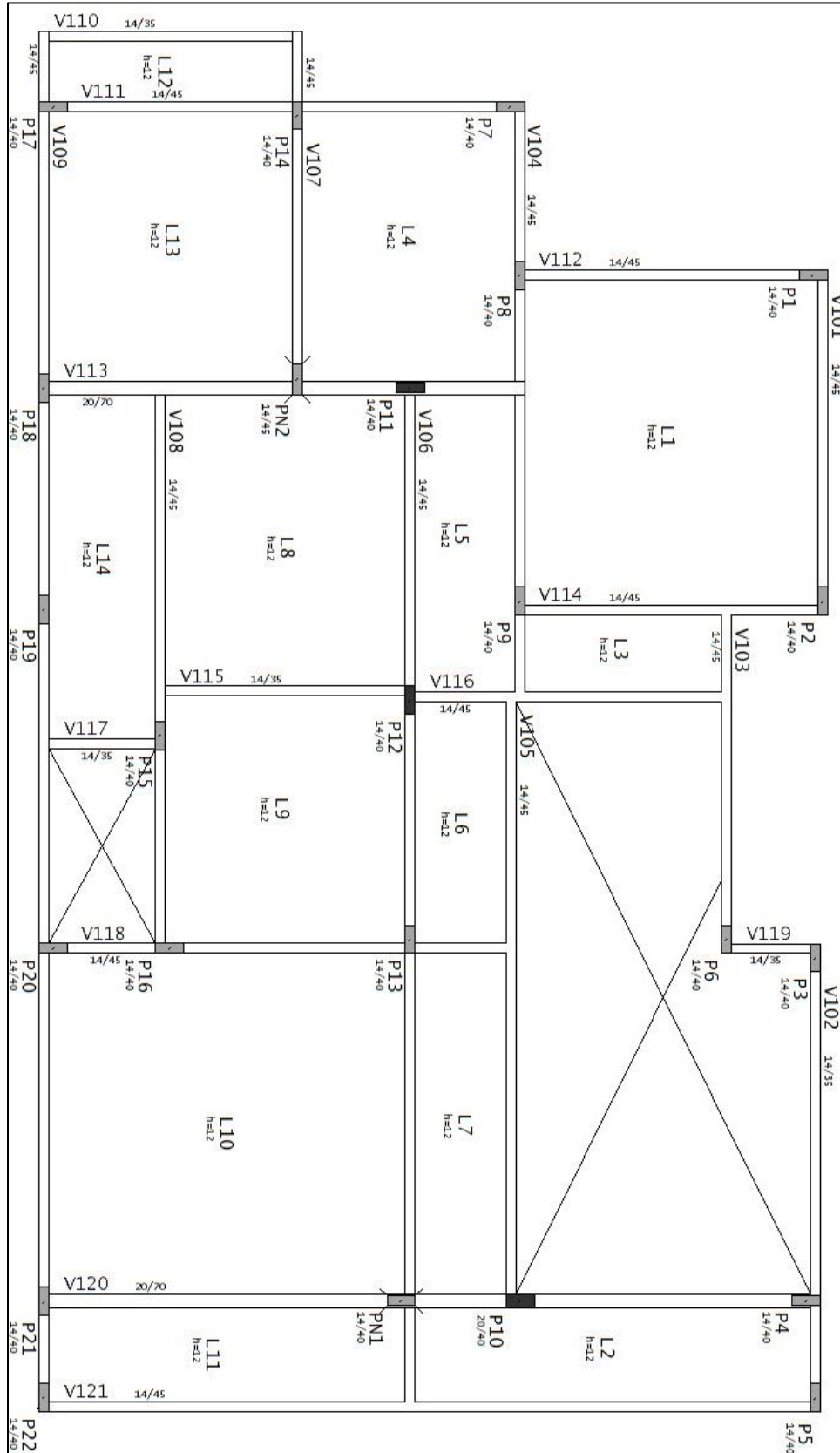
Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Figura 16 – Lançamento estrutural pavimento de cobertura



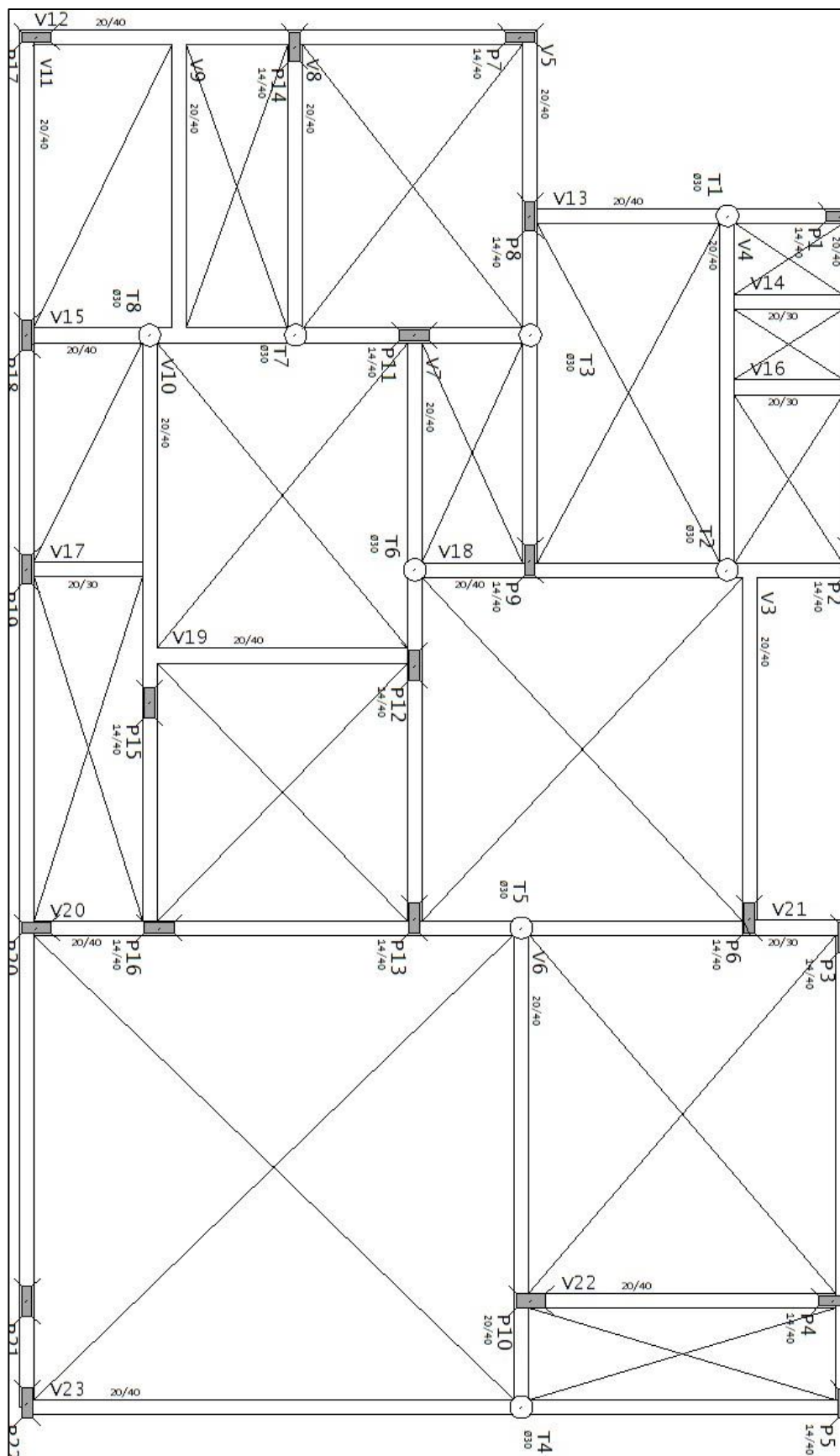
Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Figura 17 – Lançamento estrutural pavimento superior



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Figura 18 – Planta de formas pavimento térreo



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.2 Pré-dimensionamento

Um projeto estrutural com poucas variações de seções transversais acarreta em uma redução do custo de fôrmas, devido ao reaproveitamento, e a uma execução mais eficiente.

Em apêndice estão as tabelas de pré-dimensionamento de acordo com item 2.4.1.2, onde são determinadas as alturas estimadas a partir do vão do elemento, no caso de lajes e vigas, entretanto, as alturas adotadas diferem das alturas estimadas principalmente para evitar a variação de seções por pavimento.

a) Lajes

Para não haver desnível entre lajes optou-se por adotar altura única entre lajes de um mesmo pavimento, como é mostrado no APÊNDICE A, a altura adotada de laje para o pavimento superior de 12 centímetros e para a cobertura de 10 centímetros.

Fundamentado no item 2.4.1.2.1 com as equações (2.11) e (2.12) obteve-se as alturas estimadas, e assim, a altura h adotada para o pavimento de 12 centímetros e para a cobertura de 10 centímetros.

b) Vigas

Exceto as vigas de transição (V113 e V120) foi possível manter duas seções transversais das do edifício. Essa decisão foi tomada principalmente visando a uma execução mais fluida e pelo reaproveitamento de fôrmas.

O pavimento de cobertura naturalmente recebe menos solicitações que o pavimento superior, por isso, as dimensões das lajes da cobertura são maiores do que as do pavimento superior.

A seguir são apresentadas as seções transversais contidas em cada pavimento.

Os valores de pré-dimensionamento de vigas encontram-se APÊNDICE B, baseado no item 2.4.1.3.

Quadro 1 – Seções das vigas por pavimento

Pavimento	Seções contidas no pavimento em centímetros (cm)
Térreo	20x40
Superior	14x35, 14x45, 20x70
Cobertura	14x35, 14x45

Fonte: Autor

c) Pilares

A partir das áreas de influência de cada pavimento (Figura 19) usou-se a solicitação por unidade de área de 1,2 tf/m² e coeficientes de majoração como apontado no item 2.4.1.4.

Em seguida, estimou-se a solicitação estimada pela área de influência em cada pavimento como indicado no APÊNDICE C.

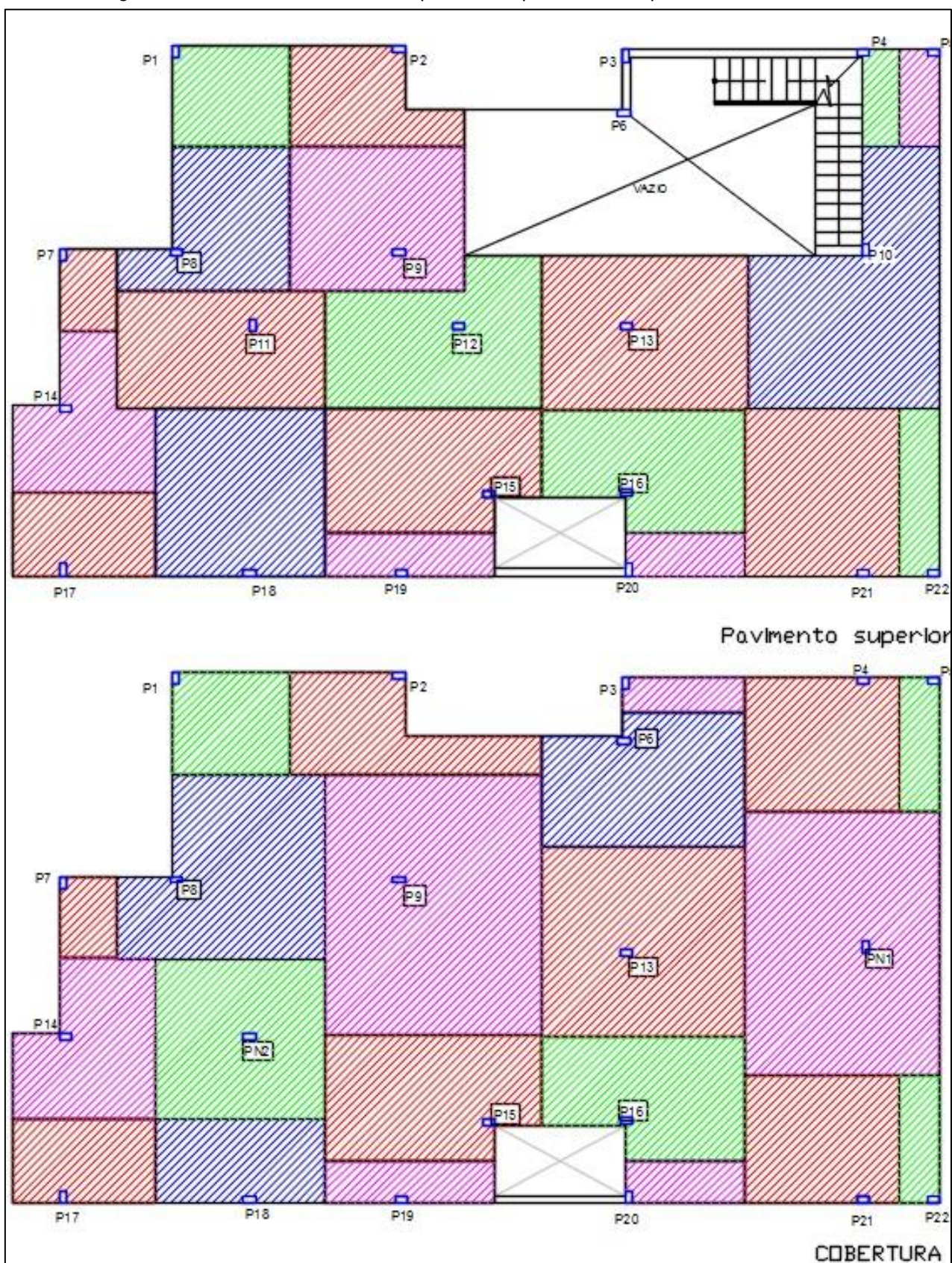
A partir das cargas, dos dados da Tabela 11 e equações (2.16) e (2.17) foi determinada a seção de concreto estimada necessária como mostrado no APÊNDICE D.

Tabela 11 – Dados para pré-dimensionamento pilares

Dados	Valores
Fck (tf/cm ²)	0,3
σ (tf/cm ²)	4,2
ρ (%)	2

Fonte: Autor

Figura 19 – Áreas de influência dos pilares nos pavimentos superior e cobertura



Fonte: Autor

4.3 Levantamento de cargas

O levantamento de cargas será o mesmo para os dois métodos de cálculo, entretanto, no *software* TQS® foi mantida a opção padrão que considera automaticamente o peso próprio dos elementos.

a) Paredes

A carga vertical da alvenaria é considerada linear e é proveniente do peso próprio dos diversos materiais que a compõe, constados na Tabela 1, como blocos cerâmicos, revestimento de argamassa sendo comum em banheiros e cozinhas as paredes serem revestidas com cerâmica.

Em função do projeto arquitetônico não indicar as paredes que serão revestidas, em favor da segurança, será considerado que todas as paredes terão revestimento em porcelanato em uma face.

O peso linear das paredes é produto da multiplicação entre peso específico da alvenaria, altura e espessura. No projeto arquitetônico as paredes são de 15 centímetros, logo, foi considerado alvenaria os blocos cerâmicos vazados de 11,5 centímetros e reboco com 3 centímetros e o porcelanato com 0,5 centímetros. Foi usada uma média ponderada entre esses valores para encontrar o peso específico aparente médio dessa alvenaria. Os valores de peso específico encontram-se na Tabela 1.

$$\gamma_{alv+reb} = \frac{11,5 * 1,3 + 3,0 * 1,9 + 0,5 * 2,3}{3,5 + 11,5 + 2,3} = 1,46 \text{ tf/m}^3$$

A altura da parede deve ser analisada caso a caso, mas, de maneira geral é a diferença entre o pé direito estrutural e o elemento estrutural que está sobre a alvenaria.

Por exemplo, as paredes no pavimento superior que estão sob laje sua altura será a diferença entre o pé direito de 2,95 metros e as lajes de cobertura com 0,10 metros, resultando em 2,85 metros de altura de parede.

No APÊNDICE E estão os valores das cargas lineares de parede; neste apêndice a última coluna contém uma identificação da parede.

b) Cargas verticais permanentes por área nas lajes

Na cobertura foi estimado um revestimento de gesso corrido com 3 centímetros e no barrilete um contrapiso de cimento e areia com espessura de 4,5 centímetros com pesos específicos obtidos na Tabela 1.

Conforme apresentado na Tabela 2, no item Ação Permanente, o revestimento de piso foi utilizado o valor estimado de 0,14 tf/m² em função da falta de informações no projeto arquitetônico.

O barrilete está localizado sobre a laje C6 do pavimento de cobertura que suporta duas caixas d'água de 500 litros ou 0,5 tf. A área da laje da cobertura 6 é igual a 17,02 m².

$$g_{caixa,k} = \frac{2 * 0,5}{17,02} = 0,059 \text{ tf/m}^2$$

Na tabela a seguir está, em resumo, os valores encontrados no levantamento de cargas verticais por unidades de área sobre lajes.

Tabela 12 – Cargas verticais por unidade de área sobre lajes

Tipo	Peso específico (tf/m³)	Espessura (cm)	Cara por unidade de área (tf/m²)
Forro em gesso corrido	1,5	3,0	0,045
Contrapiso no barrilete	1,9	4,5	0,10
Revestimento de piso	-	-	0,14
Impermeabilização com manta asfáltica	-	-	0,010
Telhado	-	-	0,035

Fonte: Adaptado da NBR 6120 (ABNT, 2019)

Os APÊNDICE E e APÊNDICE F apresentam as cargas utilizadas para cada laje, em cada pavimento. Estes apêndices contêm os valores de carga utilizados no *software* TQS® e no programa LajesWIN.

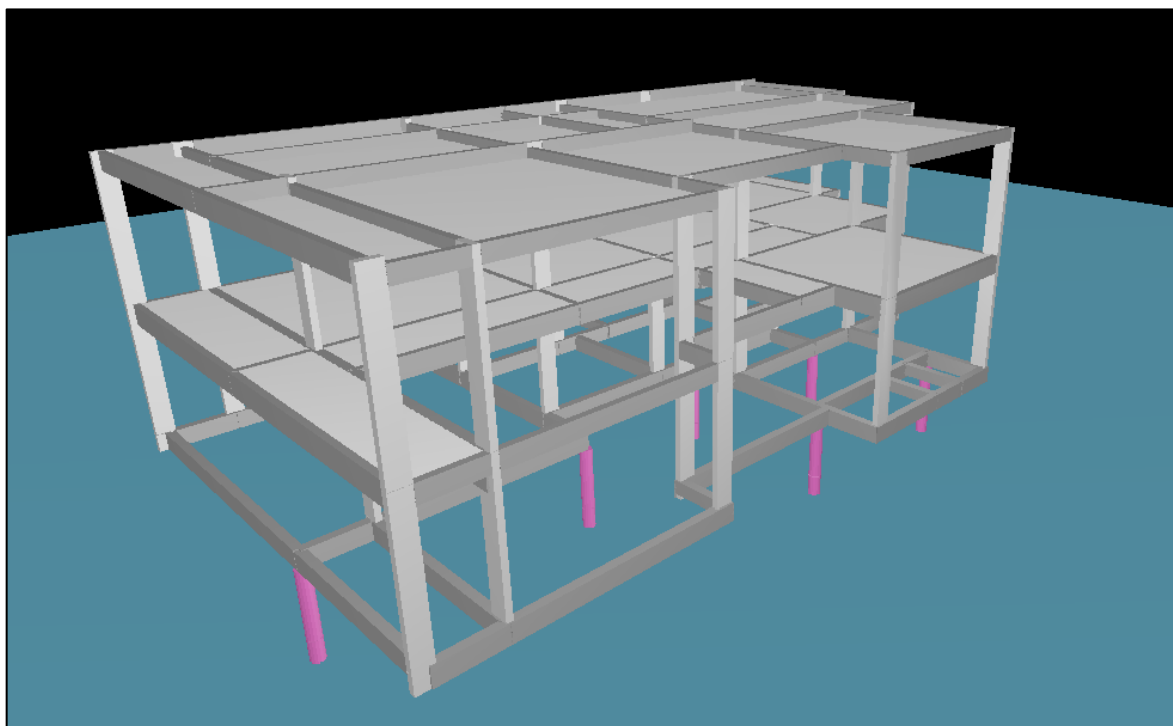
4.4 Dimensionamento no software TQS®

Este capítulo trata de forma sintética o processo de criação do novo edifício inserindo os dados necessários, lançamento do edifício a partir do arranjo estrutural, processamento global e visualização dos resultados.

4.4.1 Modelagem do edifício

A partir do arranjo estrutural inicial apresentado foi feita a modelagem no software TQS®; com a definição dos dados do edifício, de acordo com as opções apresentadas pelo programa.

Figura 20 –Representação tridimensional do edifício modelado



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.4.1.1 Novo edifício

Ao criar um novo edifício faz-se necessário inserir os dados do edifício. Desde dados gerais como o título do edifício e cliente até a escolha da classe de concreto, cobertura e modelo estrutural a ser adotado. Os dados relevantes em que o usuário deve inserir na janela da Figura 21 estão apresentados no Quadro 2.

Figura 21 – Janela novo edifício

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Quadro 2 – Dados do edifício inseridos

Aba alterada	Dado inserido
Gerais	Identificação; Norma em uso 6118:2014; forçar critérios de norma
Modelo	Modelo IV
Pavimento	Pé-direito conforme projeto arquitetônico
Materiais	Classe de concreto C30; Classe de agressividade ambiental: II – Moderada
Cobrimentos	Conforme norma
Critérios	Padrão do software
Gerenciamento	Padrão do software

Fonte: Autor

4.4.1.2 Modelagem do edifício TQS®

A partir do projeto arquitetônico como referência externa foi realizado o lançamento dos elementos estruturais. Toda a modelação do edifício é feita a partir do subsistema TQS/FORMAS na aplicação modelador estrutural. Com o Modelador

Estrutural aberto ajustou-se o projeto arquitetônico para unidade em centímetros para garantir a fidelidade das dimensões de projeto e então inserir os pilares, vigas e lajes em suas devidas posições e dimensões de acordo com o lançamento estrutural definido para este trabalho.

• Pilares

Para inserir o pilar dentro da aba pilares define-se os dados atuais dos pilares, conforme Figura 22, as dimensões e em qual nível nasce e morre, pois os outros dados foram mantidos conforme o padrão do software TQS®. É importante ressaltar que por critério do autor todos os pilares têm as mesmas dimensões.

Figura 22 – 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: 180

Revestimento (cm): 0

Material não padrão

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

B1: 14
H1: 45

Visualização gráfica do pilar B1 com dimensões e pontos de inserção.

OK Cancelar Inserir

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Os pilares PN1 e PN2 que nascem em viga, neste caso, deve-se marcar dentro da guia dados de pilares na aba modelo a opção de o pilar nasce em viga, como demonstrado a seguir:

Figura 23 – Dados de pilar que nasce em viga

The image shows a software dialog box titled 'Dados de pilar que nasce em viga'. It has several tabs at the top: 'Identificação', 'Seção', 'Modelo', 'Grelha/Pavimento', 'Pórtico', 'Detalhamento', 'Cargas', 'Plantas/Seções', and 'BIM'. The 'Seção' tab is active. The dialog is divided into several sections with radio button options:

- O pilar nasce:**
 - ☐ Vinculado na fundação / solo
 - ☒ Em viga (highlighted with a red rectangle)
 - ☐ Em pilar/bloco/sapata/tubulão
 - ☐ Sobre laje
- Trabalha em:**
 - ☒ Compressão
 - ☐ Tração / compressão
 - ☐ Compatibilização
 - ☐ Só tração (tirante)
 - ☐ Só compressão (escora)
- Recebe vento:**
 - ☐ Não (with 'Tabela de vento' button)
 - ☒ Sim (with 'Parcelas de vento' button)
- Direção:**
 - ☒ Vertical
 - ☐ Inclinado
- Pilar parede - inércia à torção laminar:**
 - ☒ Não calcular
 - ☐ Aproximada ou discretização
- Não linearidade física:**
 - ☒ Pilar
 - ☐ Parede não fissurada
 - ☐ Parede fissurada
- Verificar interferências:**
 - ☐ Não
 - ☒ Sim

At the bottom right, there are 'OK' and 'Cancelar' buttons.

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

• Vigas

Na inserção de vigas, dentro da aba de vigas, define-se os dados atuais da viga e executa o lançamento de acordo com suas dimensões e se a viga tem carga distribuída ao longo de toda sua extensão (não se considera nesses dados carga provenientes do peso próprio e descarregamento das lajes). Os outros dados foram mantidos conforme o padrão do software TQS®.

Todas as vigas de cobertura são invertidas e, para isso, deve ser inserido no rebaixo no software. Como as lajes da cobertura tem altura de 10 centímetros o rebaixo da viga se torna 10 centímetros a menos do valor da altura da viga.

Figura 24 – Dados da viga de cobertura invertida

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

Largura (cm): 14 | Altura (cm): 40 | Rebaixo DFS (cm): -30 | Excentricidade EXC (cm): 0

Carga distribuída em todos os vãos: 0 t/m

Seção/Perfil catalogado: []

Dados de viga metálica: []

Material não padrão: []

Mísula / Seção Variável: []

Seções catalogadas: [+] [-] ☐ Igualar todas as seções

Seção	Comentário
14/40 d-30 c0	
14/30 c0	
20/35 c0	

Largura da viga, em cm: []

OK Cancelar

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

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

O pilar PN nasce na viga V120 (no nível do pavimento) e, portanto, deve ser marcada em considerar essa viga sempre como transição na aba modelo dos dados atuais.

Figura 25 – Dados da viga de transição V121

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

Modelo de viga contínua: ☐ Não ☒ Sim

Mesa colaborante: ☐ Não ☒ Sim

Mega colaborante máxima: 0

Engastar no início: ☒ Não ☐ Sim

Engastar no fim: ☒ Não ☐ Sim

Desabilitar peso próprio: ☒ Não ☐ Sim

Ajavanca inicial: ☒ Não ☐ Sim

Ajavanca final: ☒ Não ☐ Sim

Trabalha como: ☒ Viga ☐ Tirante ☐ Escora

Inércia à torção (afeta o valor do M_x de torção): ☒ Critérios pórtico/grelha ☐ Abaixo

Divisor definido em: ☒ Critérios pórtico/grelha ☐ Abaixo

Divisor de inércia à torção: 0

Inércia à flexão no pórtico/grelha: ☒ Critérios pórtico/grelha ☐ Abaixo

Divisor de inércia à flexão: 0

Modelo de lajes: ☒ Não ☐ Sim

Calcular como viga-faixa: ☒ Não ☐ Sim

Considerar como viga de transição: ☒ Pela geometria ☐ Sempre ☐ Nunca

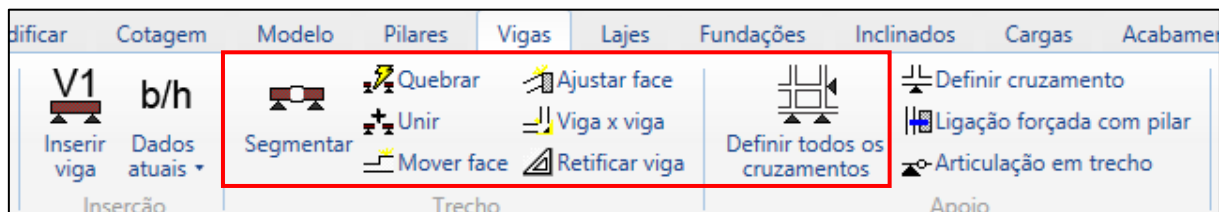
Vigas de transição podem ser carregadas duas vezes, uma com inércia normal e outra com inércia multiplicada, para suportar maior carga. Vigas que não recebem pilares mas fazem parte de um sistema de transição podem ser marcadas com esta finalidade, com "Sim".

OK Cancelar Inserir

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

O encontro de vigas onde não há pilar deve ser definido duas etapas. Em primeiro garante-se que as vigas estão se cruzando pela função Viga x Viga, após isso define-se qual viga será considerada como apoio à outra na função definir cruzamento ou na função definir todos os cruzamentos.

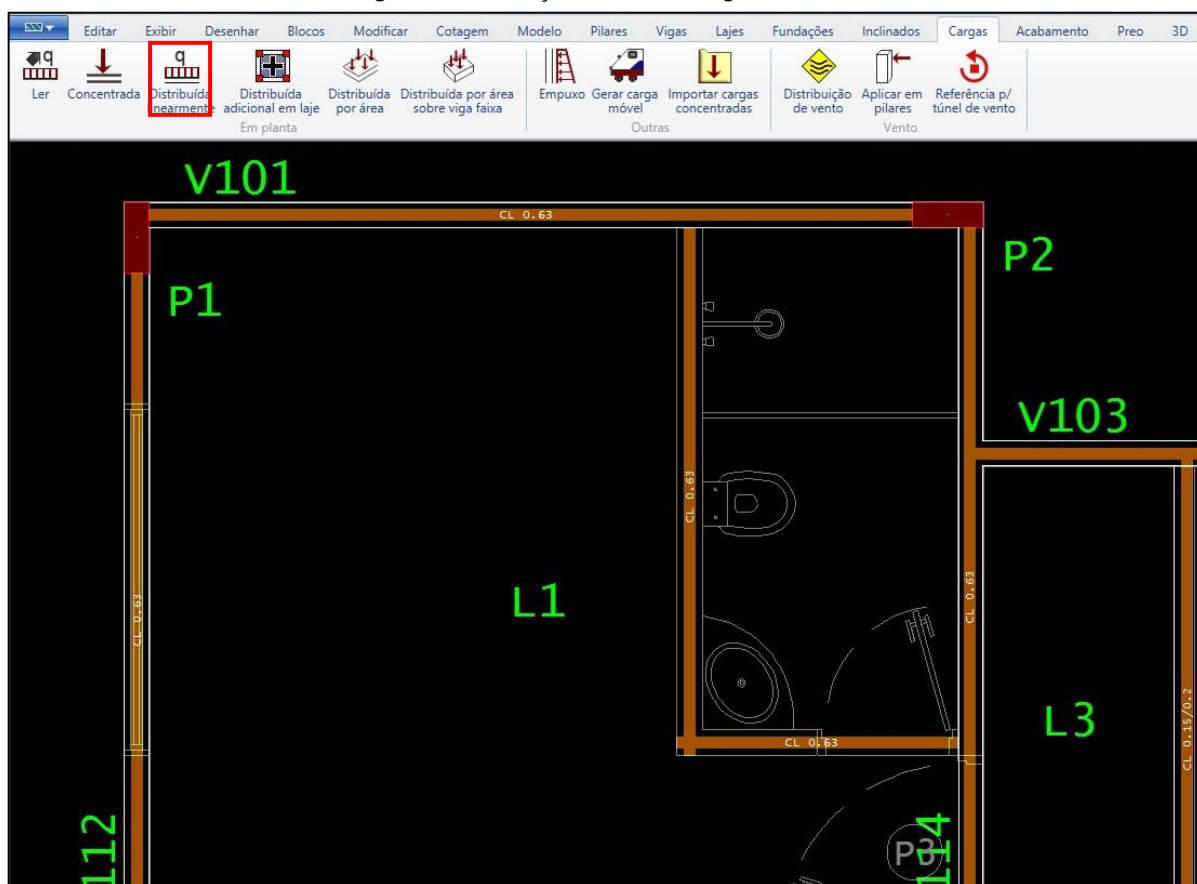
Figura 26 – Ferramentas do modelador estrutural na aba vigas



Fonte: TQS®

Para lançar as cargas de parede (APÊNDICE E) foi utilizado somente a opção, na aba “cargas”, a função “distribuída linearmente”. Para isso, usa-se o projeto arquitetônico como referência externa na escala adequada.

Figura 27 – Lançamento de cargas lineares



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

- **Lajes**

Na aba de lajes em dados atuais, escolhe-se o tipo de laje, sendo maciça nesta concepção estrutural, sua espessura e as cargas por área, sendo elas permanentes e variáveis. As demais informações foram mantidas no padrão do software.

Figura 28 – Dados de laje maciça

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

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

Espessura HL: 10 cm

Rebaixo (cm): 0

Carga distribuída (tf/m²): 0.055/0.1

Alterar

Rebaixo da laje, positivo se abaixo do nível convencional do pavimento, em cm.

OK Cancelar Inserir

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Os valores das cargas distribuídas estão discriminados em tabela no APÊNDICE F e APÊNDICE G. As cargas de alvenaria sobre as lajes seguem o mesmo procedimento indicado no lançamento de cargas lineares em vigas.

• Avisos e erros no modelador estrutural

O modelador estrutural oferece a verificação da consistência de planta, onde, o TQS® faz uma análise preliminar do pavimento que oferece uma lista de avisos e erros. Os erros são pontos em que é necessário a correção para possibilitar o processamento do pavimento. Os avisos são situações em que o usuário deve ter atenção e realizar a revisão para garantir que não tenha ocorrido algum erro de modelagem e lançamento.

Figura 29 – Consistência de planta no modelador estrutural



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.4.2 Processamento global

O processamento global é uma função do subsistema TQS Formas onde é feito o processamento da planta de forma juntamente com todos os dados de edifício e carregamentos atuantes como um todo.

Nessa janela existem diversas opções de processamento como por exemplo processamento global de somente esforços, ou escolher quais elementos estruturais são processados.

Para este trabalho foi escolhida a predefinição do programa esforços e armaduras com a alteração de não processar fundações conforme a Figura 30 .

Figura 30 – Processamento Global

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

O programa exibe um quadro que possibilita visualizar quais avisos e erros (Figura 31) ocorreram no dimensionamento e detalhamento durante o processamento global. Segue exemplos:

- Aviso leve: Falta carga de alvenaria na viga (quando não é lançado cargas lineares de alvenaria na viga)
- Aviso médio: Viga sem segurança a instabilidade lateral
- Aviso grave: Pilar tracionado

Figura 31 – Quadro de avisos e erros

Avisos e erros	
Quantitativo	
Classificação	Quantidade
Aviso/Leve	27
Aviso/Médio	137
Erro/Grave	0
Para maiores detalhes, entre no visualizador de erros.	
Lista de erros graves	
Não existem erros graves.	
Clique aqui para abrir visualizador de erros	

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.4.3 Análise de deslocamentos e esforços

A validação do lançamento estrutural deste edifício foi realizada através da verificação das dimensões adotadas para as lajes, vigas e pilares, quanto aos Estados Limites Últimos e Estados limites de Serviço.

O estado limite de deformação excessiva deve ser inicialmente atendido e, em seguida, o estado limite último. A análise global compreende garantir que o pórtico espacial não apresente deslocamento lateral do topo superior e ao relativo entre pisos consecutivos estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014); também verificou-se a estabilidade global, através da análise dos parâmetros gama z e alfa, conforme prescreve a referida norma.

No subsistema “grelha-TQS®”, dentro da aba “visualizar”, em “visualizador de grelhas”, tanto para a verificação do Estado Limite de Serviço quanto para o Estado Limite Último, seleciona-se a opção “Estado Limite Último”. A grelha-ELS só é gerada em edifícios modelados no modelo VI.

Deve-se escolher a combinação de ações correta para que seja feita a análise visual, conforme apresentado na figura a seguir.

Figura 32 – Combinações para verificação de Estado Limite no *software* TQS®

01 - Todas permanentes e acidentais dos pavimentos
02 - Peso Próprio
03 - Cargas permanentes
04 - Cargas acidentais
05 - ELU/PERMAN/PP+PERM
06 - ELU/PERMACID/PP+PERM+ACID
07 - FOGO/PERMVAR/PP+PERM+0.6ACID
08 - ELS/CFREQ/PP+PERM+0.7ACID
09 - ELS/CQPERM/PP+PERM+0.6ACID
10 - ELU - Verificações de estado limite último
11 - ELS - Verificações de estado limite de serviço

Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.4.3.1 Análise de deslocamentos

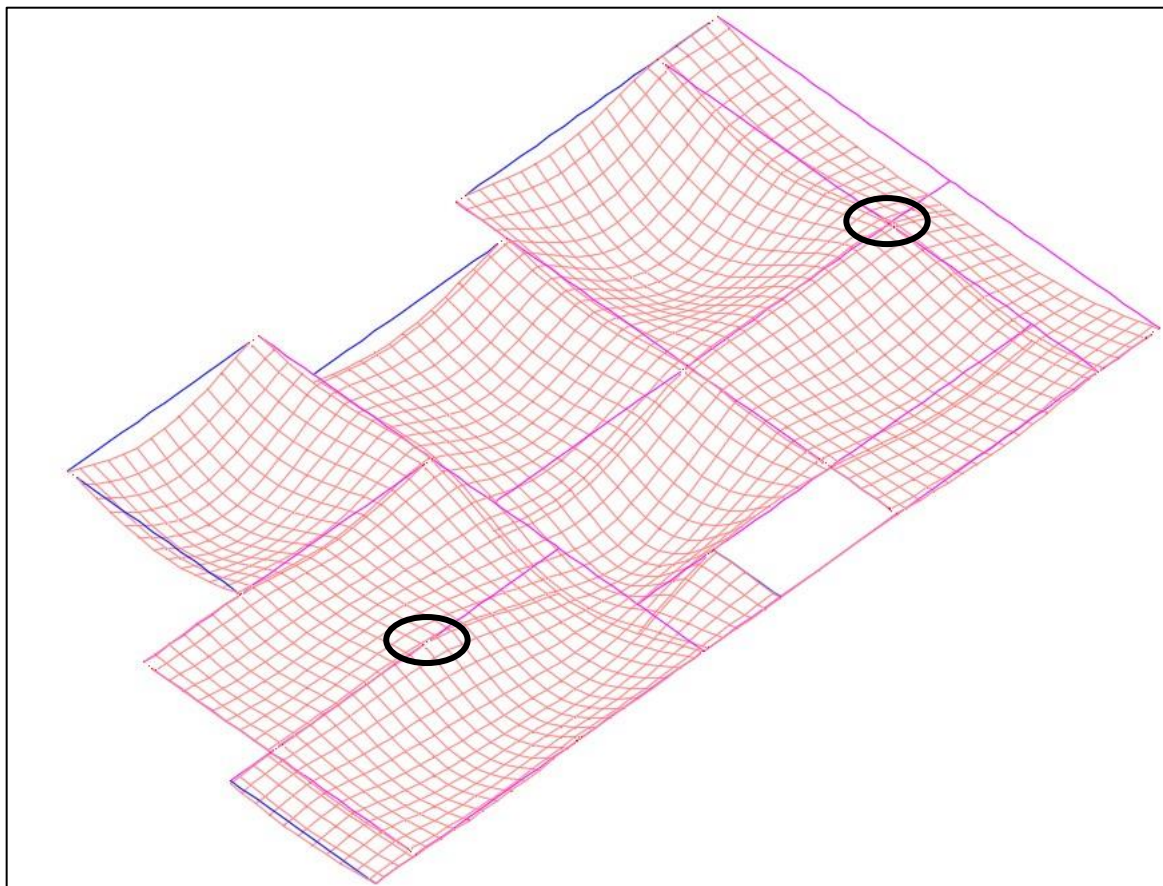
Na visualização da grelha, define a combinação de verificação de Estado Limite de Serviço (nos parâmetros de visualização faz-se necessário, para a avaliação do ELS, manter marcada a opção de “corrigir deformação lenta”) coleta-se os dados de deslocamento em cada laje e em cada vão de viga.

A flecha máxima permitida foi encontrada utilizando do menor vão da laje em $l/250$, em seguida, foi verificado visualmente o valor máximo de deslocamento na grelha.

Foi verificado que em alguns casos o deslocamento máximo obtido foi maior que o valor máximo permitido, como as lajes L2, L11 e C3 nestes casos, foi aplicada a contraflecha de $l/350$. Assim, A subtração da flecha obtida no *software* TQS® com o valor da contraflecha é o valor do deslocamento total naquele elemento.

Em vigas, processo é semelhante ao de lajes, onde, a análise é feita em todos os vãos das vigas. A viga V106 tem seu último vão em balanço, por isso, o valor do deslocamento permitido é duas vezes maior do que trechos com apoios nas duas extremidades, em função do comprimento efetivo, conforme prescrito no item 2.2.7.4.

Figura 33 – Visualização dos deslocamentos na grelha do pavimento de cobertura no grelha-TQS®

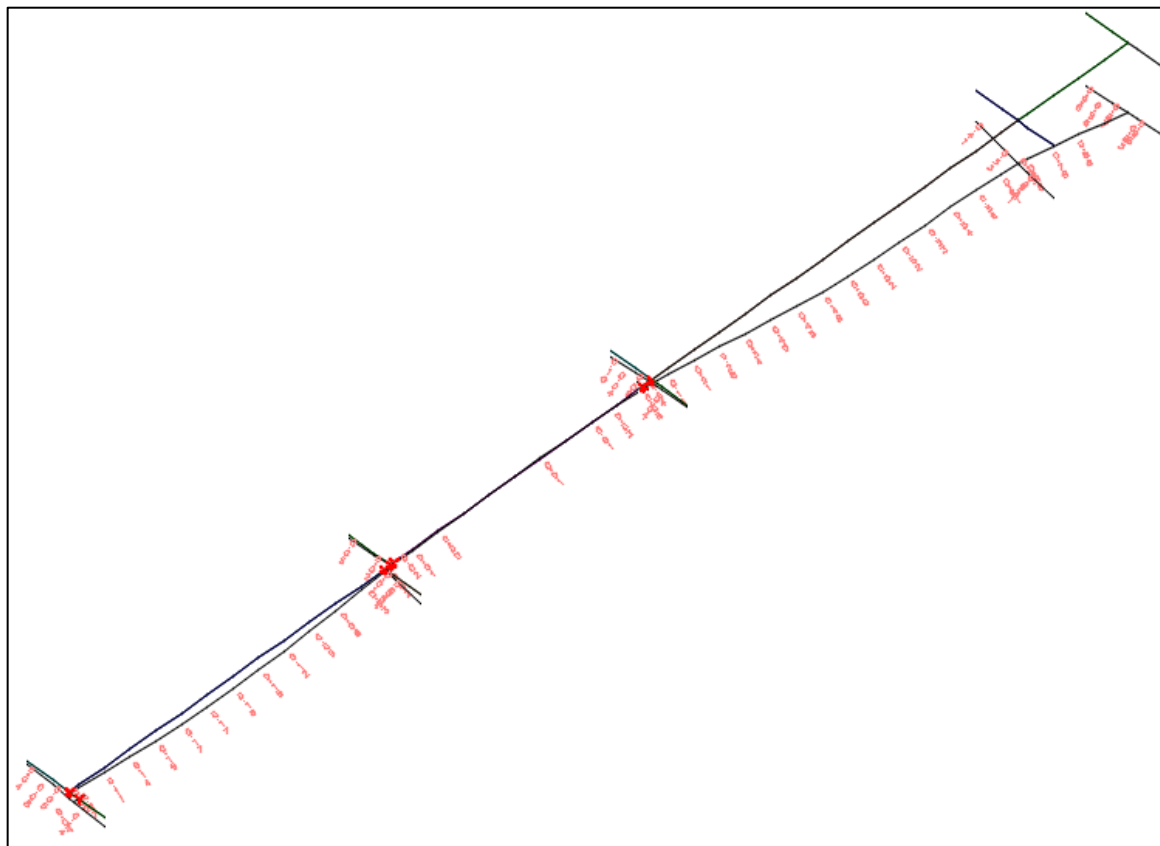


Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

A Figura 33 é a visualização dos deslocamentos no pavimento de cobertura oferecido pelo programa TQS®. No pavimento discretizado por grelhas lajes e vigas são analisados como barras e nós, assim, seu comportamento é analisado conjuntamente, dessa maneira, permitindo a visualização do pavimento deformado.

Nessa condição de análise os pilares são considerados como apoio para o pavimento. Para validação no Estado Limite de Serviço, fez-se necessário a inclusão dos pilares PN1 e PN2 (esses pilares estão localizados nos círculos destacados na Figura 33), assim, reduzindo os deslocamentos na região.

Figura 34 – Representação gráfica do deslocamento da viga V106 no grelha-TQS®



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Alicerçado nos parâmetros apresentados, a validação das lajes e vigas no Estado Limite de Serviço estão no APÊNDICE H e APÊNDICE I.

4.4.3.2 Análise dos esforços

Para a análise dos esforços nas lajes, utilizou-se o subsistema grelhas-TQS, pelo fato das lajes pertencerem ao pavimento. Quanto às vigas, embora pertençam ao pavimento, elas também fazem parte do pórtico espacial, portanto, a análise dos esforços nas vigas foi realizada através do subsistema pórticos-TQS.

Carvalho e Figueiredo (p.139, 2016) apresenta a formulação (4.1) para a altura útil mínima permitida.

$$d_{\min} = 2 \sqrt{\frac{M_d}{bw * f_{cd}}} \quad (4.1)$$

$$d_{est} = h - d'_{est} \quad (4.2)$$

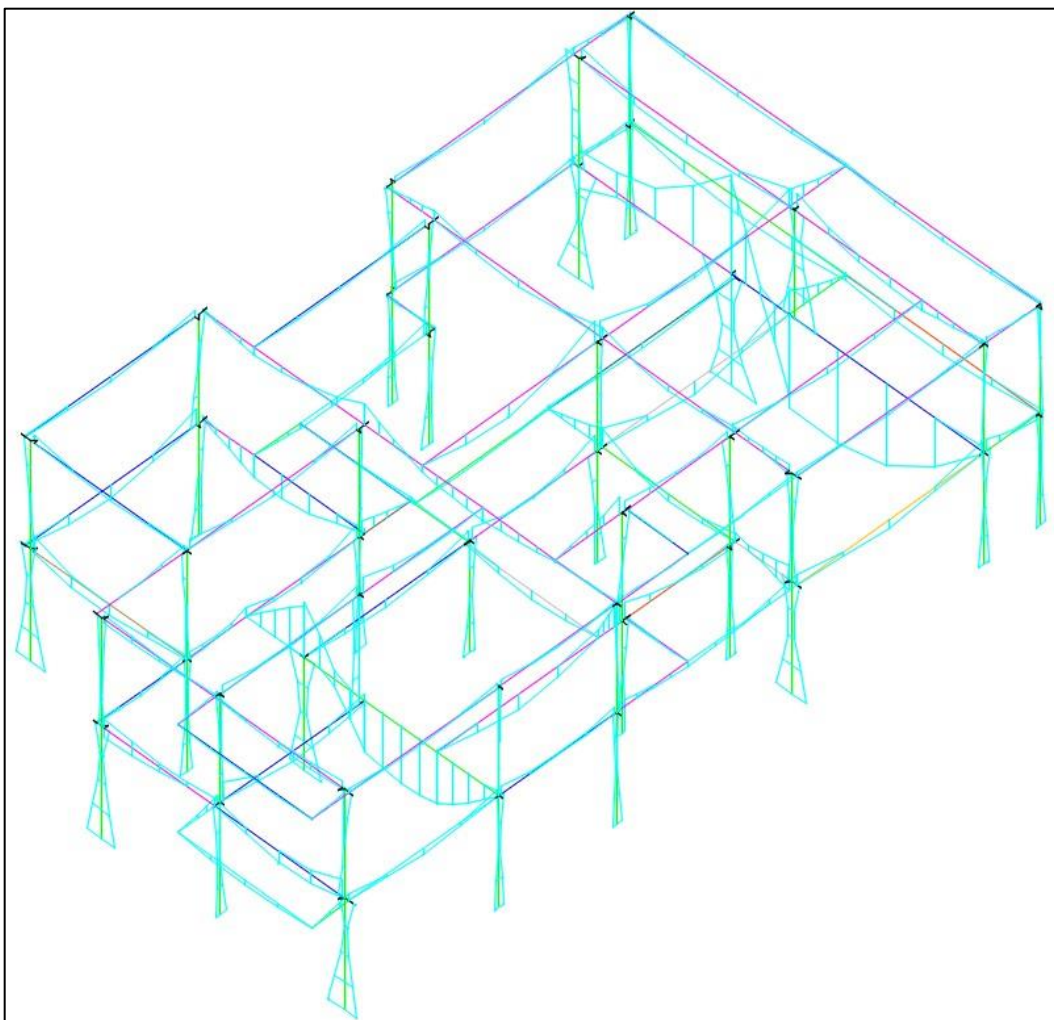
$M_{max,k}$ – momento máximo resistido pela seção a partir do d_{est} ;

d_{est} – altura útil estimada;

h – altura da seção transversal do elemento estrutural;

b_w – largura da seção transversal do elemento estrutural.

Figura 35 – Visualização dos momentos fletores no pórtico-TQS®



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.4.3.2.1 Lajes

Na visualização do grelhas-TQS coletou-se os maiores momentos positivos (Mk) e os maiores momentos negativos (Xk), então aplicou-se o maior momento em

módulo na equação (4.1) (com $b_w = 1\text{m}$) encontrando o $d_{\min}$ para cada laje. A partir do d'_{est} , encontrou-se o d_{est} para cada laje com utilizando a equação (4.2). Logo foi verificado se o d_{est} é maior que o $d_{\min}$ para cada laje.

Para o d'_{est} da laje foi considerado o cobrimento de 2,5 cm, a armadura de distribuição de 10 mm, e armadura principal de flexão de 12,5mm. Sendo assim:

$$d'_{est} = 2,5 + 1,0 + \frac{12,5}{2} = 4,75\text{cm}$$

O APÊNDICE J contém os valores da análise de esforços das lajes.

4.4.3.2.2 Vigas

Na visualização do pórticos-TQS coletou-se os maiores momentos positivos e os maiores momentos negativos de toda a viga, então aplicou-se o maior momento em módulo na equação (4.1) encontrando o $d_{\min}$ para cada viga. A partir do d'_{est} , encontrou-se o d_{est} para cada viga com utilizando a equação (4.2). Logo foi verificado se o d_{est} é maior que o $d_{\min}$ para cada viga.

Para o d'_{est} das vigas foi considerado o cobrimento de 3 cm, o estribo de 8 mm, e armadura principal de flexão de 16 mm com duas camadas de armadura. Sendo assim:

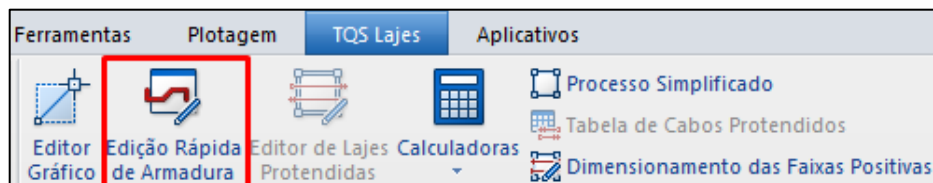
$$d'_{est} = 3 + 0,8 + 16 + \frac{2}{2} = 6,4\text{ cm}$$

O APÊNDICE K contém os valores da análise de esforços para as vigas.

4.4.4 Área de aço das lajes

Foram obtidas as áreas de aço para cada região das lajes na edição rápida de armadura no subsistema TQSLajes, apresentado na figura a seguir:

Figura 36 –Edição rápida de armadura no subsistema TQSLajes



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

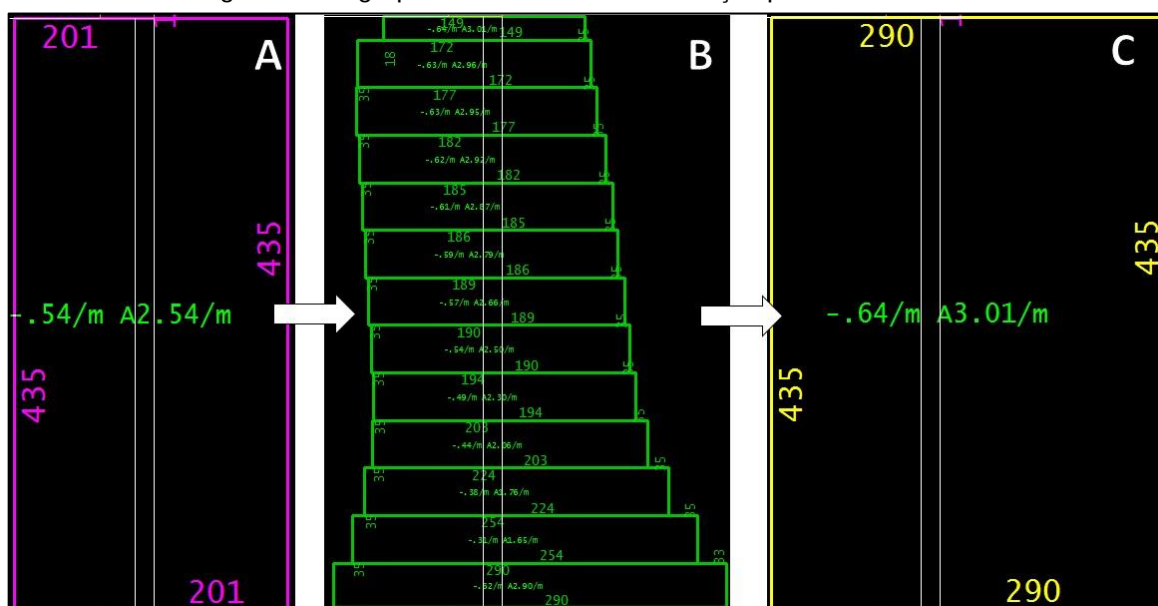
• Faixas de esforços

Os esforços de flexão e cisalhamento ou punção incidentes (com valor característico) nas lajes são delimitados por uma região retangular.

A Figura 37 mostra o processo igualar faixas com o esforço de maior valor, da seguinte maneira:

- Parte A: é o padrão do programa, onde, as faixas de esforços são igualadas partir de uma média ponderada dos esforços e comprimentos das faixas de esforços visualizada na parte B.
- Parte B: são todas as faixas de esforços resultantes do processamento global da estrutura, para que isso ocorra deve-se explodir as faixas anteriormente igualadas.
- Parte C: é a faixa resultante do maior esforço encontrado dentre as faixas da parte B.

Figura 37 – Agrupamento de faixas de esforços para o maior valor

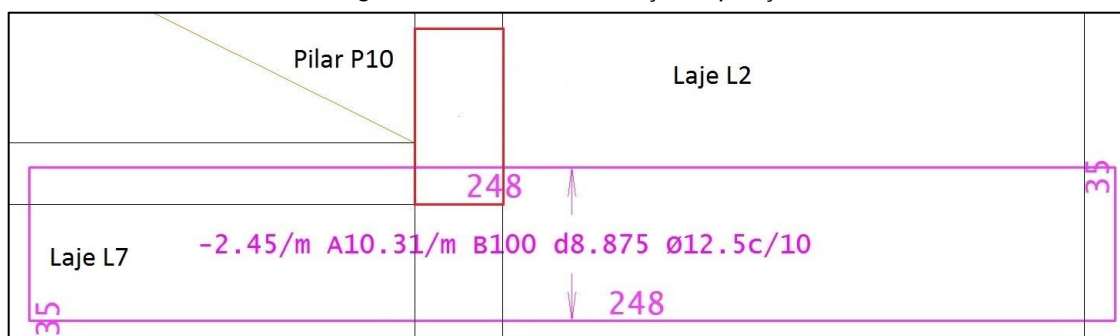


Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

- **Cisalhamento ou Punção**

As faixas de esforços de punção e cisalhamento em lajes não serão utilizadas. Como o exemplo na Figura 38 onde existe uma integração da grelha do pavimento com o pilar de apoio P10.

Figura 38 – Faixa de esforço de punção



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

4.5 Dimensionamento semiautomatizado

Precisa dizer aqui que cálculo semiautomatizado consistiu na determinação dos esforços internos simples e áreas de aço através de tabelas, aplicativos, programas de uso livre, e na compatibilização dos esforços por processos manuais, prescritos pela NBR 6118 (ABNT, 2014)

O dimensionamento semiautomatizado, neste trabalho, é o cálculo semiautomatizado pode modelo estrutural baseado na teoria da elasticidade onde as lajes são calculadas como placas no regime elástico, e os esforços solicitantes podem ser obtidos pelas tabelas de Marcus, Czerny, Bares.

Após a definição das cargas sobre as lajes faz-se necessário discretizar o pavimento, ou seja, a análise das vinculações em relação aos apoios onde são definidos se os bordos que são engastados, apoiados ou livres. (BASTOS, 2015) Neste trabalho não existe a situação de bordo livre.

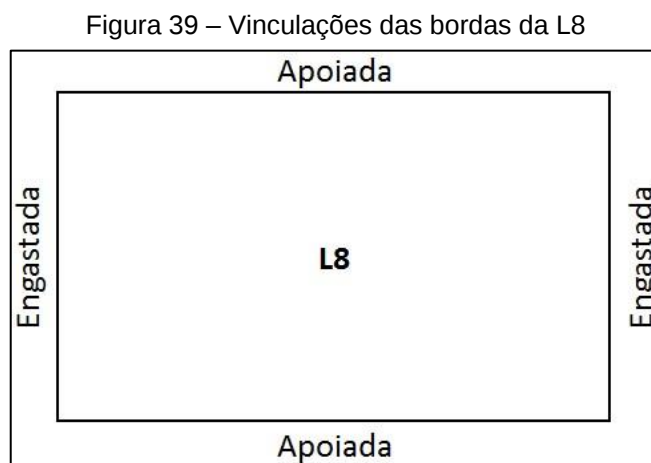
4.5.1 Esforços na laje e vinculações nas bordas

Os esforços e as reações de apoio das lajes em cruz foram obtidos com as tabelas de CZERNY no aplicativo LajesWIN®, enquanto as lajes armadas em uma

direção as tabelas de BARES foram utilizadas utilizando do programa Microsoft Excel para realizar as operações matemáticas.

O APÊNDICE L e APÊNDICE M contêm os dados de vinculação nas bordas das lajes (conforme o item 2.4.1.2.1), na direção x e y, respectivamente, onde, contém o critérios de engastamento entre lajes em função do vão. Verifica também a condição de lajes parcialmente contínuas nas lajes L2, L10, C1 e C10 na direção x e lajes L1 e C5 na direção y.

Segue exemplo da laje do pavimento superior Laje L8, onde apresenta dois bordos engastados e dois bordos apoiados.



Fonte: Autor

4.5.1.1 . Lajes armadas em duas direções com LajesWIN

O aplicativo LajesWIN realiza o dimensionamento de lajes. Entretanto, neste trabalho, foi utilizado somente os esforços alcançados pelo aplicativo. Para cumprir o objetivo citado, a inserção dos dados da laje devem ser:

- Lado vertical;
- Lado horizontal;
- Carga distribuída por área (o aplicativo não calcula o peso próprio automaticamente; a carga foi inserida em tf/m^2 , assim, o resultado do momento é em $tf * m/m$ e as reações em tf/m ; a carga distribuída teve seu majorado pelos coeficientes adequados);

- Vinculações das bordas (na Figura 40 a laje C1 tem o bordo direito e inferior engastado);
- Os demais dados são referentes ao dimensionamento da área de aço, portanto, não são relevantes nesta situação.

Figura 40 – Lançamento laje C1 no aplicativo LajesWIN

The screenshot shows the LajesWIN application interface with the following sections:

- Arquivo Sobre**: Menu bar.
- Materiais**:
 - Fck: 300 Kgf/cm²
 - Fyk: 5000 Kgf/cm²
- Propriedade das Lajes**:
 - Altura: 10 cm
 - Cobrimento: 2.5 cm
 - Lado vertical: 4.3 m
 - Lado horizontal: 4.75 m
 - Q: 0.602 Kgf/m²
- Esforços - Armadura**:
 - Diagrama de momentos e reações (R1, R2, R3, R4) with axes Xa, Xb, Ya, Yb.
 - Tabela de CZERNY - CASO3**:

Ma:	0.32	As	R1:	0.48
Mb:	0.26	As	R2:	0.82
Xa:	-0.88	As	R3:	0.51
Xb:	-0.82	As	R4:	0.90

Fonte: LajesWIN

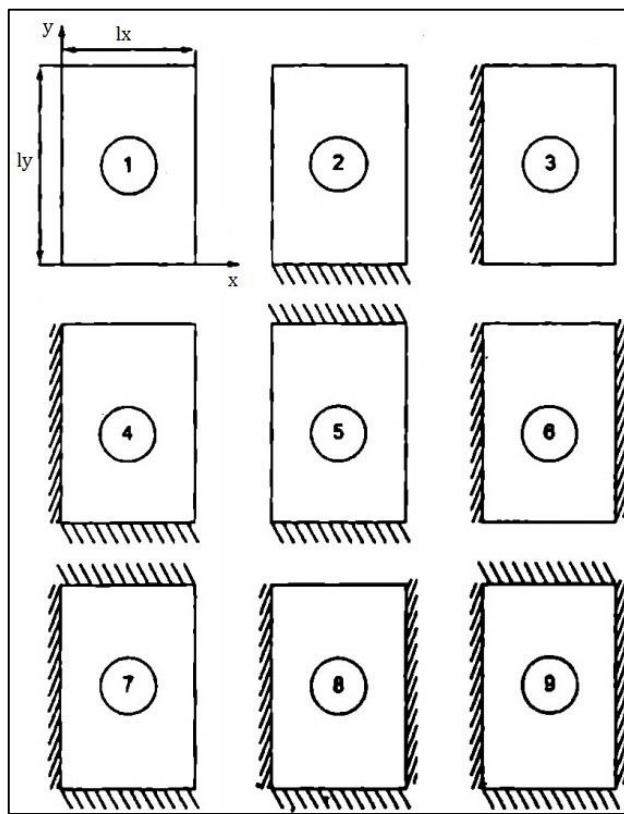
É importante apontar que o aplicativo LajesWIN fornece os valores de momento fletor e reações de apoio de acordo com a configuração física e real da laje. Isso não acontece no método de cálculo nas lajes armadas em uma direção onde foi utilizado a tabela de BARES, onde, as tabelas o “lx” é considerado o maior vão da laje.

4.5.1.2 Lajes armadas em uma direção com tabelas

Na tabela de BARES, simplificada, o eixo x é considerado como o menor vão, ou seja, quando uma laje tem a menor direção no lado vertical, o eixo x é considerado no lado vertical. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2016)

Os casos utilizados na determinação dos esforços partir das vinculações obedecem aos quadros apresentados na Figura 41.

Figura 41 – Quadros baseados nas soluções em séries desenvolvidas por Bares



Fonte: CARVALHO e FIGUEIREDO, 2016, p. 330

Carvalho e Figueiredo apresentam formulações para os momentos máximos positivos e negativos baseados nas resoluções em séries de Bares. (2016, p.329)

$$m_x = \mu_x \frac{p * l_x^2}{100} \quad (4.3)$$

$$m_y = \mu_y \frac{p * l_x^2}{100} \quad (4.4)$$

$$X_x = \mu'_x \frac{p * l_x^2}{100} \quad (4.5)$$

$$X_y = \mu'_y \frac{p * l_x^2}{100} \quad (4.6)$$

Onde,

l_x – menor direção

m_x – máximo momento fletor positivo na menor direção;

m_y – máximo momento fletor positivo na maior direção;

X_x – máximo momento negativo na menor direção;

X_y – máximo momento negativo na maior direção

$\mu_x, \mu_y, \mu'_x, \mu'_y$ – coeficientes fornecidos (somente para lajes armadas em uma direção) no ANEXO F.

4.5.1.3 Esforços

A nomenclatura dos esforços no APÊNDICE N é uma adaptação dos apresentados na Figura 42, onde os esforços no eixo y chamados de X_a e M_a passam a ser X_y e M_y , os esforços no eixo x chamados de X_b e M_b passam a ser X_x e M_x .

Figura 42 – Nomenclatura dos esforços LajesWIN



Fonte: LajesWIN, adaptado pelo autor

4.5.2 Área de aço das lajes

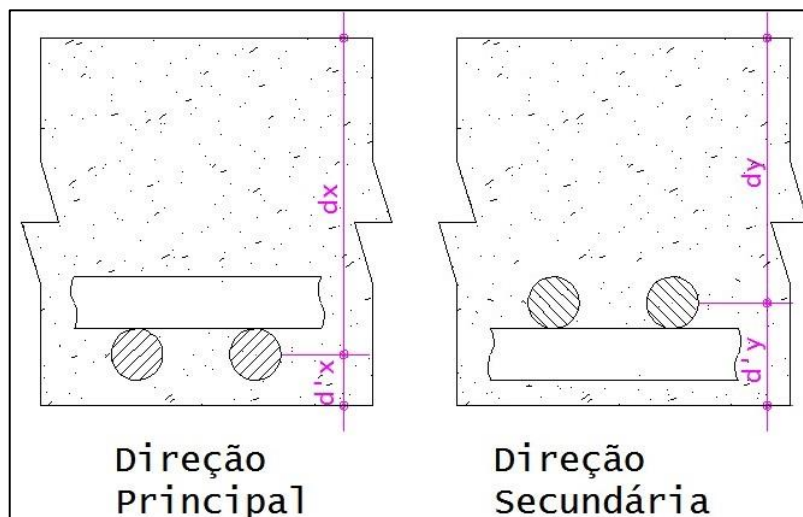
Com os esforços de momento fletor obtido, viabiliza-se o cálculo da área de aço. Entretanto é necessário compatibilizar os momentos fletores negativos entre lajes com borda comum, verificar o valor da armadura mínima e máxima,

Como explanado, no item 2.2.6.3, fez-se a simplificação prescrita na NBR 6118 (ABNT, 2014) de adotar o maior momento negativo entre as duas lajes em vez de equilibra-los.

- **Altura útil**

O software TQS® considera alturas úteis diferentes na direção x e na direção y como na Figura 43. Foi considerado essas mesmas alturas úteis para o cálculo semiautomatizado.

Figura 43 – Considerações da altura útil no TQS®



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

A diferença que o programa TQS® inclui no $d'y$ é de 1 centímetro, sendo esta distância incorporada ao cobrimento, assim, em lajes o cobrimento na direção x é 2,5 cm e na direção y é 3,5cm. A tabela a seguir contém os valores utilizados para o cálculo da altura útil nos pavimentos.

Tabela 13 – Alturas mínimas consideradas no cálculo semiautomatizado

Pavimento	H _{laje}	Cobrimento (cm)	Bitola (mm)	d' (cm)	d (cm)
Cobertura, x	10	2,5	6,3	2,815	7,185
Cobertura, y	10	3,5	6,3	3,815	6,185
Superior, x	12	2,5	6,3	2,815	9,185
Superior, y	12	3,5	6,3	3,815	8,185

Fonte: Autor

- **Formulas adimensionais**

Segundo Carvalho e Figueiredo (2016) “sempre que possível, é conveniente trabalhar com formulas adimensionais, pois facilitam o emprego de diversos sistemas de unidades [...]”.

Carvalho e Figueiredo (2016, p. 142) apresenta o quadro de valores para armadura longitudinal de seções retangulares para classes de concretos até C50 e as equações (4.7) e (4.8).

$$KMD = \frac{M_d}{b_w d^2 f_{cd}} \quad (4.7)$$

$$A_s = \frac{M_d}{(KZ) d f_{yd}} \quad (4.8)$$

- **Armadura máxima**

O item 2.2.6.6 apresenta a equação (2.9) onde a área máxima de armadura no pavimento superior e cobertura é:

Tabela 14 – Área de aço máxima

Pavimento	Espessura (cm)	bw (cm)	$A_{s,min}$ (cm ² /m)
Cobertura	10	100	40,00
Superior	12	100	48,00

Fonte: Autor

- **Armadura mínima**

A armadura mínima de tração deve resistir ao momento mínimo apresentado na equação (2.7). Para isso, devemos utilizar às equações a seguir, que são encontradas comumente nas literaturas de concreto armado.

$$W_0 = \frac{b_w h^2}{6} \quad (4.9)$$

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{Msd}{0,425 b f_{cd} d^2}} \right] \quad (4.10)$$

$$R_{st} = R_{cc} = 0,68 * b * x * f_{cd} \quad (4.11)$$

$$A_s = \frac{R_{st}}{f_{yd}} \quad (4.12)$$

x – altura da linha neutra

R_{st} – tensão no aço;

R_{st} – tensão no concreto;

Como afirmado, a altura útil muda na direção x em relação a direção y, por isso, neste trabalho, a armadura mínima calculada a partir do momento fletor mínimo de tração ($M_{d,mín} = 0,8W_0f_{ctk,sup}$) varia de acordo com a direção da armação.

Para o concreto de classe C30, o $f_{ctk,sup} = 376,54 \text{ tf}/\text{m}^2$, sendo assim a tabela a seguir apresenta os valores de armadura mínima em cada direção para do pavimento.

Tabela 15 – Área de aço mínima

Pavimento	H _{laje}	W ₀ (m ³)	M _{d,mín} (tf*m)	x (cm)	R _{st} (tf)	A _{s,mín} (cm ² /m)
Cobertura, x	10	1,67E-03	0,502	0,493	7,18	1,65
Cobertura, y	10	1,67E-03	0,502	0,579	8,43	1,94
Superior, x	12	2,40E-03	0,723	0,554	8,07	1,86
Superior, y	12	2,40E-03	0,723	0,625	9,11	2,10

Fonte: Autor

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo trata de uma visualização dos resultados obtidos dos modelos estruturais exibindo somente alguns dos elementos de forma detalhada, esta mesma análise foi feita para todas as lajes do pavimento superior e para a cobertura.

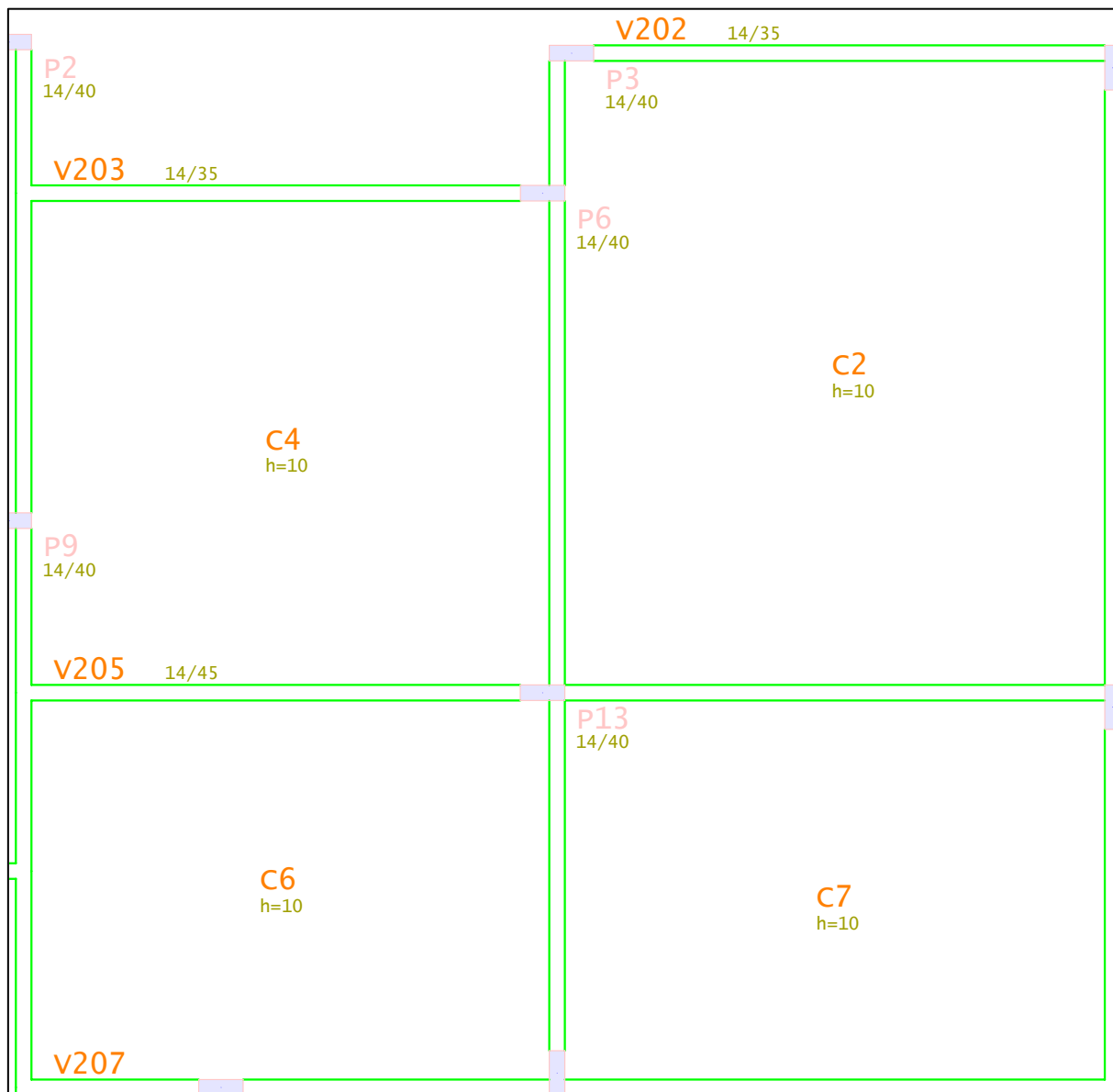
Foi escolhido aleatoriamente um painel de quatro lajes justapostas, sendo elas as lajes C2, C4, C6 e C7 (Figura 44).

Os resultados da área de aço estão apresentados na seguinte nomenclatura:

- $A_{s,x}^+$ – área de aço positiva na direção x (horizontal)
- $A_{s,y}^+$ – área de aço positiva na direção y (vertical)
- A_{s-} – área de aço negativa.

As armaduras negativas de bordas sem continuidade no *software* TQS® resultou em armadura mínima, por isso, não foi analisada essa armadura negativa.

Figura 44 – Painel de lajes C2, C4, C6 e C7



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

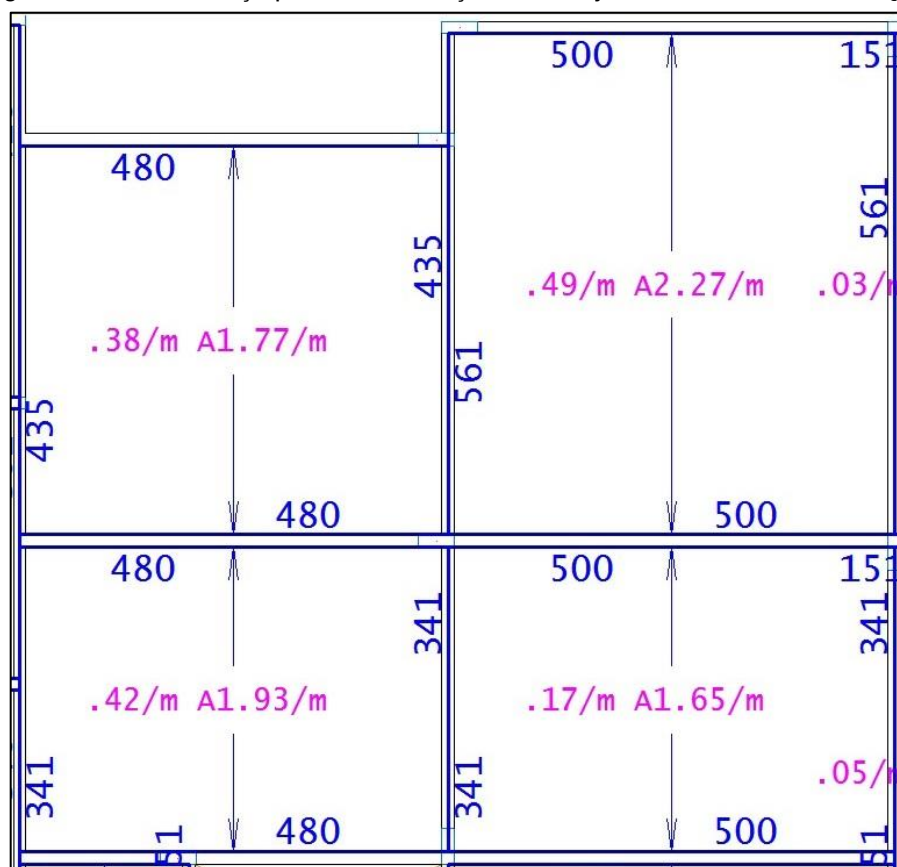
5.1 Resultados do software TQS®

Para encontrar os valores das áreas de aço para cada laje no TQS®, utilizou-se da edição rápida de armaduras no subsistema LajesTQS nos mesmos procedimentos apresentados no item 4.4.4 deste trabalho.

5.1.1 Área de aço positiva

. A Figura 45 ilustra os valores do esforço de momento fletor e área de aço positiva na direção x (horizontal) encontrado nas lajes C2, C4, C6 e C7.

Figura 45 – Área de aço positiva na direção x das lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS®



Fonte: TQS®, adaptado pelo autor

Os resultados obtidos na Tabela 16, obtidos na edição rápida de armaduras, são as áreas de aço positivas nas duas direções x e y sendo horizontal e vertical, respectivamente. Esses valores das áreas de aço encontradas para todas as lajes estão no APÊNDICE O.

Tabela 16 – Áreas de aço positivas nas lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS®

Laje	$A_{s,x}^+$ (cm²/m)	$A_{s,y}^+$ (cm²/m)
C2	2,27	2,08
C4	1,77	1,94
C6	1,93	3,79
C7	1,65	1,94

Fonte: Autor

5.1.2 Área de aço negativa

A Tabela 17 contém os valores das áreas de aço negativas, encontradas na edição rápida de armaduras, nas lajes com bordas em comum. Encontra-se no APÊNDICE P esses valores para todas as lajes.

Tabela 17 – Áreas de aço negativa entre as lajes C2, C4, C6 e C7 – TQS®

Lajes	A_s^- (cm ² /m)
C4 – C2	3,01
C6 – C7	2,02
C4 – C6	1,96
C2 – C7	2,97

Fonte: Autor

5.2 Resultados do cálculo semiautomatizado

Assim como nos resultados obtidos no *software* TQS®, no cálculo semiautomatizado é apresentado neste item os resultados dos elementos estruturais escolhidos. Os processos para o modelo estrutural de lajes resolvidas por séries estão discretizados no item 4.5 deste trabalho.

5.2.1 Área de aço positiva

A Tabela 18 contém os valores do resultado do dimensionamento das áreas de aço positivas do painel de lajes. O resumo dos valores usados nesse dimensionamento para cada laje está no APÊNDICE Q.

Tabela 18 – Áreas de aço positivas nas lajes C2, C4, C6 e C7 – Semiautomatizado

Laje	$A_{s,x}^+$ (cm ² /m)	$A_{s,y}^+$ (cm ² /m)
C2	2,31	2,30
C4	1,65	1,94
C6	1,65	1,94
C7	1,65	1,94

Fonte: Autor

5.2.2 Área de aço negativa

O APÊNDICE R contém os principais dados para dimensionamento das áreas de aço negativa nas bordas de lajes. A Tabela 19 apresenta o resultado do dimensionamento do painel de lajes apresentado neste capítulo.

Tabela 19 – Áreas de aço negativa entre as lajes C2, C4, C6 e C7 – Semiautomatizado

Lajes	A_s^- (cm ² /m)
C4 – C2	6,08
C6 – C7	3,31
C4 – C6	4,48
C2 – C7	3,66

Fonte: Autor

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A comparação dos resultados deste trabalho foi a razão entre as áreas de aço obtidas pelo cálculo semiautomatizado sobre o *software* TQS®.

$$A_{s(SEMI)}/A_{s(TQS)} \quad (6.1)$$

Onde,

$A_{s(SEMI)}$ – Área de aço obtida no método semiautomatizado

$A_{s(TQS)}$ – Área de aço obtida no *software* TQS®

6.1 Área de aço positiva

Neste capítulo as áreas de aço positivas são classificadas em direção principal e direção secundária como é apresentado a seguir:

- $A_{s,p}^+$ – área de aço positiva na menor direção da laje (armação principal);
- $A_{s,s}^+$ – área de aço positiva na maior direção da laje (armação secundária);

Para atender esta nova classificação o APÊNDICE S contém o tipo de armação (cruz ou unidirecional), resumo de todos os valores de áreas positivas para o cálculo semiautomatizado e TQS® para cada laje.

Para as áreas de aço positivas ($A_{s,p}^+$ e $A_{s,s}^+$) foi realizada a comparação para as lajes armadas em cruz e unidirecionais tanto do pavimento superior quanto para o pavimento de cobertura

• Lajes armadas em cruz

As tabelas contém os valores da comparação com a equação (6.1) dos resultados entre o cálculo semiautomatizado sobre o TQS® para lajes armadas em cruz em cada pavimento. Foi feito a média, desvio padrão e coeficiente de variação para a armação positiva principal e secundária.

Tabela 20 – Comparação de lajes armadas em cruz na cobertura

Laje	$A_{s,p} (SEMI)/A_{s,p} (TQS)$	$A_{s,s} (AS)/A_{s,s} (TQS)$
C1	0,98	0,92
C2	1,02	1,11
C4	1,00	0,93
C6	0,51	0,85
C7	1,00	1,00
C10	0,66	1,00
C11	1,00	1,00
Média	0,88	0,97
Desvio Padrão	0,19	0,07
Coefficiente de variação	21,8%	7,7%

Fonte: Autor

A seguir os valores comparados de área de aço para lajes armadas no pavimento superior:

Tabela 21 – Comparação de lajes armadas em cruz no pavimento superior

Laje	$A_{s,p} (SEMI)/A_{s,p} (TQS)$	$A_{s,s} (SEMI)/A_{s,s} (TQS)$
L1	0,73	0,91
L4	1,00	1,00
L8	0,99	1,00
L9	1,00	1,00
L10	0,90	0,89
L13	0,80	0,91
Média	0,90	0,95
Desvio Padrão	0,10	0,05
Coefficiente de Variação	11,6%	5,1%

Fonte: Autor

No pavimento de cobertura a média da área de aço principal do cálculo semiautomatizado representa 0,90 do TQS®, enquanto a área secundária representa 0,95. No pavimento superior o cálculo da área de aço principal do semiautomatizado é 0,90 do TQS® a secundária é 0,95. Nos dois pavimentos as armaduras positivas de lajes armadas em cruz resultaram em valores menores para o cálculo semiautomatizado.

- **Lajes armadas em uma direção**

Os resultados a seguir são a comparação dos valores de área de aço positiva armada em uma direção. Foi feito a média, desvio padrão e Coeficiente de Variação para a armação positiva principal e secundária.

Os valores da comparação de área positiva estão apresentados a seguir:

Tabela 22 – Comparação de lajes armadas em uma direção no pavimento de cobertura

Lajes	$A_{s,p} (SEMI)/A_{s,p} (TQS)$	$A_{s,s} (SEMI)/A_{s,s} (TQS)$
C3	1,00	1,00
C5	1,00	1,00
C8	1,00	1,00
C9	1,00	1,00
C12	1,00	1,00
Média	1,00	1,00
Desvio padrão	0,00	0,00
Coeficiente de Variação	0,0%	0,0%

Fonte: Autor

A Tabela 22 representa o fato de que todas as armaduras positivas das lajes armadas em uma direção na cobertura correspondem ao valor de armadura mínima de tração.

A seguir estão os valores das áreas de aço positivas de lajes armadas em uma direção no pavimento superior:

Tabela 23 – Comparação de lajes armadas em uma direção no pavimento de cobertura

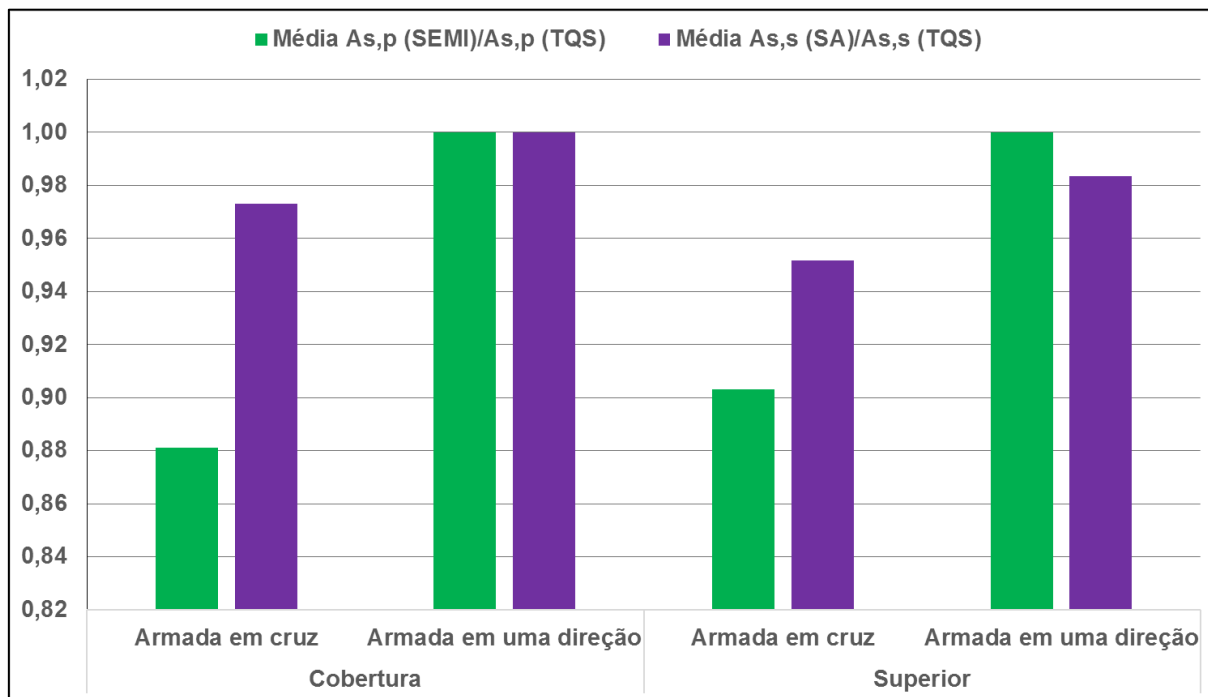
Lajes	$A_{s,p} (SEMI)/A_{s,p} (TQS)$	$A_{s,s} (SEMI)/A_{s,s} (TQS)$
L2	1,00	1,00
L3	1,00	0,87
L5	1,00	1,00
L6	1,00	1,00
L7	1,00	1,00
L11	1,00	1,00
L12	1,00	1,00
L14	1,00	1,00
Média	1,00	0,98
Desvio padrão	0,00	0,04
Coeficiente de Variação	0,0%	4,4%

Fonte: Autor

Nas lajes do pavimento apenas a laje L3 apresentou um valor no TQS[®] maior que a armadura mínima, resultado assim num desvio padrão de 0,04 e um coeficiente de variação de 4,4%.

O resumo dos valores das médias apresentadas nas tabelas acima para armaduras positivas principais e secundárias, armadas em cruz e em uma direção para cada pavimento estão organizadas no Gráfico 1 para melhor visualização.

Gráfico 1 – Resumo dos resultados da comparação armação positiva



Fonte: Autor

Os resultados destes dimensionamentos para armaduras positivas são menores no método clássico, pois, no gráfico apresentado, todos os valores das armaduras principais e secundárias da equação $A_{s (SEMI)}/A_{s (TQS)}$ foram iguais ou menores que 1.

O valor da comparação entre as lajes armadas em uma direção teve valores predominantemente iguais a armadura mínima para os dois modelos de cálculo, por isso, o resultado da equação (6.1) foi igual em 1 na maioria dos casos. Somente a laje L3 na área de aço secundária dimensionada no TQS® teve seu valor diferente de 1, sendo igual a 0,87.

6.2 Área de aço negativa

O APÊNDICE T contém os valores de área de aço negativa nos bordos das lajes em comum, a partir desses dados feita a aplicação da equação (6.1) para cada área de aço nas bordas de interação entre as lojas. A seguir está apresentado os valores comparados da área de aço no pavimento de cobertura.

Tabela 24 – Comparação da armadura negativa em lajes com bordas comuns no pavimento de cobertura

Lajes em interação	$A_{s, -(SEMI)}/A_{s, -(TQS)}$
C1-C4	1,34
C4-C2	2,02
C2-C3	0,88
C5-C6	2,01
C5-C4	1,98
C6-C7	1,64
C7-C8	1,00
C9-C10	1,00
C10-C6	2,01
C10-C11	1,00
C12-C8	1,00
C1-C5	2,04
C4-C6	2,29
C2-C7	1,23
C5-C10	1,84
C6-C11	0,87
C7-C12	1,18
C3-C8	1,00
Média	1,44
Desvio Padrão	0,49
Coeficiente de Variação	33,9%

Fonte: Autor

A seguir está a tabela de armadura negativa na borda de lajes em comum no pavimento superior:

Tabela 25 – Comparação da armadura negativa em lajes com bordas comuns no pavimento superior

Lajes em interação	$A_{s, -(SEMI)}/A_{s, -(TQS)}$
L1-L3	0,82
L4-L5	1,45
L5-L6	1,00
L6-L7	1,00
L7-L2	0,83
L13-L8	1,85
L4-L8	1,57
L8-L9	2,45
L12-L13	1,00
L13-L14	1,00
L9-L10	2,14
L10-L11	1,00
L1-L4	0,90
L1-L5	0,68
L3-L5	1,00
L2-L11	1,00
L4-L13	2,54
L5-L8	0,66
L6-L9	1,00
L7-L10	1,00
L8-L14	1,00
L9-L14	1,00
Média	1,22
Desvio Padrão	0,53
Coeficiente de variação	43,5%

Como mostrado nas tabelas acima. Na cobertura a média da comparação da área de aço negativa ($A_{s, -(SEMI)}/A_{s, -(TQS)}$) é igual a 1,44 com desvio padrão de 0,49 e

coeficiente de variação de 33,9%, enquanto que no pavimento superior é igual a 1,22 com desvio padrão de 0,53 e coeficiente de variação de 43,5%.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tendência do mercado de projetos estruturais é de cada vez mais utilizar a computação com *softwares* específicos para análise estrutural, que, representam o comportamento da estrutura com cada vez maior fidelidade a realidade em relação os modelos clássicos prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2014) que realizam aproximações para análise do comportamento estrutural.

No modelo IV do *software* TQS® com a grelha integrada ao pórtico espacial, os elementos do pavimento discretizados em grelhas (lajes e vigas) têm sua rigidez consideradas conjuntamente enquanto os pilares são os apoios do pavimento. Neste modelo de cálculo, a distribuição dos pilares afeta significativamente a análise dos deslocamentos.

Os momentos negativos nas lajes contínuas, no cálculo semiautomatizado, foram obtidos através da compatibilização dos momentos calculados individualmente, onde utilizou-se o maior valor. Enquanto que no cálculo do programa TQS® as áreas de aço correspondentes aos momentos fletores nessas posições foram obtidos a partir da faixa de distribuição de esforços mais solicitada, desconsiderando a faixa localizada adjacente ao pilar. No modelo de grelha integrado ao pórtico espacial, através das vigas, a rigidez à flexão dos elementos estruturais (viga e laje) influenciam na distribuição dos momentos fletores.

O programa TQS®, através da opção de editar as faixas de esforços, permite que possa haver redução dos esforços de momento fletor, tanto positivo quanto negativo, através das ponderações dos valores, tanto pelo valor médio quanto ponderado de acordo com critérios específicos para permissão da redistribuição dos esforços. Caso venha a ocorrer a ponderação dos esforços das faixas das grelhas, na região do vão, conseqüentemente haverá alteração dos momentos negativos nas correspondentes faixas, e isso leva a alteração dos resultados finais. No caso do presente trabalho, para fins de comparação da armadura positiva e negativa das lajes, optou-se por adotar as faixas de distribuição de esforços com maiores momentos fletores encontrado para o modelo de grelhas; o cálculo do modelo clássico da teoria das placas resulta no maior esforço de momento fletor atuante na laje.

Tanto o modelo de pavimento discretizado por grelhas, do programa TQS, quanto o modelo clássico da teoria das placas, forneceu os mesmos valores de área de aço negativas para os bordos sem continuidade, que foi armadura mínima.

Em lajes armadas em cruz no pavimento superior as áreas de aço do cálculo semiautomatizado representam 90% das áreas do TQS®, enquanto a área secundária representa 95%. No pavimento superior segue-se a mesma tendência de áreas de aço menores no cálculo semiautomatizado, sendo a relação de 90,3% para armadura principal e a secundária é 95,3%. Ou seja, o cálculo semiautomatizado apresentou, na média, valores 7,2% menores para armaduras positivas.

Os valores da armação positiva, na direção principal e secundária, nas lajes armadas em uma direção, foram majoritariamente, correspondentes a armadura mínima de tração nos dois métodos de cálculo para o pavimento superior e cobertura; apenas uma laje, no *software* TQS®, na armação secundária apresentou valor de área calculada superior a mínima.

A armadura negativa, tanto no pavimento superior como no pavimento de cobertura, apresentou valores em áreas de aço menores no TQS® do que no método semiautomatizado. Na cobertura o cálculo semiautomatizado teve valores 44% maiores em relação ao programa, e no pavimento superior os valores foram de 22%. O cálculo semiautomatizado apresentou valores, em média, 33,0% maiores para armaduras negativas comparado ao cálculo do programa TQS®.

O programa TQS® com a utilização do modelo IV ao permitir a integração entre o pavimento e o pórtico espacial, forneceu resultados de esforços de cisalhamento e flexão na região adjacente à ligação laje-pilar, e consequentemente, armadura necessária para combate a esses esforços. No cálculo semiautomatizado, pelo fato de utilizar teoria da flexão e do cisalhamento de forma a calcular isoladamente as lajes, não há considerações normativas específicas para combater esses esforços.

Percebe-se que a análise computacional que o programa TQS® permite para o cálculo de lajes maciças, no modelo IV, num edifício unifamiliar de dois pavimentos, uma análise estrutural mais complexa e com um dimensionamento mais eficiente diante da análise de esforços mais precisas.

Entretanto, os resultados deste trabalho afirmam que é possível, num edifício unifamiliar de dois pavimentos, obter pelo método de resolução por séries de lajes planas prescrito na NBR 6118 (ABNT, 2014) segurança e economicidade no cálculo de lajes, mas, o cálculo semiautomatizado demanda de mais tempo em sua execução de suas etapas.

Este trabalho contribui como uma amostra da comparação do dimensionamento em lajes desde o lançamento estrutural, pré-dimensionamento, levantamento de cargas, verificação dos estados limites até o dimensionamento das lajes no processo clássico e em lajes discretizadas por grelhas no *software* TQS®.

Cabe ao engenheiro estrutural refletir o custo benefício dos programas computacionais que promovem análises estruturais mais complexas com significativa redução no tempo de execução das etapas do projeto estrutural. Visto que, os modelos clássicos de cálculo foram validados através do seu uso por décadas pelos projetistas estruturais, além disso, são base dos modelos mais modernos de cálculo estrutural.

8 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. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. NBR 6118:2014. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

____ NBR 6120. **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, RJ, 2019.

____ NBR 8681. **Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

BASTOS, Paulo S. dos Santos. **Lajes de concreto**. Bauru, 2015. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BASTOS, Paulo S. dos Santos. **Vigas de concreto armado**. Bauru, SP, 2017a. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BASTOS, Paulo S. dos Santos. **Pilares de concreto armado**. Bauru, SP, 2017b. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BASTOS, Paulo S. dos Santos. **Torção em vigas de concreto armado**. Bauru, SP 2017c. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

BASTOS, Paulo S. dos Santos. **Flexão normal simples –vigas**. Bauru, SP 2019. Notas de aula – Universidade Estadual Paulista – UNESP.

CLAUDIO/TQS. **Manual III –Análise estrutural**. Versão 15.X. São Paulo, SP. 2015

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR6118:2014**. 4ª ed. EdUFSCAR, São Carlos, SP, 2016.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. Tradução de Arlete Simille Marques. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculos de edifícios com uso de sistemas computacionais**. Editora PINI, São Paulo, 2007.

LORIGGIO, Daniel Domingues. Reflexões sobre o projeto de estruturas de concreto armado utilizando recursos computacionais. **Revista Estrutura**, v.1, p. 62-68. Jul. 2016. Disponível em: http://abece.com.br/Revista_estrutura/Edicao1 Acesso em: 08 ago 2021.

PELIZARO, T. V. G.; JESIEL, C., **Estudo do pré-dimensionamento de lajes, vigas e pilares de concreto**. Uberlândia, 2017. Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

PINHEIRO, Libânio M., **Fundamentos do concreto e projetos de edifícios**. São Carlos, SP, 2010. Apostila. Universidade de São Paulo –USP.

VANDERLEI, R.D., **Instabilidade e Efeitos de 2ª Ordem em Edifícios**. Maringá, PR, 20??, Notas de aula – Universidade Estadual de Maringá.

APÊNDICE A – PRÉ-DIMENSIONAMENTO LAJES

Lajes	Espessura mínima (cm)	vão em x (cm)	vão em y (cm)	Tipo de armação	h1 (cm)	h2 (cm)	h estimado (cm)	h adotado (cm)
L1	10,0	475,0	430,9	Cruz	12,5	11,9	12,0	12,0
L2	10,0	150,0	580,1	Uma direção	5,0	3,9	10,0	12,0
L3	10,0	123,0	294,6	Uma direção	4,1	3,2	10,0	12,0
L4	10,0	399,9	315,0	Cruz	10,5	10,0	10,0	12,0
L5	10,0	430,0	154,6	Uma direção	14,3	11,3	12,0	12,0
L6	10,0	356,9	143,2	Uma direção	11,9	9,4	10,0	12,0
L7	10,0	500,1	143,2	Uma direção	16,7	13,2	14,0	12,0
L8	10,0	492,6	355,0	Cruz	13,0	12,3	13,0	12,0
L9	10,0	365,0	355,0	Cruz	9,6	9,1	10,0	12,0
L10	10,0	500,1	520,0	Cruz	13,2	12,5	13,0	12,0
L11	10,0	157,0	519,5	Uma direção	5,2	4,1	10,0	12,0
L12	10,0	100,0	359,6	Uma direção	3,3	2,6	10,0	12,0
L13	10,0	399,9	359,6	Cruz	10,5	10,0	10,0	12,0
L14	10,0	505,0	165,0	Uma direção	16,8	13,3	14,0	12,0
C1	10,0	474,7	430,4	Cruz	12,5	11,9	12,0	10,0
C2	10,0	500,1	575,0	Cruz	13,2	12,5	13,0	10,0
C3	10,0	150,5	575,0	Uma direção	5,0	4,0	10,0	10,0
C4	10,0	480,2	449,2	Cruz	12,6	12,0	13,0	10,0
C5	10,0	701,4	315,0	Uma direção	23,4	18,5	19,0	10,0
C6	10,0	181,9	354,2	Cruz	4,8	4,5	10,0	10,0
C7	10,0	298,6	354,5	Cruz	7,9	7,5	10,0	10,0
C8	10,0	500,1	354,6	Cruz	13,2	12,5	13,0	10,0
C9	10,0	157,5	514,0	Uma direção	5,3	4,1	10,0	10,0
C10	10,0	100,0	359,6	Uma direção	3,3	2,6	10,0	10,0
C11	10,0	714,1	359,6	Cruz	18,8	17,9	18,0	10,0
C12	10,0	190,9	165,3	Cruz	5,0	4,8	10,0	10,0
C13	10,0	500,1	165,3	Uma direção	16,7	13,2	14,0	10,0

APÊNDICE B – PRÉ-DIMENSIONAMENTO VIGAS

(continua)

Viga	Tipo de apoio	Maior Vão (cm)	Altura (h) Estimada	Largura (bw) Estimada	Altura (h) Adotada	Largura (bw) Adotada
V1	bi-apoiada	450	45	20	40	20
V2	bi-apoiada	480	50	20	40	20
V3	bi-apoiada	460	50	20	40	20
V4	bi-apoiada	470	50	20	40	20
V5	continua	290	25	12	30	20
V6	bi-apoiada	500	50	20	40	20
V7	continua	320	30	12	40	20
V8	bi-apoiada	380	40	12	40	20
V9	bi-apoiada	400	40	20	40	20
V10	continua	430	40	20	40	20
V11	continua	490	45	20	40	20
V12	continua	340	30	12	40	20
V13	continua	260	25	12	40	20
V14	bi-apoiada	160	20	12	30	20
V15	continua	190	20	12	40	20
V16	bi-apoiada	160	20	12	30	20
V17	bi-apoiada	160	20	12	30	20
V18	continua	430	40	20	40	20
V19	bi-apoiada	360	40	12	40	20
V20	continua	350	30	12	40	20
V21	bi-apoiada	130	15	12	30	20
V22	bi-apoiada	390	40	12	40	20
V23	bi-apoiada	660	70	20	40	20
V101	bi-apoiada	460	50	20	45	14
V102	continua	480	50	20	35	14
V103	bi-apoiada	460	50	20	45	14
V104	continua	450	45	20	45	14
V105	continua	500	50	20	45	14
V106	continua	510	55	20	45	14
V107	continua	380	40	12	45	14
V108	continua	490	50	20	45	14
V109	continua	490	50	20	45	14
V110	continua	360	40	12	45	14
V111	continua	340	35	12	45	14
V112	bi-apoiada	410	45	20	45	14
V113	continua	510	55	20	45	14
V114	bi-apoiada	430	45	20	45	14
V115	bi-apoiada	350	35	12	35	14
V116	continua	290	30	12	35	14
V117	bi-apoiada	160	20	12	35	14
V118	continua	350	35	12	45	14
V119	bi-apoiada	130	15	12	35	14
V120	continua	680	70	20	70	20
V121	continua	580	60	20	45	14
V201	bi-apoiada	450	45	20	35	14
V202	continua	480	40	20	45	14
V203	bi-apoiada	460	50	20	35	14
V204	continua	450	40	20	45	14

(conclusão)

Viga	Tipo de apoio	Maior Vão (cm)	Altura (h) Estimada	Largura (bw) Estimada	Altura (h) Adotada	Largura (bw) Adotada
V205	bi-apoiada	510	55	20	45	14
V206	continua	690	60	20	45	14
V207	continua	510	45	20	45	14
V208	continua	490	45	20	45	14
V209	bi-apoiada	360	40	12	35	14
V210	continua	340	30	12	45	14
V211	bi-apoiada	410	45	20	35	14
V212	continua	510	45	20	45	14
V213	bi-apoiada	160	20	12	35	14
V214	bi-apoiada	350	35	12	35	14
V215	continua	450	40	20	45	14
V216	continua	550	50	20	45	14
V217	continua	580	50	20	45	14

APÊNDICE C – CARGAS NOS PILARES POR ÁREA DE INFLUÊNCIA

Pilar	Posição do Pilar	Cobertura	Dados		Superior	Dados		Carga Final do Pilar	
		Existe	A. Influência (m²)	Carga (tf)	Existe	A. Influência (m²)	Carga (tf)	Carga Final (tf)	Carga Final * β (tf)
P1	Canto	Sim	5,24	6,29	Sim	5,24	6,29	12,6	31,4
P2	Canto	Sim	7,24	8,69	Sim	7,24	8,69	17,4	43,4
P3	Canto	Sim	1,91	2,29	Não	0	0,00	2,3	5,7
P4	Extremidade	Sim	9,21	11,05	Sim	1,55	1,86	12,9	28,4
P5	Canto	Sim	2,47	2,96	Sim	1,76	2,11	5,1	12,7
P6	Extremidade	Sim	11,06	13,27	Não	0	0,00	13,3	29,2
P7	Canto	Sim	2,04	2,45	Sim	2,04	2,45	4,9	12,2
P8	Extremidade	Sim	14,44	17,33	Sim	8,46	10,15	27,5	60,5
P9	Extremidade	Sim	25,05	30,06	Sim	11,26	13,51	43,6	95,9
P10	Extremidade	Não	0	0,00	Sim	16,88	20,26	20,3	44,6
P11	Extremidade	Não	0	0,00	Sim	10,97	13,16	13,2	29,0
P12	Interno	Não	0	0,00	Sim	12,57	15,08	15,1	27,2
P13	Interno	Sim	16,84	20,21	Sim	17,42	20,90	41,1	74,0
P14	Interno	Sim	7,31	8,77	Sim	7,31	8,77	17,5	31,6
P15	Extremidade	Sim	11,26	13,51	Sim	11,3	13,56	27,1	59,6
P16	Extremidade	Sim	9,8	11,76	Sim	9,8	11,76	23,5	51,7
P17	Extremidade	Sim	5,29	6,35	Sim	5,29	6,35	12,7	27,9
P18	Extremidade	Sim	6,33	7,60	Sim	12,69	15,23	22,8	50,2
P19	Extremidade	Sim	3,19	3,83	Sim	3,19	3,83	7,7	16,8
P20	Extremidade	Sim	2,23	2,68	Sim	14,54	17,45	20,1	44,3
P21	Extremidade	Sim	8,76	10,51	Sim	11,44	13,73	24,2	53,3
P22	Canto	Sim	2,35	2,82	Sim	1,97	2,36	5,2	13,0
PN1	Interno	Sim	22,87	27,44	Não	0	0,00	27,4	49,4
PN2	Interno	Sim	13,46	16,15	Não	0	0,00	16,2	29,1

APÊNDICE D – PRÉ-DIMENSIONAMENTO PILARES

Pilar	Final (tf)	Ac cal (cm²)	Ac mín (cm²)	bw (cm)	Altura individual (cm)	Altura Adotada (cm)
P1	31,4	118,1	360,0	14,0	35	40
P2	43,4	163,2	360,0	14,0	35	40
P3	5,7	21,5	360,0	14,0	35	40
P4	28,4	106,7	360,0	14,0	35	40
P5	12,7	47,7	360,0	14,0	35	40
P6	29,2	109,7	360,0	14,0	35	40
P7	12,2	46,0	360,0	14,0	35	40
P8	60,5	227,2	360,0	14,0	35	40
P9	95,9	360,2	360,2	14,0	35	40
P10	44,6	167,4	360,0	14,0	35	40
P11	29,0	108,8	360,0	14,0	35	40
P12	27,2	102,0	360,0	14,0	35	40
P13	74,0	278,1	360,0	14,0	35	40
P14	31,6	118,7	360,0	14,0	35	40
P15	59,6	223,8	360,0	14,0	35	40
P16	51,7	194,4	360,0	14,0	35	40
P17	27,9	104,9	360,0	14,0	35	40
P18	50,2	188,7	360,0	14,0	35	40
P19	16,8	63,3	360,0	14,0	35	40
PN1	49,4	185,6	360,0	14,0	35	40
PN2	29,1	109,2	360,0	15,0	30	40

APÊNDICE E – CARGAS LINEARES DE PAREDE

Nome pare	Pavimento	Espessura Pare (m)	Peso alvenaria com revestimento (tf/m³)	Pé direito estrutural (m)	Altura H –viga ou laje (m)	Altura H parede (m)	Peso Linear (tf/m)	Identificação
S1	Superior	0,15	1,46	2,95	0,10	2,85	0,63	Sob laje
S2	Superior	0,15	1,46	0,20	0,00	0,2	0,05	Corredor
S3	Superior	0,15	1,46	1,10	0,38	0,72	0,16	Sacada sobre garagem
S4	Superior	0,15	1,46	1,10	0,00	1,1	0,25	Sacada L4
C1	Cobertura	0,15	1,46	1,31	0,30	1,01	0,23	Platibanda
C2	Cobertura	0,15	1,46	1,31	0,40	0,91	0,20	Platibanda
C3	Cobertura	0,15	1,46	1,31	0,00	1,31	0,29	Platibanda – marquise
C3	Cobertura	0,15	1,46	2,66	0,00	2,66	0,59	Barilete

APÊNDICE F – CARGAS NAS LAJES DO PAVIMENTO DE COBERTURA

LAJE	Peso-próprio (tf/m ²)	Paredes (tf/m ²)	Contrapiso (tf/m ²)	Impermea- bilização (tf/m ²)	Caixas d'agua (tf/m ²)	Forro (tf/m ²)	Telhado (tf/m ²)	Cargas Permanentes usados no TQS (tf/m ²)	Cargas Permanentes Semiautomatizado (tf/m ²)	Cargas Variáveis (tf/m ²)	Carregamento Majorado usado no LajesWIN (tf/m ²)
C1	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C2	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C3	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C4	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C5	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C6	0,25	0,12	0,09	0,01	0,06	0,05	0,04	0,23	0,61	0,10	0,99
C7	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C8	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C9	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C10	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C11	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60
C12	0,25					0,05	0,04	0,08	0,33	0,10	0,60

APÊNDICE G – CARGAS NAS LAJES DO PAVIMENTO SUPERIOR

Laje (tf/m ²)	Peso Próprio (tf/m ²)	Paredes (tf/m ²)	Forro (tf/m ²)	Revestimento de Piso (tf/m ²)	Cargas Permanentes usados no TQS (tf/m ²)	Cargas Permanentes Semiautomatizado (tf/m ²)	Carga Variável (tf/m ²)	Carregamento Majorado usado no LajesWIN (tf/m ²)
L1	0,30	0,14	0,05	0,14	0,19	0,62	0,15	0,77
L2	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,25	0,74
L3	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,15	0,64
L4	0,30	0,16	0,05	0,14	0,19	0,64	0,15	0,79
L5	0,30	0,27	0,05	0,14	0,19	0,76	0,15	0,91
L6	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,15	0,64
L7	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,15	0,64
L8	0,30	0,13	0,05	0,14	0,19	0,61	0,15	0,76
L9	0,30	0,17	0,05	0,14	0,19	0,66	0,15	0,81
L10	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,15	0,64
L11	0,30		0,05	0,14	0,19	0,49	0,25	0,74
L12	0,30	0,18	0,05	0,14	0,19	0,66	0,15	0,81
L13	0,30	0,23	0,05	0,14	0,19	0,72	0,15	0,87
L14	0,30	0,25	0,05	0,14	0,19	0,74	0,15	0,89

APÊNDICE H – ANÁLISE DO DESLOCAMENTO EM LAJES

Nome Laje	Menor vão (cm)	Flecha permitida (cm)	Flecha obtida TQS (cm)	Terá contraflecha?	Flecha com contraflecha se for necessário	Verificação
L1	430,90	1,72	1,19	Não	1,19	Passou
L2	150,00	0,60	0,85	Sim	0,42	Passou
L3	123,00	0,49	0,48	Não	0,48	Passou
L4	315,00	1,26	0,42	Não	0,42	Passou
L5	154,60	0,62	0,07	Não	0,07	Passou
L6	143,20	0,57	0,20	Não	0,20	Passou
L7	143,20	0,57	0,51	Não	0,51	Passou
L8	355,00	1,42	0,74	Não	0,74	Passou
L9	355,00	1,42	0,35	Não	0,35	Passou
L10	500,10	2,00	1,37	Não	1,37	Passou
L11	157,00	0,63	0,94	Sim	0,49	Passou
L12	100,00	0,40	0,13	Não	0,13	Passou
L13	359,60	1,44	0,66	Não	0,66	Passou
L14	165,00	0,66	0,50	Não	0,50	Passou
C1	430,40	1,72	1,06	Não	1,06	Passou
C2	500,10	2,00	1,36	Não	1,36	Passou
C3	150,50	0,60	0,61	Sim	0,18	Passou
C4	449,20	1,80	0,81	Não	0,81	Passou
C5	315,00	1,26	0,85	Não	0,85	Passou
C6	354,20	1,42	1,25	Não	1,25	Passou
C7	354,60	1,42	0,52	Não	0,52	Passou
C8	150,50	0,60	0,51	Não	0,51	Passou
C9	100,00	0,40	0,13	Não	0,13	Passou
C10	359,60	1,44	0,92	Não	0,92	Passou
C11	165,30	0,66	0,52	Não	0,52	Passou
C12	165,30	0,66	0,46	Não	0,46	Passou

(conclusão)

[illegible]

APÊNDICE J – ANÁLISE DOS ESFORÇOS EM LAJES

Nome Laje	h (cm)	d' est (cm)	d est (cm)	Mk (tf/m)	Xk (tf/m)	d mín (cm)	Verificação
L1	12	4,75	7,25	0,32	0,35	3,02	Passou
L2	12	4,75	7,25	0,28	0,35	3,02	Passou
L3	12	4,75	7,25	0,25	0,35	3,02	Passou
L4	12	4,75	7,25	0,14	0,42	3,31	Passou
L5	12	4,75	7,25	0,28	0,42	3,31	Passou
L6	12	4,75	7,25	0,01	0,17	2,11	Passou
L7	12	4,75	7,25	0,05	0,15	1,98	Passou
L8	12	4,75	7,25	0,23	0,32	2,89	Passou
L9	12	4,75	7,25	0,18	0,27	2,66	Passou
L10	12	4,75	7,25	0,24	0,17	2,50	Passou
L11	12	4,75	7,25	0,11	0,17	2,11	Passou
L12	12	4,75	7,25	0,06	0,17	2,11	Passou
L13	12	4,75	7,25	0,28	0,31	2,85	Passou
L14	12	4,75	7,25	0,11	0,17	2,11	Passou
C1	10	4,75	5,25	0,13	0,22	2,40	Passou
C2	10	4,75	5,25	0,16	0,21	2,34	Passou
C3	10	4,75	5,25	0,04	0,21	2,34	Passou
C4	10	4,75	5,25	0,13	0,21	2,34	Passou
C5	10	4,75	5,25	0,08	0,13	1,84	Passou
C6	10	4,75	5,25	0,22	0,24	2,50	Passou
C7	10	4,75	5,25	0,08	0,18	2,17	Passou
C8	10	4,75	5,25	0,08	0,1	1,62	Passou
C9	10	4,75	5,25	0,04	0,06	1,25	Passou
C10	10	4,75	5,25	0,18	0,19	2,23	Passou
C11	10	4,75	5,25	0,02	0,24	2,50	Passou
C12	10	4,75	5,25	0,03	0,06	1,25	Passou

APÊNDICE K – ANÁLISE DOS ESFORÇOS EM VIGAS

(continua)

Nome Laje	bw (cm)	h (cm)	d' est (cm)	d est (cm)	Mk + (tf/m)	Mk –(tf/m)	d mín (cm)	Verificação
V101	14	45	6,4	38,6	0,63	3,66	26,14	Passou
V102	14	35	6,4	28,6	0,95	1,36	15,93	Passou
V103	14	45	6,4	38,6	1,45	2,62	22,11	Passou
V104	14	45	6,4	38,6	0,94	3,29	24,78	Passou
V105	14	45	6,4	38,6	0,59	1,21	15,03	Passou
V106	14	45	6,4	38,6	2,23	5,87	33,10	Passou
V107	14	45	6,4	38,6	3,36	2,84	25,04	Passou
V108	14	45	6,4	38,6	3,53	4,99	30,52	Passou
V109	14	45	6,4	38,6	2,08	3,02	23,74	Passou
V110	14	45	6,4	38,6	1,07	0,01	14,13	Passou
V111	14	45	6,4	38,6	2,41	4,08	27,60	Passou
V112	14	45	6,4	38,6	2,73	3,67	26,17	Passou
V113	20	70	6,4	63,6	11,04	13,08	41,34	Passou
V114	14	45	6,4	38,6	5,63	0,99	32,42	Passou
V115	14	35	6,4	28,6	2,23	0,45	20,40	Passou
V116	14	35	6,4	28,6	0,31	0,72	11,59	Passou
V117	14	35	6,4	28,6	0,44	0,45	9,17	Passou
V118	14	45	6,4	38,6	2,55	3,53	25,67	Passou
V119	14	35	6,4	28,6	0,42	0,53	9,95	Passou
V120	20	70	6,4	63,6	22,41	21,09	54,11	Passou
V121	14	45	6,4	38,6	3,52	0,89	25,63	Passou
V201	14	35	6,4	28,6	1,13	1,68	17,71	Passou
V202	14	45	6,4	38,6	1,27	1,69	17,76	Passou
V203	14	35	6,4	28,6	0,8	1,44	16,40	Passou
V204	14	45	6,4	38,6	1,47	2,25	20,49	Passou
V205	14	45	6,4	38,6	2,81	5,57	32,24	Passou
V206	14	45	6,4	38,6	0,94	3,37	25,08	Passou
V207	14	45	6,4	38,6	1,33	4,42	28,72	Passou
V208	14	45	6,4	38,6	0,84	1,28	15,46	Passou
V209	14	35	6,4	28,6	0,48	0,01	9,47	Passou
V210	14	45	6,4	38,6	1,06	1,68	17,71	Passou

(conclusão)

Nome Laje	bw (cm)	h (cm)	d' est (cm)	d est (cm)	Mk + (tf/m)	Mk –(tf/m)	d mín (cm)	Verificação
V211	14	35	6,4	28,6	1,05	1,6	17,28	Passou
V212	14	45	6,4	38,6	3,22	5,25	31,30	Passou
V213	14	35	6,4	28,6	0	0,22	6,41	Passou
V214	14	35	6,4	28,6	1,68	2,57	21,90	Passou
V215	14	45	6,4	38,6	2,47	4,47	28,89	Passou
V216	14	45	6,4	38,6	1,39	0,63	16,11	Passou

APÊNDICE L – VINCULAÇÕES DAS LAJES NO EIXO X

Lajes em interação no eixo x		Vãos (cm)		Tipo de apoio em função do vão		Inserir dados laje com parte apoiada e engastada				Tipo de vinculação da Borda das lajes	
Coluna 1	Coluna 2	L (coluna 1)	L (coluna 2)			Laje	ly (total da borda)	ly1 (engast.)	Apoio		
L1	L3	475	123	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
L4	L5	399,9	430	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L5	L6	430	356,9	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L6	L7	356,9	500,1	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L7	L2	500,1	150	Ap	Eng	L2	580,1	143,2	Ap	Ap	Ap
L4	L8	399,9	492,6	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L13	L8	399,9	492,6	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L8	L9	492,6	365	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L12	L13	100	399,9	Eng	Ap		-		-	Eng	Ap
L13	L14	399,9	505	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L9	L10	365	500,1	Eng	Eng	L10	520	355	Eng	Eng	Eng
L10	L11	500,1	157	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C1	C4	474,7	480,2	Eng	Eng	C1	430,4	294,6	Eng	Eng	Eng
C4	C2	480,2	500,1	Eng	Eng	C2	575	449,2	Eng	Eng	Eng
C2	C3	500,1	150,5	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C5	C4	701,4	480,2	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C5	C6	701,4	480,6	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C6	C7	480,6	500,1	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C7	C8	500,1	150,5	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C9	C10	100	714,1	Eng	Ap		-		-	Eng	Ap
C10	C6	714,1	480,6	Eng	Eng	C10	359,6	194,6	Ap	Ap	Eng
C10	C11	714,1	190,9	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C12	C8	500,1	150,5	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng

APÊNDICE M – VINCULAÇÃO DAS LAJES NO EIXO Y

Lajes em interação no eixo y		Vãos (cm)		Tipo de apoio em função do vão		Inserir dados laje com parte apoiada e engastada				Tipo de vinculação da Borda das lajes	
Coluna 1	Coluna 2	L (coluna 1)	L (coluna 2)			Laje	lx (total da borda)	lx2 (apoiada)	Apoio		
L1	L4	430,9	315	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L1	L5	430,9	154,6	Ap	Eng	L1	475	159,9	Ap	Ap	Eng
L3	L5	294,6	154,6	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
L2	L11	580,1	519,5	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L4	L13	315	359,6	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
L5	L8	154,6	355	Eng	Ap		-		-	Eng	Ap
L6	L9	143,2	355	Eng	Ap		-		-	Eng	Ap
L7	L10	143,2	520	Eng	Ap		-		-	Eng	Ap
L8	L14	355	165	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
L9	L14	355	165	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C1	C5	430,4	315	Eng	Eng	C5	701,4	430,4	Ap	Eng	Ap
C4	C6	449,2	354,2	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C2	C7	575	354,6	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C3	C8	575	514	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C5	C10	315	359,6	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng
C6	C11	354,2	165,3	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C7	C12	354,6	165,3	Ap	Eng		-		-	Ap	Eng
C3	C8	575	514	Eng	Eng		-		-	Eng	Eng

APÊNDICE N – ESFORÇOS DE MOMENTO FLETOR NAS LAJES

Laje	h (cm)	Y	X	Armação	Qd (tf)	My (tf*m)	Mx (tf*m)	Xy (tf*m)	Xx (tf*m)
L1	12	4,31	4,75	cruz	1,081	0,90	0,72	1,85	0,00
L2	12	5,80	1,50	Uma direção	1,029	0,06	0,21	0,00	0,00
L3	12	2,95	1,23	Uma direção	0,889	0,01	0,07	0,00	0,12
L4	12	3,15	4,00	cruz	1,110	0,40	0,24	1,01	0,86
L5	12	1,55	4,30	Uma direção	1,269	0,08	0,03	0,17	0,12
L6	12	1,43	3,57	Uma direção	0,889	0,06	0,03	0,13	0,10
L7	12	1,43	5,00	Uma direção	0,889	0,09	0,03	0,16	0,11
L8	12	3,55	4,93	cruz	1,068	0,53	0,43	0,00	1,34
L9	12	3,55	3,65	cruz	1,131	0,59	0,45	0,00	1,42
L10	12	5,20	5,00	cruz	0,889	0,52	0,75	0,00	1,95
L11	12	5,20	1,57	Uma direção	1,029	0,04	0,13	0,15	0,23
L12	12	3,60	1,00	Uma direção	1,134	0,01	0,06	0,00	0,10
L13	12	3,60	4,00	cruz	1,215	0,58	0,35	1,46	0,00
L14	12	1,65	5,05	Uma direção	1,245	0,17	0,05	0,30	0,20
C1	10	4,30	4,75	cruz	0,602	0,32	0,26	0,88	0,82
C2	10	5,75	5,00	cruz	0,602	0,32	0,58	0,00	1,43
C3	10	5,75	1,51	Uma direção	0,602	0,02	0,07	0,08	0,12
C4	10	4,49	4,80	cruz	0,602	0,25	0,28	0,75	0,80
C5	10	3,15	7,01	Uma direção	0,602	0,30	0,08	0,53	0,35
C6	10	3,54	4,81	cruz	0,849	0,36	0,22	0,92	0,81
C7	10	3,55	5,00	cruz	0,602	0,41	0,25	0,76	0,60
C8	10	5,14	1,51	Uma direção	0,602	0,02	0,07	0,08	0,12
C9	10	3,60	1,00	Uma direção	0,602	0,01	0,03	0,00	0,05
C10	10	3,60	7,14	cruz	0,602	0,45	0,13	0,94	0,00
C11	10	1,65	1,91	cruz	0,602	0,05	0,04	0,14	0,12
C12	10	1,65	5,00	Uma direção	0,602	0,09	0,02	0,15	0,00

APÊNDICE O – ÁREA DE AÇO POSITIVA NO SOFTWARE TQS®

TQS –Armadura positiva (cm²/m)		
Laje	As+,x (cm²/m)	As+,y (cm²/m)
L1	2,46	3,84
L2	1,86	2,10
L3	1,86	2,42
L4	1,86	2,10
L5	1,86	2,10
L6	1,86	2,10
L7	1,86	2,10
L8	1,86	2,13
L9	1,86	2,10
L10	2,58	2,60
L11	1,86	2,10
L12	1,86	2,10
L13	2,05	2,64
L14	1,86	2,10
C1	1,80	1,98
C2	2,27	2,08
C3	1,65	1,94
C4	1,77	1,94
C5	1,65	1,94
C6	1,93	3,79
C7	1,65	1,94
C8	1,65	1,94
C9	1,65	1,94
C10	1,65	2,95
C11	1,65	1,94
C12	1,65	1,94

APÊNDICE P – ÁREA DE AÇO NEGATIVA NO SOFTWARE TQS®

TQS –Armadura negativa (cm²/m)		
Lajes		As-(cm²/m)
L1	L3	2,27
L4	L5	1,86
L5	L6	1,86
L6	L7	1,86
L7	L2	2,25
L13	L8	2,31
L4	L8	2,72
L8	L9	1,86
L12	L13	1,86
L13	L14	1,86
L9	L10	2,99
L10	L11	1,86
L1	L4	4,00
L1	L5	3,07
L3	L5	2,10
L2	L11	2,10
L4	L13	2,10
L5	L8	3,19
L6	L9	2,10
L7	L10	2,10
L8	L14	2,10
L9	L14	2,10
C1	C4	2,50
C4	C2	3,01
C2	C3	1,87
C5	C6	1,65
C5	C4	1,65
C6	C7	2,02
C7	C8	1,65
C9	C10	1,65
C10	C6	1,65
C10	C11	1,65
C12	C8	1,65
C1	C5	2,09
C4	C6	1,96
C2	C7	2,97
C3	C8	1,94
C5	C10	2,49
C6	C11	2,23
C7	C12	1,65
C3	C8	1,94

APÊNDICE Q – DIMENSIONAMENTO ÁREA DE AÇO POSITIVA

Nome Laje	h (cm)	dx (cm)	dy (cm)	M _{x,d} (tf*m/m)	M _{y,d} (tf*m/m)	KMD _x	KMD _y	KZ _x	KZ _y	As _{+,x} (cm ² /m)	As _{+,y} (cm ² /m)
L1	12	9,185	8,185	0,72	0,90	0,0300	0,0450	0,9820	0,9728	2,24	2,82
L2	12	9,185	8,185	0,21	0,06	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L3	12	9,185	8,185	0,07	0,01	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L4	12	9,185	8,185	0,24	0,40	0,0100	0,0200	0,9941	0,9881	1,86	2,10
L5	12	9,185	8,185	0,03	0,08	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L6	12	9,185	8,185	0,03	0,06	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L7	12	9,185	8,185	0,03	0,09	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L8	12	9,185	8,185	0,43	0,53	0,0175	0,0275	0,9896	0,9836	1,86	2,10
L9	12	9,185	8,185	0,45	0,59	0,0200	0,0300	0,9881	0,9820	1,86	2,10
L10	12	9,185	8,185	0,75	0,52	0,0300	0,0275	0,9820	0,9836	2,33	2,32
L11	12	9,185	8,185	0,13	0,04	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L12	12	9,185	8,185	0,06	0,01	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
L13	12	9,185	8,185	0,35	0,58	0,0150	0,0300	0,9911	0,9820	1,86	2,10
L14	12	9,185	8,185	0,05	0,17	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,86	2,10
C1	10	7,185	6,185	0,26	0,32	0,0175	0,0300	0,9896	0,9820	1,65	1,94
C2	10	7,185	6,185	0,58	0,32	0,0375	0,0300	0,9774	0,9820	2,31	2,30
C3	10	7,185	6,185	0,07	0,02	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,65	1,94
C4	10	7,185	6,185	0,28	0,25	0,0200	0,0225	0,9881	0,9866	1,65	1,94
C5	10	7,185	6,185	0,08	0,30	0,0100	0,0275	0,9941	0,9836	1,65	1,94
C6	10	7,185	6,185	0,22	0,36	0,0150	0,0325	0,9911	0,9805	1,65	1,94
C7	10	7,185	6,185	0,25	0,41	0,0175	0,0375	0,9896	0,9774	1,65	1,94
C8	10	7,185	6,185	0,07	0,02	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,65	1,94
C9	10	7,185	6,185	0,03	0,01	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,65	1,94
C10	10	7,185	6,185	0,13	0,45	0,0100	0,0400	0,9941	0,9759	1,65	1,94
C11	10	7,185	6,185	0,04	0,05	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,65	1,94
C12	10	7,185	6,185	0,02	0,09	0,0100	0,0100	0,9941	0,9941	1,65	1,94

APÊNDICE R – DIMENSIONAMENTO ÁREA DE AÇO NEGATIVA

(continua)

Lajes		h (cm)	d est,s (cm)	Md (tf*m/m)	KMD	KZ	As-(cm²/m)
L1	L3	12,00	9,185	0,12	0,0100	0,9941	1,86
L4	L5	12,00	9,185	0,86	0,0500	0,9697	2,70
L5	L6	12,00	9,185	0,12	0,0100	0,9941	1,86
L6	L7	12,00	9,185	0,11	0,0100	0,9941	1,86
L7	L2	12,00	9,185	0,00	0,0100	0,9941	1,86
L13	L8	12,00	9,185	1,34	0,0750	0,9537	4,28
L4	L8	12,00	9,185	1,34	0,0750	0,9537	4,28
L8	L9	12,00	9,185	1,42	0,0800	0,9505	4,55
L12	L13	12,00	9,185	0,10	0,0100	0,9941	1,86
L13	L14	12,00	9,185	0,20	0,0125	0,9926	1,86
L9	L10	12,00	9,185	1,95	0,1100	0,9305	6,39
L10	L11	12,00	9,185	0,23	0,0150	0,9911	1,86
L1	L4	12,00	8,185	1,01	0,0725	0,9554	3,62
L1	L5	12,00	8,185	0,17	0,0125	0,9926	2,10
L3	L5	12,00	8,185	0,17	0,0125	0,9926	2,10
L2	L11	12,00	8,185	0,15	0,0125	0,9926	2,10
L4	L13	12,00	8,185	1,46	0,1025	0,9356	5,34
L5	L8	12,00	8,185	0,17	0,0125	0,9926	2,10
L6	L9	12,00	8,185	0,13	0,0100	0,9941	2,10
L7	L10	12,00	8,185	0,16	0,0125	0,9926	2,10
L8	L14	12,00	8,185	0,30	0,0225	0,9866	2,10
L9	L14	12,00	8,185	0,30	0,0225	0,9866	2,10
C1	C4	10,00	7,185	0,82	0,0750	0,9537	3,35
C4	C2	10,00	7,185	1,43	0,1300	0,9166	6,08
C2	C3	10,00	7,185	0,12	0,0125	0,9926	1,65
C5	C6	10,00	7,185	0,81	0,0750	0,9537	3,31
C5	C4	10,00	7,185	0,80	0,0725	0,9554	3,26

(conclusão)

Lajes		h (cm)	d est,s (cm)	Md (tf*m/m)	KMD	KZ	As-(cm ² /m)
C6	C7	10,00	7,185	0,81	0,0750	0,9537	3,31
C7	C8	10,00	7,185	0,12	0,0125	0,9926	1,65
C9	C10	10,00	7,185	0,05	0,0100	0,9941	1,65
C10	C6	10,00	7,185	0,81	0,0750	0,9537	3,31
C10	C11	10,00	7,185	0,12	0,0125	0,9926	1,65
C12	C8	10,00	7,185	0,12	0,0125	0,9926	1,65
C1	C5	10,00	6,185	0,88	0,1075	0,9322	4,27
C4	C6	10,00	6,185	0,92	0,1125	0,9287	4,48
C2	C7	10,00	6,185	0,76	0,0950	0,9406	3,66
C3	C8	10,00	6,185	0,08	0,0100	0,9941	1,94
C5	C10	10,00	6,185	0,94	0,1150	0,9270	4,59
C6	C11	10,00	6,185	0,14	0,0175	0,9896	1,94
C7	C12	10,00	6,185	0,15	0,0200	0,9881	1,94
C3	C8	10,00	6,185	0,08	0,0100	0,9941	1,94

APÊNDICE S – ÁREAS DE AÇO POSITIVAS TQS® E SEMIAUTOMATIZADO

Nome Laje	Armação	As, p SEMI (cm²)	As, s SEMI (cm²)	As, p TQS® (cm²)	As, s TQS® (cm²)
L1	cruz	2,82	2,24	3,84	2,46
L2	Uma direção	1,86	2,10	1,86	2,10
L3	Uma direção	1,86	2,10	1,86	2,42
L4	cruz	2,10	1,86	2,10	1,86
L5	Uma direção	2,10	1,86	2,10	1,86
L6	Uma direção	2,10	1,86	2,10	1,86
L7	Uma direção	2,10	1,86	2,10	1,86
L8	cruz	2,10	1,86	2,13	1,86
L9	cruz	2,10	1,86	2,10	1,86
L10	cruz	2,33	2,32	2,58	2,60
L11	Uma direção	1,86	2,10	1,86	2,10
L12	Uma direção	1,86	2,10	1,86	2,10
L13	cruz	2,10	1,86	2,64	2,05
L14	Uma direção	2,10	1,86	2,10	1,86
C1	cruz	1,94	1,65	1,98	1,80
C2	cruz	2,31	2,30	2,27	2,08
C3	Uma direção	1,65	1,94	1,65	1,94
C4	cruz	1,94	1,65	1,94	1,77
C5	Uma direção	1,94	1,65	1,94	1,65
C6	cruz	1,94	1,65	3,79	1,93
C7	cruz	1,94	1,65	1,94	1,65
C8	Uma direção	1,65	1,94	1,65	1,94
C9	Uma direção	1,65	1,94	1,65	1,94
C10	cruz	1,94	1,65	2,95	1,65
C11	cruz	1,94	1,65	1,94	1,65
C12	Uma direção	1,94	1,65	1,94	1,65

APÊNDICE T – ÁREAS DE AÇO NEGATIVAS TQS® E SEMIAUTOMATIZADO

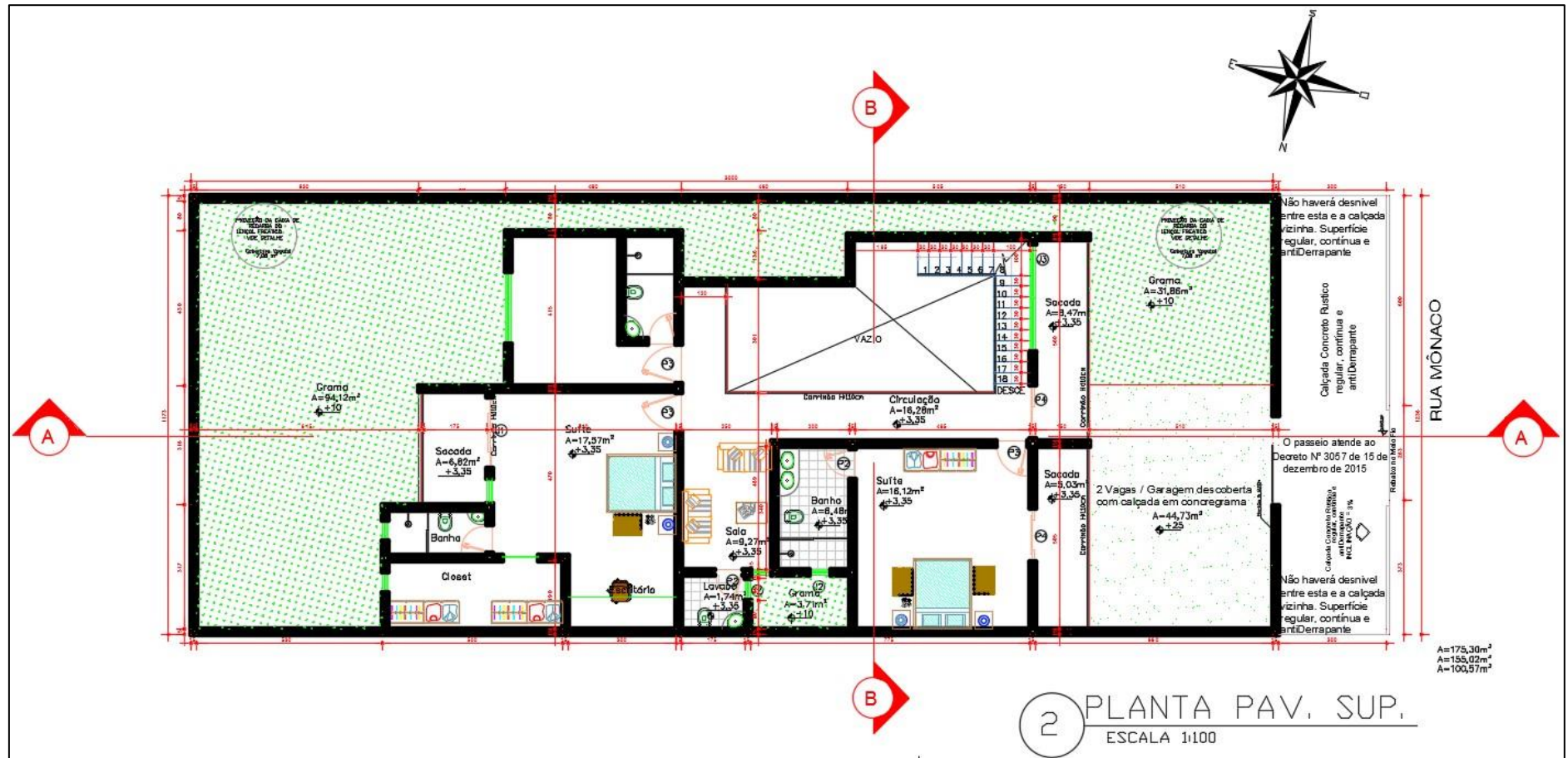
(continua)

Laje		As TQS (cm²/m)	As SEMI (cm²/m)
L1	L3	2,27	1,86
L4	L5	1,86	2,70
L5	L6	1,86	1,86
L6	L7	1,86	1,86
L7	L2	2,25	1,86
L13	L8	2,31	4,28
L4	L8	2,72	4,28
L8	L9	1,86	4,55
L12	L13	1,86	1,86
L13	L14	1,86	1,86
L9	L10	2,99	6,39
L10	L11	1,86	1,86
L1	L4	4,00	3,62
L1	L5	3,07	2,10
L3	L5	2,10	2,10
L2	L11	2,10	2,10
L4	L13	2,10	5,34
L5	L8	3,19	2,10
L6	L9	2,10	2,10
L7	L10	2,10	2,10
L8	L14	2,10	2,10
L9	L14	2,10	2,10
C1	C4	2,50	3,35
C4	C2	3,01	6,08
C2	C3	1,87	1,65
C5	C6	1,65	3,31
C5	C4	1,65	3,26

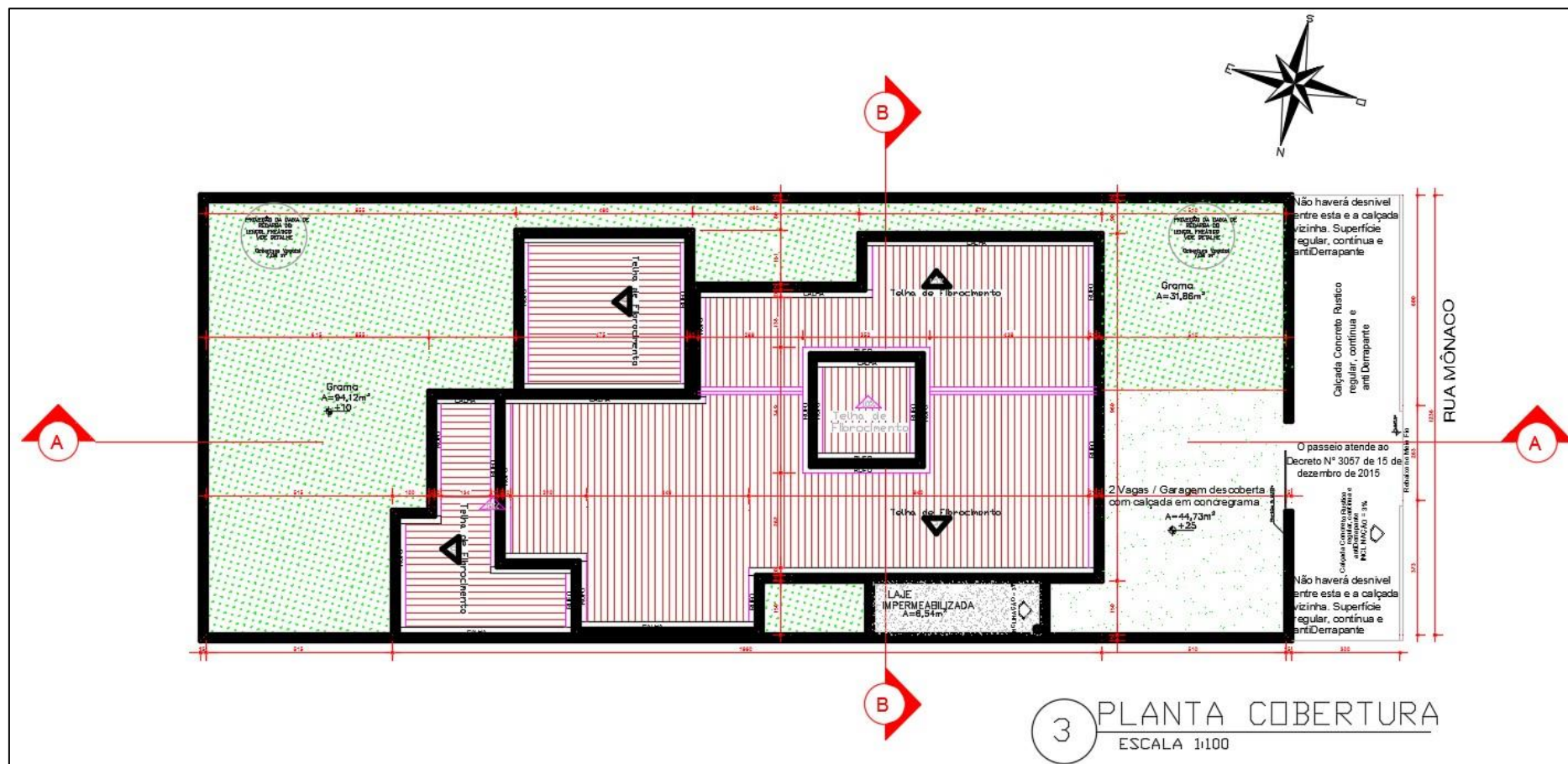
(conclusão)

Laje		As TQS (cm ² /m)	As SEMI (cm ² /m)
C6	C7	2,02	3,31
C7	C8	1,65	1,65
C9	C10	1,65	1,65
C10	C6	1,65	3,31
C10	C11	1,65	1,65
C12	C8	1,65	1,65
C1	C5	2,09	4,27
C4	C6	1,96	4,48
C2	C7	2,97	3,66
C3	C8	1,94	1,94
C5	C10	2,49	4,59
C6	C11	2,23	1,94
C7	C12	1,65	1,94
C3	C8	1,94	1,94

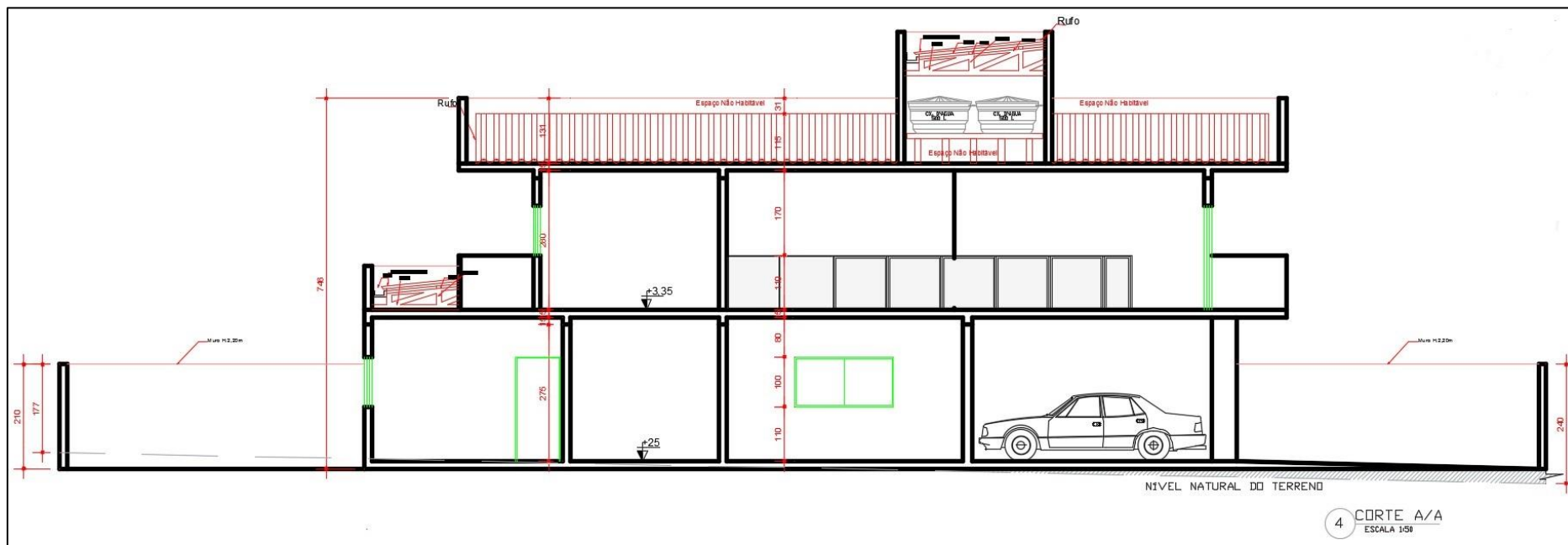
ANEXO A- PLANTA BAIXA DO TÉRREO PROJETO ARQUITETÔNICO



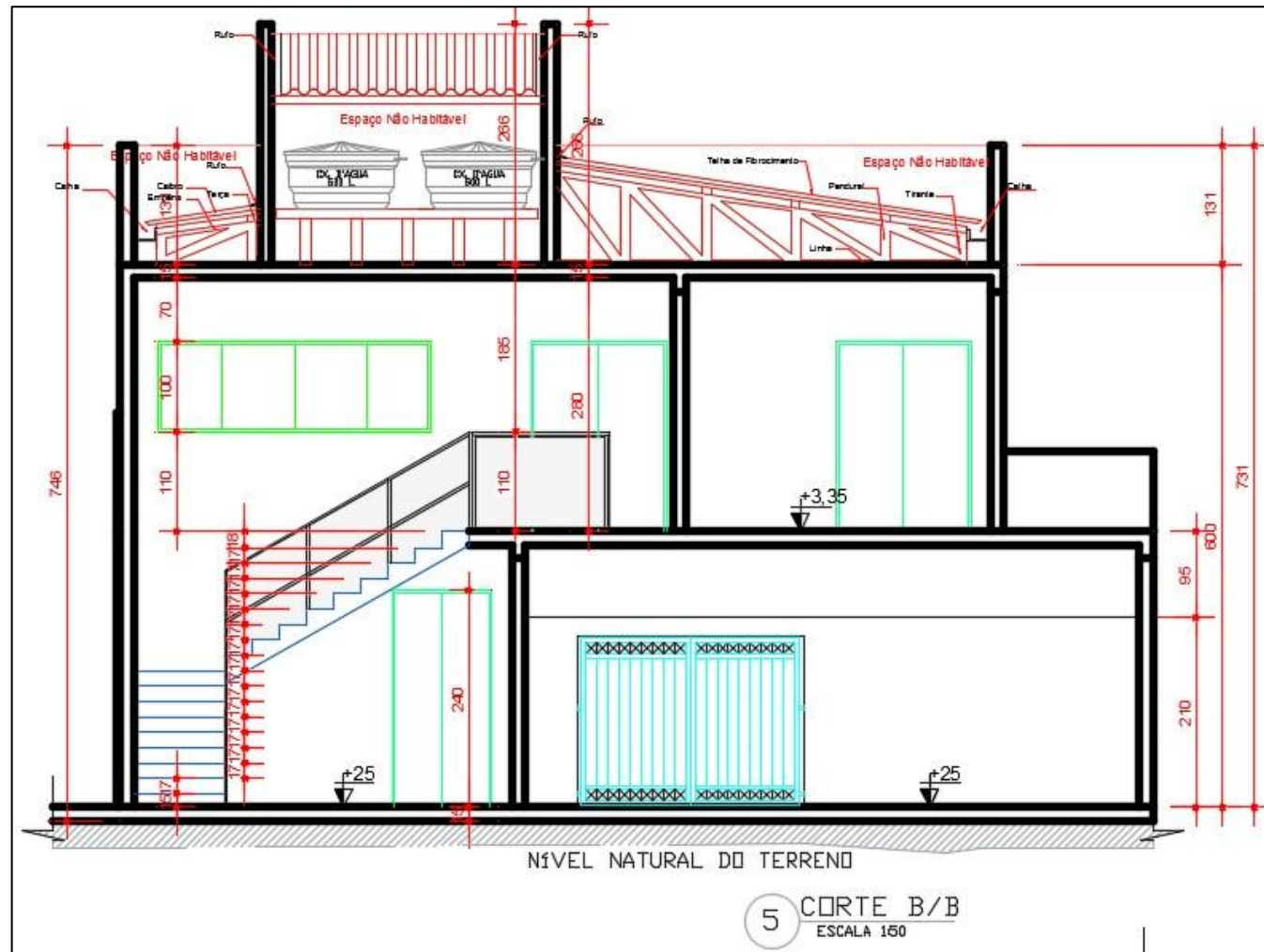
ANEXO C- PLANTA DE COBERTURA



ANEXO D- CORTE AA DO PROJETO DE ARQUITETURA



ANEXO E- CORTE BB PROJETO DE ARQUITETURA



**ANEXO F – COEFICIENTES PARA CÁLCULO DE ESFORÇOS DE MOMENTO
FLETOR EM LAJES ARMADAS EM UMA DIREÇÃO**

Casos	μ_x	$\mu_{x'}$	μ_y	$\mu_{y'}$
Caso 1	12,57	0,00	3,77	0,00
Caso 2	9,18	0,00	3,80	12,20
Caso 3	7,61	12,76	1,48	0,00
Caso 4	7,06	12,50	1,95	8,20
Caso 5	12,58	0,00	4,13	11,88
Caso 6	4,18	8,33	0,97	0,00
Caso 7	4,48	9,68	2,60	7,98
Caso 8	3,84	8,07	1,47	5,69
Caso 9	3,66	7,68	1,60	5,72

ANEXO H– VALORES ADMINESIONAIS DE DIMENSIONAMENTO DE LAJES

(continua)

KMD	KX	KZ	ξ_c	ξ_s
0,0100	0,0148	0,9941	0,1502	10,0000
0,0125	0,0185	0,9926	0,1887	10,0000
0,0150	0,0223	0,9911	0,2276	10,0000
0,0175	0,0260	0,9896	0,2670	10,0000
0,0200	0,0298	0,9881	0,3068	10,0000
0,0225	0,0335	0,9866	0,3470	10,0000
0,0250	0,0373	0,9851	0,3877	10,0000
0,0275	0,0411	0,9836	0,4288	10,0000
0,0300	0,0449	0,9820	0,4704	10,0000
0,0325	0,0487	0,9805	0,5124	10,0000
0,0350	0,0526	0,9790	0,5549	10,0000
0,0375	0,0564	0,9774	0,5979	10,0000
0,0400	0,0603	0,9759	0,6414	10,0000
0,0425	0,0641	0,9743	0,6854	10,0000
0,0450	0,0680	0,9728	0,7299	10,0000
0,0475	0,0719	0,9712	0,7750	10,0000
0,0500	0,0758	0,9697	0,8205	10,0000
0,0525	0,0797	0,9681	0,8666	10,0000
0,0550	0,0837	0,9665	0,9133	10,0000
0,0575	0,0876	0,9649	0,9605	10,0000
0,0600	0,0916	0,9634	1,0083	10,0000
0,0625	0,0956	0,9618	1,0566	10,0000
0,0650	0,0996	0,9602	1,1056	10,0000
0,0675	0,1036	0,9586	1,1552	10,0000
0,0700	0,1076	0,9570	1,2054	10,0000
0,0725	0,1116	0,9554	1,2562	10,0000
0,0750	0,1156	0,9537	1,3077	10,0000
0,0775	0,1197	0,9521	1,3598	10,0000
0,0800	0,1238	0,9505	1,4126	10,0000
0,0825	0,1279	0,9489	1,4661	10,0000
0,0850	0,1320	0,9472	1,5203	10,0000
0,0875	0,1361	0,9456	1,5752	10,0000
0,0900	0,1402	0,9439	1,6308	10,0000
0,0925	0,1444	0,9423	1,6872	10,0000
0,0950	0,1485	0,9406	1,7444	10,0000
0,0975	0,1527	0,9389	1,8023	10,0000
0,1000	0,1569	0,9372	1,8611	10,0000
0,1025	0,1611	0,9356	1,9206	10,0000
0,1050	0,1653	0,9339	1,9810	10,0000
0,1075	0,1696	0,9322	2,0423	10,0000
0,1100	0,1739	0,9305	2,1044	10,0000
0,1125	0,1781	0,9287	2,1674	10,0000
0,1150	0,1824	0,9270	2,2314	10,0000
0,1175	0,1867	0,9253	2,2962	10,0000
0,1200	0,1911	0,9236	2,3621	10,0000
0,1225	0,1954	0,9218	2,4289	10,0000
0,1250	0,1998	0,9201	2,4967	10,0000
0,1275	0,2042	0,9183	2,5656	10,0000
0,1300	0,2086	0,9166	2,6355	10,0000
0,1325	0,2130	0,9148	2,7065	10,0000
0,1350	0,2174	0,9130	2,7786	10,0000
0,1375	0,2219	0,9112	2,8519	10,0000

(conclusão)

KMD	KX	KZ	ξ_c	ξ_s
0,1400	0,2264	0,9094	2,9263	10,0000
0,1425	0,2309	0,9076	3,0019	10,0000
0,1450	0,2354	0,9058	3,0787	10,0000
0,1475	0,2399	0,9040	3,1569	10,0000
0,1500	0,2445	0,9022	3,2363	10,0000
0,1525	0,2491	0,9004	3,3170	10,0000
0,1550	0,2537	0,8985	3,3991	10,0000
0,1575	0,2583	0,8967	3,4827	10,0000
0,1600	0,2630	0,8948	3,5000	9,8104
0,1625	0,2676	0,8930	3,5000	9,5783
0,1650	0,2723	0,8911	3,5000	9,3531
0,1675	0,2770	0,8892	3,5000	9,1345
0,1700	0,2818	0,8873	3,5000	8,9222
0,1725	0,2865	0,8854	3,5000	8,7159
0,1750	0,2913	0,8835	3,5000	8,5154
0,1775	0,2961	0,8816	3,5000	8,3204
0,1800	0,3009	0,8796	3,5000	8,1306
0,1825	0,3058	0,8777	3,5000	7,9460
0,1850	0,3107	0,8757	3,5000	7,7662
0,1875	0,3156	0,8738	3,5000	7,5911
0,1900	0,3205	0,8718	3,5000	7,4204
0,1925	0,3255	0,8698	3,5000	7,2541
0,1950	0,3304	0,8678	3,5000	7,0919
0,1975	0,3355	0,8658	3,5000	6,9337
0,2000	0,3405	0,8638	3,5000	6,7793
0,2025	0,3456	0,8618	3,5000	6,6285
0,2050	0,3507	0,8597	3,5000	6,4814
0,2075	0,3558	0,8577	3,5000	6,3376
0,2100	0,3609	0,8556	3,5000	6,1971
0,2125	0,3661	0,8536	3,5000	6,0598
0,2150	0,3713	0,8515	3,5000	5,9255
0,2175	0,3766	0,8494	3,5000	5,7942
0,2200	0,3819	0,8473	3,5000	5,6658
0,2225	0,3872	0,8451	3,5000	5,5401
0,2250	0,3925	0,8430	3,5000	5,4170
0,2275	0,3979	0,8408	3,5000	5,2966
0,2300	0,4033	0,8387	3,5000	5,1785
0,2325	0,4087	0,8365	3,5000	5,0629
0,2350	0,4142	0,8343	3,5000	4,9496
0,2375	0,4197	0,8321	3,5000	4,8386
0,2400	0,4253	0,8299	3,5000	4,7297
0,2425	0,4309	0,8276	3,5000	4,6229
0,2450	0,4365	0,8254	3,5000	4,5181
0,2475	0,4422	0,8231	3,5000	4,4153
0,2500	0,4479	0,8208	3,5000	4,3144
0,2509	0,4500	0,8200	3,5000	4,2778