

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

NATAN MINELLA LANER

**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM EM
CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AS AÇÕES ESTABELECIDAS
PELA ABNT NBR 6120/80 E PELA ABNT NBR 6120/19**

CAXIAS DO SUL
2021

NATAN MINELLA LANER

**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM EM
CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AS AÇÕES ESTABELECIDAS
PELA ABNT NBR 6120/80 E PELA ABNT NBR 6120/19**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Área de Conhecimentos de
Exatas e Engenharia da Universidade de
Caxias do Sul como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dra. Henriette Justina
Manfredini Baroni.

CAXIAS DO SUL

2021

NATAN MINELLA LANER

**AVALIAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO GARAGEM EM
CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AS AÇÕES ESTABELECIDAS
PELA ABNT NBR 6120/80 E PELA ABNT NBR 6120/19**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Área de Conhecimentos de
Exatas e Engenharia da Universidade de
Caxias do Sul como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em: 01/07/2021

BANCA EXAMINADORA

Henriette Justina Manfredini Baroni, Dra., Orientador
Universidade de Caxias do Sul

Gustavo Ribeiro da Silva, Me.
Universidade de Caxias do Sul

Vanessa Fátima Pasa Dutra, Dra.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Eliane Minella e Denilson Laner, irmã, Tábata Minella Laner, por dedicarem suas vidas a me tornar a pessoa que sou hoje. Sou eternamente grato pelo apoio e pelo carinho que eles proporcionaram em toda a minha trajetória até aqui.

À minha namorada, Larissa Panozzo, por ter sido o meu abrigo desde o início da graduação. Esteve sempre ao meu lado, tanto nos bons quanto nos maus momentos. Obrigado pela compreensão, pelos dias em que não pude te dar a devida atenção por estar envolvido com trabalhos ou estudos.

À todos os meus familiares, desde os mais próximos até os mais distantes. Uma menção especial a minha tia, Itália Minella, por nunca ter medido esforços para me ajudar na conquista deste objetivo.

Aos meus amigos e colegas de Caxias do Sul. Foram de extrema importância no meu processo de graduação, compartilhando e vivenciando experiências que vou levar para o resto da minha vida.

Aos professores da Universidade de Caxias do Sul. Em especial, o meu muito obrigado a minha orientadora Henriette, e ao meu avaliador Gustavo por toda a paciência e a dedicação no decorrer do meu trabalho de conclusão de curso.

Por fim, às pessoas que me proporcionaram oportunidades profissionais. Em especial, o meu agradecimento ao Rodrigo Postiglione, por ter me ajudado e me guiado em um primeiro contato com a área da construção civil, e que com certeza foi de extrema importância para o meu crescimento profissional. Um agradecimento especial também para Miguel Gonçalves, Lucas Sólido e Renato Sólido, por estarem compartilhando do mesmo trabalho e experiências, contribuindo para o meu aprendizado pessoal e profissional.

RESUMO

Este trabalho apresenta um comparativo técnico para os resultados de dois dimensionamentos estruturais utilizando como ferramenta de análise e dimensionamento o *software* Eberick. Os carregamentos e ações utilizados para o primeiro dimensionamento (MI) são apresentados pela ABNT NBR 6120/80, já para o segundo dimensionamento (MII), estão dispostos na ABNT NBR 6120/19. As análises técnicas levaram em conta os esforços finais de cálculo atuantes e as suas respectivas áreas de aço. Foi realizado o dimensionamento para toda a estrutura em questão, mas foram consideradas uma determinada seleção de lajes, vigas e pilares que se encontram na área de circulação dos veículos para a análise. O objeto de estudo é um edifício garagem de 2 pavimentos, executado em concreto armado. A concepção estrutural e a geometria dos elementos são iguais para as duas metodologias. Ao analisar os resultados finais, foram encontradas diferenças nas lajes, vigas e pilares. O dimensionamento MII acarretou em esforços e armaduras mais elevadas. Para as lajes e vigas, esses aumentos não foram significativos na grande maioria dos casos, já os pilares do subsolo 01 apresentaram um acréscimo em sua área de aço longitudinal de 31%, e os pilares do subsolo 02, um acréscimo ainda mais relevante, de aproximadamente 126%. Vale ressaltar que esses resultados foram obtidos classificando o objeto de estudo como categoria 1, já que a ABNT NBR 6120/19 classifica os edifícios garagens em cinco categorias, dependendo dos veículos que vão transitar pela edificação.

Palavras-chave: Projeto estrutural. Concreto armado. Esforços finais de cálculo. Ações. Área de aço. Prescrições normativas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de estudo.....	18
Figura 2 – Ensaio de tração direta	22
Figura 3 – Módulo de deformação tangente inicial.....	24
Figura 4 – Ação externa do vento em edificações.....	31
Figura 5 – Simbologia para condições de apoio.....	35
Figura 6 – Tipos de lajes em função dos vínculos nas bordas.....	36
Figura 7 – Domínios em relação à altura da linha neutra.....	40
Figura 8 – Analogia da treliça.....	43
Figura 9 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar intermediário	44
Figura 10 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar de extremidade	44
Figura 11 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar de canto	45
Figura 12 – Representação dos efeitos de segunda ordem.....	46
Figura 13 – Imperfeições geométricas globais.....	47
Figura 14 – Valores de le e l	48
Figura 15 – Flambagem em barra comprimida.....	49
Figura 16 – Áreas de influência de pilares	51
Figura 17 – Discretização de uma laje pelo método da analogia de grelha	52
Figura 18 – Eixo simples para verificação de cargas concentradas – Categoria II	54
Figura 19 – Forças horizontais devido ao impacto em pilares	54
Figura 20 – Pilares próximos a descidas de rampas.....	55
Figura 21 – Objeto de estudo.....	57
Figura 22 – Travamento em pilares do subsolo 02	78
Figura 23 – Aplicação dos carregamentos horizontais em pilares com inércia favorável e desfavorável	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de momentos fletores positivos para o eixo X	66
Gráfico 2 – Comparativo de área de aço positiva para o eixo X.....	66
Gráfico 3 – Comparativo de momentos fletores positivos para o eixo Y	67
Gráfico 4 – Comparativo de área de aço positiva para o eixo Y.....	67
Gráfico 5 – Comparativo de momentos fletores negativos para o eixo X	68
Gráfico 6 – Comparativo de área de aço negativa para o eixo X	68
Gráfico 7 – Comparativo de momentos fletores negativos para o eixo Y	69
Gráfico 8 – Comparativo de área de aço negativa para o eixo Y	69
Gráfico 9 – Comparativo de momentos fletores positivos para a viga V11	71
Gráfico 10 – Comparativo de área de aço positiva para a viga V11.....	71
Gráfico 11 – Comparativo de momentos fletores negativos para a viga V11.....	72
Gráfico 12 – Comparativo de área de aço negativa para a viga V11	72
Gráfico 13 – Comparativo de esforços cortantes para a viga V11	73
Gráfico 14 – Comparativo de área de aço cisalhante para a viga V11.....	73
Gráfico 15 – Relação entre os momentos dos pilares do subsolo 01.....	74
Gráfico 16 – Área de aço longitudinal para os pilares do subsolo 01.....	75
Gráfico 17 – Esforço cortante na direção B dos pilares do subsolo 01	75
Gráfico 18 – Esforço cortante na direção H dos pilares do subsolo 01	76
Gráfico 19 – Área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 01.....	76
Gráfico 20 – Relação entre os momentos dos pilares do subsolo 02.....	77
Gráfico 21 – Área de aço longitudinal para os pilares do subsolo 02.....	77
Gráfico 22 – Esforço cortante na direção B dos pilares do subsolo 02	79
Gráfico 23 – Esforço cortante na direção H dos pilares do subsolo 02	79
Gráfico 24 – Área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 02.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do concreto quanto a sua massa específica	20
Tabela 2 – Classes de resistência de concretos estruturais	20
Tabela 3 – Classes de consistência	21
Tabela 4 – Coeficientes de ponderação do concreto γ_c	22
Tabela 5 – Módulos de elasticidade estimados do concreto	25
Tabela 6 – Classificação do aço em relação a resistência de escoamento	26
Tabela 7 – Coeficientes de ponderação do aço γ_s	26
Tabela 8 – Cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm	28
Tabela 9 – Valores para os coeficientes $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$	32
Tabela 10 – Valores do coeficiente γ_{f2}	33
Tabela 11 – Coeficiente adicional para pilares	33
Tabela 12 – Coeficiente adicional para lajes em balanço	33
Tabela 13 – Combinações de ações últimas	34
Tabela 14 – Combinações de ações de serviço	34
Tabela 15 – Espessuras mínimas para lajes	35
Tabela 16 – Deslocamentos limites	38
Tabela 17 – Valores para largura de vigas	42
Tabela 18 – Valores para altura de vigas	42
Tabela 19 – Classificação pelo índice de esbeltez	45
Tabela 20 – Comprimentos de flambagem	49
Tabela 21 – Tensão ideal de cálculo do concreto	50
Tabela 22 – Coeficiente de correção	50
Tabela 23 – Valores mínimos de cargas verticais	53
Tabela 24 – Aumento de momento fletor e área de aço positiva para os eixos X e Y das lajes analisadas	65
Tabela 25 – Aumento de momento fletor e área de aço negativa para os eixos X e Y das lajes analisadas	65
Tabela 26 – Áreas de aço relacionadas a inércia dos pilares	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA)	27
Quadro 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	27
Quadro 3 – Ações variáveis em garagens e demais áreas de circulação de veículos	56
Quadro 4 – Modelos analisados.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
GPa	Giga Pascal
kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kgf/mm ²	Quilograma-força por milímetro quadrado
kN	Quilo Newton
kN/cm ²	Quilo Newton por centímetro quadrado
kN/m ²	Quilo Newton por metro quadrado
m	Metros
m ²	Metros quadrados
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira
µm	Micrometro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	TEMA DE PESQUISA	16
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
1.4	OBJETIVOS	16
1.4.1	Principal	16
1.4.2	Específicos	16
1.5	HIPÓTESE	17
1.6	PRESSUPOSTOS.....	17
1.7	DELIMITAÇÕES.....	17
1.8	LIMITAÇÕES.....	17
1.9	DELINEAMENTO DO TRABALHO.....	17
2	ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	19
2.1	CONCRETO	19
2.1.1	Classificações do concreto	19
2.1.1.1	Massa específica.....	19
2.1.1.2	Classe de resistência	20
2.1.1.3	Consistência.....	21
2.1.2	Propriedades mecânicas do concreto.....	21
2.1.2.1	Resistência à compressão	21
2.1.2.2	Resistência à tração direta	22
2.1.2.3	Resistência à tração na compressão diametral	23
2.1.2.4	Resistência à tração na flexão.....	23
2.1.2.5	Relações entre os resultados de resistência à tração	23
2.1.2.6	Módulo de elasticidade	24
2.2	AÇO.....	25
2.2.1	Resistência ao escoamento	25
2.2.2	Módulo de elasticidade e massa específica.....	26
2.3	DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	26

2.3.1	Classe de agressividade ambiental (CAA)	27
2.3.2	Cobrimento nominal.....	28
2.3.3	Estados limites da estrutura.....	29
2.3.3.1	Estado Limite Último.....	29
2.3.3.2	Estado Limite de Serviço	29
2.4	AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	30
2.4.1	Ações permanentes	30
2.4.1.1	Ações permanentes diretas.....	30
2.4.1.2	Ações permanentes indiretas	30
2.4.2	Ações variáveis	31
2.4.2.1	Ações variáveis diretas.....	31
2.4.2.2	Ações variáveis indiretas.....	32
2.4.3	Ações excepcionais	32
2.4.4	Ponderação das ações.....	32
2.4.5	Combinação das ações.....	33
2.4.5.1	Combinações últimas	34
2.4.5.2	Combinações de serviço	34
2.5	LAJES	34
2.5.1	Condições de apoio	35
2.5.2	Classificação da armação.....	36
2.5.3	Verificação do estágio de dimensionamento.....	37
2.5.4	Deslocamentos limites.....	37
2.5.4.1	Flecha imediata	38
2.5.4.2	Flecha diferida.....	38
2.5.5	Métodos de cálculo	38
2.5.5.1	Pré-dimensionamento	38
2.5.5.2	Dimensionamento.....	39
2.6	VIGAS	39
2.6.1	Verificação do estágio de dimensionamento e deslocamento limite	40

2.6.2	Domínios de dimensionamento	40
2.6.2.1	Domínio 1	40
2.6.2.2	Domínio 2	40
2.6.2.3	Domínio 3	41
2.6.2.4	Domínio 4	41
2.6.2.5	Domínio 5	41
2.6.3	Métodos de cálculo	41
2.6.3.1	Pré-dimensionamento	41
2.6.3.2	Dimensionamento.....	42
2.7	PILARES	43
2.7.1	Classificação dos pilares.....	43
2.7.1.1	Quanto as suas solicitações atuantes iniciais	43
2.7.1.2	Quanto a sua esbeltez.....	45
2.7.2	Efeitos de 2º ordem	46
2.7.3	Excentricidades	47
2.7.3.1	Excentricidade acidental.....	47
2.7.3.2	Excentricidade devido a fluência	47
2.7.4	Comprimento equivalente e flambagem.....	47
2.7.5	Métodos de cálculo	49
2.7.5.1	Pré-dimensionamento	50
2.7.5.2	Dimensionamento.....	51
2.8	SOFTWARE DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO - EBERICK.....	51
2.8.1	Dimensionamento de lajes	52
2.8.2	Dimensionamento de vigas	53
2.8.3	Dimensionamento de pilares.....	53
2.9	NORMATIZAÇÃO UTILIZADA PARA MODELAMENTO.....	53
3	METODOLOGIA	57
3.1	OBJETO DE ESTUDO	57
3.2	PARÂMETROS DE PROJETO.....	58

3.2.1	Classificação do concreto	58
3.2.2	Classificação do aço	58
3.2.3	Coeficientes dos materiais	58
3.2.4	Durabilidade e propriedades do concreto.....	58
3.2.5	Vento	59
3.2.6	Combinação das ações.....	59
3.2.7	Pré-dimensionamento	60
3.3	AÇÕES DE PROJETO	60
3.3.1	Modelo I.....	60
3.3.2	Modelo II.....	60
3.3.2.1	Situação crítica para lajes e vigas	61
3.3.2.2	Determinação do sentido de circulação.....	61
3.4	PARÂMETROS DE ANÁLISE	61
3.4.1	Processos de análise	62
3.4.2	Lajes maciças	62
3.4.3	Vigas.....	62
3.4.4	Pilares.....	62
3.5	MATRIZ DE ANÁLISE	62
4	RESULTADOS E ANÁLISES	64
4.1	MODELO DE DIMENSIONAMENTO MI	64
4.2	MODELO DE DIMENSIONAMENTO MII	64
4.3	DIFERENÇAS ENTRE O DIMENSIONAMENTO MI E MII.....	64
4.3.1	Diferenças apresentadas nas lajes	64
4.3.2	Diferenças apresentadas nas vigas.....	70
4.3.3	Diferenças apresentadas nos pilares	74
4.3.3.1	Pilares do subsolo 01	74
4.3.3.2	Pilares do subsolo 02	77
4.4	OTIMIZAÇÃO DOS PILARES	80
4	CONCLUSÕES	82
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas mais importantes na elaboração de um projeto estrutural é a correta determinação das ações a serem consideradas em seus cálculos, sejam elas permanentes ou variáveis. Essas determinações são de extrema importância para que a estrutura projetada atenda às necessidades do cliente e possua um nível de segurança adequado.

Os elementos estruturais devem resistir a diferentes esforços, dependendo da maneira como forem dispostos no projeto. As vigas e lajes serão solicitadas principalmente à flexão, já que os seus carregamentos chegam perpendiculares ao seu plano. Quando o elemento for disposto verticalmente, que é o caso dos pilares, esse elemento passa a ser solicitado principalmente à compressão, já que os carregamentos chegam na mesma direção do seu plano.

Em 2019 a ABNT NBR 6120 passou por uma revisão, resultando em mudanças bastante significativas, principalmente em relação aos carregamentos a serem considerados em edifícios garagens. O novo conteúdo apresentado para a determinação das ações de qualquer estrutura, que antes era composto por apenas 5 páginas, passou a ter 64 páginas. É de extrema importância que o profissional da área saiba compreender essas novas prescrições normativas.

O presente trabalho aborda um projeto estrutural em concreto armado de um edifício garagem. Será realizado o dimensionamento dos elementos estruturais que constituem a estrutura utilizando o *software* Eberick, em seu primeiro dimensionamento, serão consideradas as ações dispostas na ABNT NBR 6120:1980, já no segundo dimensionamento, as ações serão modificadas conforme a ABNT NBR 6120:2019 descreve. Todos os dimensionamentos serão executados de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

O intuito final é concluir quais serão as principais mudanças que a consideração dessas novas ações trouxeram para as edificações em que ocorre algum tráfego de veículos.

1.1 TEMA DE PESQUISA

Carregamentos em estruturas de concreto armado.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Dimensionamento de um edifício garagem em concreto armado utilizando as ações propostas pela ABNT NBR 6120:1980 e pela ABNT NBR 6120:2019, comparando os resultados finais.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

As novas ações estabelecidas pela ABNT NBR 6120:2019 para o dimensionamento de um edifício garagem em concreto armado aumentam de forma significativa as taxas de aço necessárias em seus elementos estruturais?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Principal

Para a estrutura de um edifício garagem, comparar a área de aço resultante do dimensionamento, feito com os carregamentos atendendo as prescrições da ABNT NBR 6120 nas versões de 1980 e de 2019.

1.4.2 Específicos

- a) dimensionar toda a estrutura do edifício garagem no *software* Eberick, para os dois modelos de carregamentos;
- b) comparar os resultados dos esforços finais presentes nos principais elementos estruturais;
- c) avaliar a otimização dos elementos estruturais dimensionados, com ênfase nas cargas horizontais previstas nos pilares pela ABNT NBR 6120:2019.
- d) contribuir para o desenvolvimento das técnicas de análise de edifícios garagens em concreto armado, através de um comparativo entre os modelos.

1.5 HIPÓTESE

Ao considerar os novos esforços verticais e horizontais apresentados pela ABNT NBR 6120:2019 em locais que ocorra o tráfego de veículos, a área de aço dos elementos estruturais irá apresentar mudanças, principalmente nos pilares.

1.6 PRESSUPOSTOS

O *software* escolhido para o dimensionamento estrutural da edificação em questão considera os parâmetros de cálculo estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2014.

Os parâmetros de cálculo utilizados para os dois dimensionamentos serão os mesmos, alterando apenas a concepção das ações a serem consideradas.

1.7 DELIMITAÇÕES

O dimensionamento e a análise dos resultados serão feitos apenas para alguns elementos estruturais: lajes, vigas e pilares. As fundações, escadas, cortinas de contenção e rampas não serão consideradas.

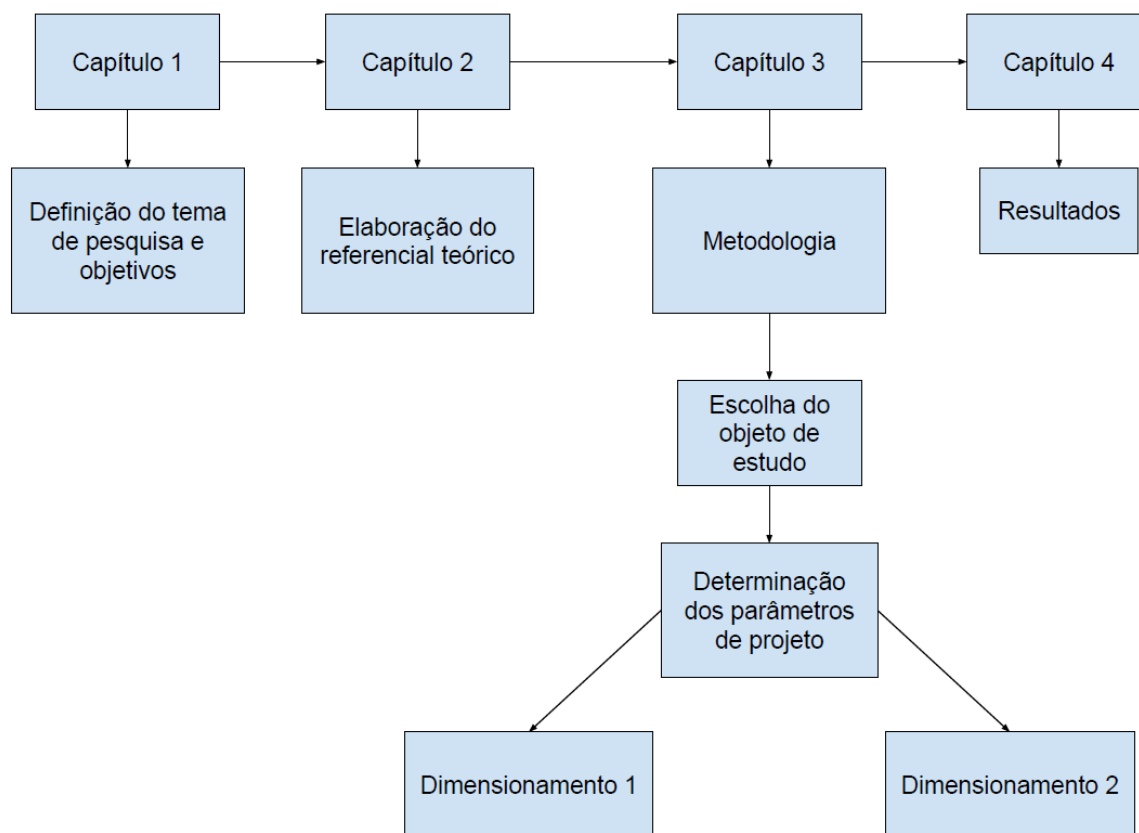
1.8 LIMITAÇÕES

O dimensionamento da estrutura será feito pelo *software* Eberick – versão 13.287 Basic, limitando a área total do projeto em até 8.000 m², 6 níveis de lançamento e 120 elementos estruturais.

1.9 DELINEAMENTO DO TRABALHO

As etapas do trabalho e seus objetivos estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de estudo.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

2 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

O concreto armado é uma técnica construtiva amplamente disseminada, se fazendo presente em casas, pontes, rodovias, edifícios, obras de drenagem e usinas hidroelétricas e nucleares.

2.1 CONCRETO

De acordo com a ABNT NBR 12655 (2015) o concreto é uma mistura homogênea entre o aglomerante, agregado graúdo, agregado miúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos e adições).

O cimento Portland é o aglomerante mais utilizado no Brasil, descoberto pelo inglês Joseph Aspdin, em 1824, obtido através da queima de calcário e argila. Apesar do nome, o cimento Portland produzido nos dias atuais não é o mesmo material patenteado por Joseph, o cimento atual é obtido pela queima da rocha calcária e argila, que passam por um processo de moagem até a sua fusão incipiente, resultando em uma substância conhecida como “clínquer” (PEDROSO, 2009).

Segundo a ABNT NBR 7211 (2009) os agregados graúdos são partículas que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. Já os agregados miúdos são partículas que passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, ambos os ensaios realizados de acordo com a ABNT NBR 248:2003.

2.1.1 Classificações do concreto

De acordo com a ABNT NBR 8953 (2015) o concreto pode ser classificado quanto a sua massa específica, classe de resistência e consistência.

2.1.1.1 Massa específica

Quanto a massa específica, a ABNT NBR 8953 (2015) classifica os concretos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do concreto quanto a sua massa específica.

Classificação	Massa específica (kg/m³)
Concreto leve (CL)	< 2.000
Concreto normal (C)	2.000 até 2.800
Concreto pesado ou denso (CD)	> 2.800

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8953:2015.

A ABNT NBR 6118 (2014) admite que caso não seja conhecida a massa específica do concreto utilizado, pode-se adotar o valor de 2.400 kg/m³ para o concreto simples e 2.500 kg/m³ para o concreto armado.

2.1.1.2 Classe de resistência

Quanto a classe de resistência, a ABNT NBR 8953 (2015) classifica os concretos para fins estruturais em Grupos I e II, conforme a sua resistência característica a compressão (f_{ck}), determinada a partir do ensaio de corpos de prova moldados de acordo com a ABNT NBR 5738:2015 e rompidos de acordo com a ABNT NBR 5739:2018. Essa classificação pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência	f_{ck} (MPa)	Classe de resistência	f_{ck} (MPa)
Grupo I		Grupo II	
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8963:2015.

Qualquer concreto que apresente uma classe de resistência inferior a C20 não possui utilidade estrutural, caso sejam utilizados, devem apresentar os desempenhos mínimos conforme a ABNT NBR 6118:2014 e ABNT NBR 12655:2015.

2.1.1.3 Consistência

Quanto a consistência, de acordo com a ABNT NBR 8953 (2015) os concretos são classificados no estado fresco a partir do ensaio de abatimento, normatizado pela ABNT NBR 67:1998. Suas classificações são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes de consistência.

Classe	Abatimento (mm)	Aplicações típicas
S10	$10 \leq A < 50$	Concreto extrusado, vibroprensado ou centrifugado
S50	$50 \leq A < 100$	Alguns tipos de pavimentos e de elementos de fundação
S100	$100 \leq A < 160$	Elementos estruturais, com lançamento convencional do concreto
S160	$160 \leq A < 220$	Elementos estruturais com lançamento bombeado do concreto
S220	≥ 220	Elementos estruturais esbeltos ou com alta densidade de armaduras

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8963:2015.

Caso o concreto seja considerado autoadensável, o seu ensaio de abatimento deve atender a ABNT NBR 15823-1:2017.

2.1.2 Propriedades mecânicas do concreto

A resistência à compressão, resistência à tração e o módulo de elasticidade são as propriedades mais importantes do concreto para os projetistas (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

2.1.2.1 Resistência à compressão

Segundo a ABNT NBR 12655 (2015) a resistência à compressão simples do concreto é nomeada como f_c . Para a determinação da resistência são elaborados corpos de provas, que devem estar de acordo com a ABNT NBR 5738:2015, com dimensões normativas de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura para as amostras cilíndricas. Os processos de ensaios são executados de acordo com a ABNT NBR 5739:2018.

De acordo com a ABNT NBR 12655 (2015), ao realizar o ensaio de diversos corpos de prova, elabora-se uma curva denominada de Curva Estatística de Gauss, encontrando os valores da resistência média do concreto à compressão (f_{cm}), e resistência característica do concreto à compressão (f_{ck}).

Para fins de cálculo, a ABNT NBR 6118 (2014) apresenta a Equação 1 para o cálculo da resistência à compressão de projeto (f_{cd}):

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

Onde:

γ_c : coeficiente de ponderação de resistência no estado limite último (definido pela Tabela 4).

Tabela 4 – Coeficientes de ponderação do concreto γ_c :

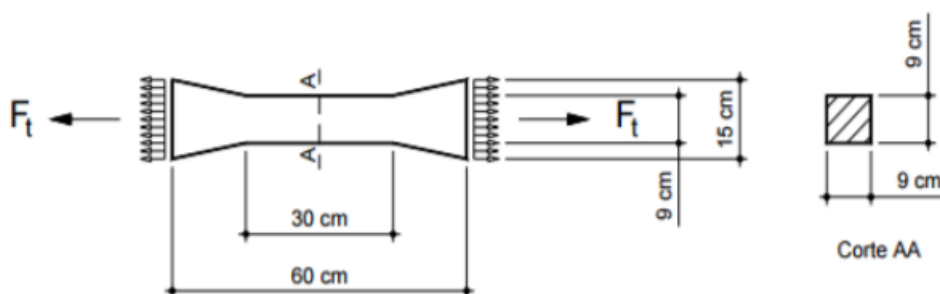
Combinações	γ_c
Normais	1,4
Especiais ou de construção	1,2
Excepcionais	1,2

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.1.2.2 Resistência à tração direta

A resistência à tração direta (f_{ct}) é determinada através da aplicação de uma força axial de tração no corpo de prova (MEHTA e MONTEIRO, 2008). O ensaio e as dimensões do corpo de prova podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 – Ensaio de tração direta.



Fonte: adaptado de Isaia (2005).

Segundo Mehta e Monteiro (2008) o ensaio de tração direta é raramente realizado, principalmente pelo fato dos dispositivos de fixação dos corpos de prova introduzirem tensões secundárias que não podem ser ignoradas.

2.1.2.3 Resistência à tração na compressão diametral

A ABNT NBR 7222 (2011) estabelece os processos a serem seguidos na execução dos ensaios de tração na compressão diametral ($f_{ct,sp}$). A amostra cilíndrica do ensaio possui as mesmas dimensões utilizadas nos ensaios de compressão, facilitando o processo.

2.1.2.4 Resistência à tração na flexão

A ABNT NBR 12142 (2010) detalha o ensaio a ser realizado para a determinação da resistência à tração na flexão ($f_{ct,f}$), a partir do seu corpo de prova prismático.

2.1.2.5 Relação entre os resultados de resistência à tração

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) a determinação da resistência à tração direta pode ser calculada pelas Equações 2 e 3:

$$f_{ct} = 0,9 \cdot f_{ct,sp} \quad (2)$$

$$f_{ct} = 0,7 \cdot f_{ct,f} \quad (3)$$

Onde:

$f_{ct,sp}$: resistência à tração na compressão diametral expressa em megapascal (MPa);

$f_{ct,f}$: resistência à tração na flexão expressa em megapascal (MPa).

Quando os valores de $f_{ct,sp}$ e $f_{ct,f}$ não forem conhecidos, a ABNT NBR 6118 (2014) considera que esses valores podem ser calculados através da resistência a compressão características do concreto, de acordo com as Equações 4, 5 e 6.

$$f_{ct,m} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (4)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ct,m} \quad (5)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3 \cdot f_{ct,m} \quad (6)$$

Onde:

$f_{ct,m}$: resistência característica média à tração do concreto expressa em megapascal (MPa);

f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto expressa em megapascal (MPa);

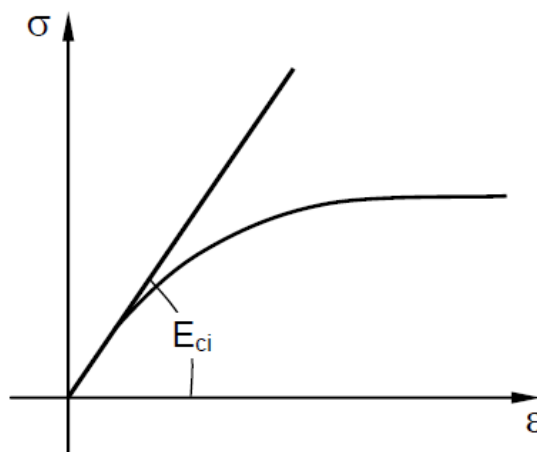
$f_{ctk,inf}$: resistência característica média à tração inferior do concreto expressa em megapascal (MPa);

$f_{ctk,sup}$: resistência característica média à tração superior do concreto expressa em megapascal (MPa).

2.1.2.6 Módulo de elasticidade

A ABNT NBR 8522 (2017) detalha como deve ser executado os ensaios para a determinação do módulo de elasticidade do concreto. Para o concreto, a expressão do módulo de elasticidade é aplicada apenas na parte retilínea da curva tensão *versus* deformação, quando não existir essa parte retilínea, a expressão é aplicada à tangente da curva, obtendo o módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}), conforme a Figura 3.

Figura 3 – Módulo de deformação tangente inicial.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

Na ausência de ensaios, a ABNT NBR 6118 (2014) apresenta as Equações 7 e 8 para o cálculo do seu módulo de elasticidade inicial aos 28 dias de idade, para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa e concretos com f_{ck} de 55 MPa a 90 MPa, respectivamente:

$$E_{ci} = \alpha E \cdot 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (7)$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha E \cdot (f_{ck}/10 + 1,25)^{1/3} \quad (8)$$

Onde:

$\alpha E = 1,2$ para basalto diabásio;

$\alpha E = 1,0$ para basalto granito e gnaisse;

$\alpha E = 0,9$ para basalto calcário;

$\alpha E = 0,7$ para arenito;

E_{ci} : módulo de deformação tangente inicial expresso em megapascal (MPa);

f_{ck} : resistência característica à compressão do concreto expressa em megapascal (MPa).

A ABNT NBR 6118 (2014) apresenta os valores estimados para o módulo de elasticidade do concreto em relação a sua classe de resistência, conforme mostrado na Tabela 5:

Tabela 5 – Módulos de elasticidade estimados do concreto.

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.2 AÇO

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica os aços que podem ser utilizados em estruturas de concreto armado como: CA-25, CA-50 e CA-60.

A ABNT NBR 7480 (2007) classifica o aço de acordo com a sua resistência característica de escoamento e estabelece os diâmetros e seções transversais nominais de suas barras.

2.2.1 Resistência ao escoamento

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica o aço de acordo com a sua resistência característica de escoamento, conforme apresentado pela Tabela 6:

Tabela 6 – Classificação do aço em relação a resistência ao escoamento.

Classificação	f_y (kgf/mm²)
CA-25	25
CA-50	50
CA-60	60

Fonte: adaptado de ABNT NBR 7480:2008.

Para fins de cálculo a ABNT NBR 6118 (2014) estabelece que a resistência de escoamento de cálculo do aço (f_{yd}) é calculado pela Equação 9:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (9)$$

Onde:

f_{yk} : resistência característica de escoamento expressa em kgf/mm²;

γ_s : coeficiente de ponderação da resistência no estado limite último (definido pela Tabela 7).

Tabela 7 – Coeficientes de ponderação do aço γ_s :

Combinações	γ_s
Normais	1,15
Especiais ou de construção	1,15
Excepcionais	1,00

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.2.2 Módulo de elasticidade e massa específica

Para fins de cálculo a ABNT NBR 6118 (2014) estabelece que o valor da massa específica e do módulo de elasticidade para qualquer aço que não seja utilizado para produzir forças de protensão é de 7.850 kg/m³ e 210 GPa respectivamente.

2.3 DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) a durabilidade é a capacidade que a estrutura tem de resistir, durante a sua vida útil, às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo projetista estrutural e pelo contratante no início da

elaboração do projeto. Os principais parâmetros levados em consideração no cálculo da estrutura são: classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal.

2.3.1 Classe de agressividade ambiental (CAA)

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) a agressividade proveniente do meio ambiente está diretamente relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto. A agressividade ambiental é classificada de acordo com o Quadro 1. O Quadro 2 apresenta as qualidades mínimas do concreto em relação a sua classe de agressividade.

Quadro 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral para o tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
VI	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

Quadro 2 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto.

Concreto	Tipo ^{a, b}	Classe de agressividade (Quadro 1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤0,65	≤0,60	≤0,55	≤0,45
	CP	≤0,60	≤0,55	≤0,50	≤0,45
Classe de concreto	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40

^a CA corresponde a componentes e elementos estruturais em concreto armado.

^b CP corresponde a componentes e elementos estruturais em concreto protendido.

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.3.2 Cobrimento nominal

A ABNT NBR 6118 (2014) determina que o cobrimento nominal (C_{nom}) de qualquer elemento é constituído pelo cobrimento mínimo ($C_{mín}$) e por uma tolerância de execução (Δ_c).

A Tabela 8 apresenta os valores dos cobrimentos nominais para cada elemento estrutural, levando em consideração a classe de agressividade ambiental a qual o elemento estará exposto.

Tabela 8 - Cobrimento nominal para $\Delta_c = 10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (cm)			
Concreto armado	Laje	2	2,5	3,5	4,5
	Viga/pilar	2,5	3	4	5
	Elementos estruturais em contato com o solo	3		4	5

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), o trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, devem possuir um cobrimento nominal mínimo de 4,5 cm. Para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos nominais podem ser reduzidos em 5 mm, a partir dos valores estabelecidos pela Tabela 8, além disso, quando houver um controle rigoroso da parte executiva, o valor da tolerância de execução também poderá ser reduzido em 5 mm.

A ABNT NBR 6118 (2014) determina a dimensão máxima do agregado graúdo utilizado no concreto, calculado pela Equação 10:

$$d_{máx} \leq 1,2 C_{nom} \quad (10)$$

Onde:

C_{nom} : cobrimento nominal da estrutura (definido pela Tabela 8).

2.3.3 Estados limites da estrutura

A ABNT NBR 6118 (2014) estabelece dois critérios para a segurança estrutural da edificação, o Estado Limite Último (ELU) e o Estado Limite de Serviço (ELS).

2.3.3.1 Estado Limite Último

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o Estado de Limite Último está relacionado com o estado em que a estrutura não pode mais ser utilizada por esgotamento da sua capacidade resistente, ou qualquer forma de colapso estrutural. Nesse caso são necessários reparos para que a segurança seja assegurada.

A ABNT NBR 6118 (2014) define as verificações para o Estado Limite Último da estrutura:

- a) perda de equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, devido às solicitações normais e tangenciais;
- c) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura no seu todo ou em partes, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado limite último de colapso progressivo;
- f) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura no seu todo ou em partes, considerando exposição ao fogo;
- g) estado limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas;
- h) outros estados limites últimos devido a casos especiais não especificados.

2.3.3.2 Estado Limite de Serviço

O Estado Limite de Serviço, segundo a ABNT NBR 6118 (2014), refere-se aos critérios de segurança que relacionam o conforto do usuário, a durabilidade da

estrutura, aparência e boa utilização de um modo geral. Os seus Estados Limites que devem ser verificados são:

- a) estado limite de formação de fissuras (ELS-F);
- b) estado limite de abertura das fissuras (ELS-W);
- c) estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF);
- d) estado limite de descompressão (ELS-D);
- e) estado limite de descompressão parcial (ELS-DP);
- f) estado limite de compressão excessiva (ELS-CE);
- g) estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE).

2.4 AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A ABNT NBR 6118 (2014) determina que qualquer ação que cause algum efeito significativo a segurança da estrutura deve ser analisada. As ações são classificadas em ações permanentes, variáveis e excepcionais.

2.4.1 Ações permanentes

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica as ações permanentes em diretas e indiretas, sendo ações que ocorrem com valores praticamente constantes em toda a vida útil da estrutura. O valor utilizado para qualquer tipo de material ou composição deve estar de acordo com a ABNT NBR 6120:2019.

2.4.1.1 Ações permanentes diretas

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), as ações permanentes diretas são constituídas pelo peso próprio da estrutura, pelo peso dos elementos construtivos fixados a estrutura, pelas instalações permanentes e pelos empuxos permanentes.

2.4.1.2 Ações permanentes indiretas

Segundo a mesma ABNT NBR 6118 (2014), as ações permanentes indiretas são constituídas pela deformação por retração e fluência do concreto, deslocamentos de apoios, imperfeições geométricas e protensão.

2.4.2 Ações variáveis

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) as ações variáveis também podem ser divididas em diretas e indiretas.

2.4.2.1 Ações variáveis diretas

A ABNT NBR 6118 (2014) define que as ações variáveis diretas são as cargas acidentais previstas para o uso da edificação, ação do vento e da água, que devem seguir os valores propostos pela ABNT NBR 6120:2019, ABNT NBR 6123:1998 e pela ABNT NBR 8681:2003.

Para o cálculo das ações do vento, a ABNT NBR 6123 (1988) apresenta todas as condições a serem seguidas. A velocidade característica do vento (V_k) é determinada através da multiplicação da velocidade básica do vento na região em que a edificação será executada (V_0) por alguns fatores, como relevo ($S1$), rugosidade do terreno, dimensões e altura da edificação ($S2$) e fator estático ($S3$).

De acordo com a ABNT NBR 6123 (1988) o carregamento (q) que atua sobre os lances da edificação deve ser calculado através da velocidade característica obtida. O coeficiente de arrasto (C_a) e as áreas efetivas (A_e) devem ser calculados para as duas dimensões da edificação. Como objetivo principal, a força de arrasto (F_a) que atua em cada nível da estrutura deve ser obtida através da multiplicação do coeficiente de arrasto pelo carregamento e pela área efetiva.

A mesma ABNT NBR 6123 (1988) aponta que a força de arrasto pode exercer uma pressão ou uma sucção na edificação, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Ação externa do vento em edificações.



Fonte: Leão e Aragão (2003).

2.4.2.2 Ações variáveis indiretas

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) as ações variáveis indiretas são provocadas pela variação (uniforme ou não uniforme) de temperatura e ações dinâmicas.

2.4.3 Ações excepcionais

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) as ações excepcionais são efeitos decorrentes de sismos, explosões ou incêndios.

2.4.4 Ponderação das ações

A ABNT NBR 6118 (2014) define que as ações devem ser multiplicadas por um coeficiente γf , calculado para o Estado Limite Último e para o Estado Limite de Serviço, conforme as Tabelas 9 e 10 e as Equações 11 e 12 respectivamente:

$$\gamma f = \gamma f1 \cdot \gamma f3 \quad (11)$$

$$\gamma f = \gamma f2 \quad (12)$$

Onde:

$\gamma f2$ tem valor variável conforme a verificação que se deseja fazer:

$\gamma f2 = 1$ para combinações raras;

$\gamma f2 = \psi1$ para combinações frequentes;

$\gamma f2 = \psi2$ para combinações quase permanentes.

Tabela 9 – Valores para os coeficientes $\gamma f = \gamma f1 \cdot \gamma f3$.

Combinações de ações	Ações			
	Permanentes (g)		Variáveis (q)	
	<i>Desfavorável</i>	<i>Favorável</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Temperatura</i>
Normais	1,4	1,0	1,4	1,2
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,0	1,2
Excepcionais	1,2	1,0	0	1,2

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 10 – Valores do coeficiente $\gamma f2$.

Ações		$\gamma f2$		
		$\psi 0$	$\psi 1$	$\psi 2$
Cargas acidentais de edifícios	Edifícios residenciais	0,5	0,4	0,3
	Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do ventos nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura	0,6	0,5	0,3

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

A mesma ABNT NBR 6118 (2014) define que para elementos estruturais esbeltos críticos para a segurança da estrutura, como pilares com espessura menor que 19 cm e lajes em balanço com espessura inferior a 19 cm, os esforços solicitantes de cálculo devem ser multiplicados por um coeficiente de ajustamento γ_n , conforme as Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 – Coeficiente adicional para pilares.

b (cm)	19	18	17	16	15	14
γ_n (cm)	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

Tabela 12 – Coeficiente adicional para lajes em balanço.

h (cm)	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
γ_n (cm)	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.4.5 Combinação das ações

A ABNT NBR 6118 (2014) apresenta as combinações das ações para os casos em que os carregamentos da estrutura possuam probabilidades significativas de atuarem simultaneamente. A mesma determina que as combinações a serem adotadas devem ser as mais desfavoráveis a segurança da estrutura, sendo classificadas em combinações últimas e combinações de serviço.

2.4.5.1 Combinações últimas

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) as combinações últimas podem ser divididas em normais, especiais ou de construção, e excepcionais, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 – Combinações de ações últimas.

Tipo de combinação	Ações consideradas
Normais	Ações permanentes + ação variável principal + ações variáveis secundárias
Especiais ou de construção	Ações permanentes + ação variável especial + ações variáveis secundárias
Excepcionais	Ações permanentes + ação variável excepcional + ações variáveis secundárias

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.4.5.2 Combinações de serviço

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica as combinações de serviço de acordo com a sua permanência na estrutura, em quase permanentes, frequentes e raras, conforme a Tabela 14.

Tabela 14 – Combinações de ações de serviço.

Tipo de combinação	Ações consideradas
Quase permanentes	Ações permanentes + todas as ações variáveis com seus valores quase permanentes
Frequentes	Ações permanentes + ação variável principal com seu valor frequente + todas as ações variáveis com seus valores quase permanentes
Raras	Ações permanentes + ação variável principal com seu valor característico + todas as demais ações com seus valores frequentes

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.5 LAJES

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica as lajes como maciças, nervuradas, lisas e lajes-cogumelo. O presente trabalho dará ênfase para as lajes maciças.

A mesma ABNT NBR 6118 (2014) apresenta as espessuras mínimas necessárias para diferentes modelos de lajes maciças, apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Espessuras mínimas para lajes.

Modelo de laje	Espessura mínima (cm)
Lajes de cobertura não em balanço	7
Lajes de piso não em balanço	8
Lajes em balanço	10
Lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN	10
Lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN	12
Lajes com protensão	15
Lajes lisas	16
Lajes-cogumelo (fora do capitel)	14

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

As lajes maciças são os elementos estruturais responsáveis por transmitirem os esforços que nelas chegam até as vigas, que transferem aos pilares, que por último, transferem aos elementos de fundação (PORTO; FERNANDES, 2015).

2.5.1 Condições de apoio

Segundo Porto e Fernandes (2015), as lajes possuem três tipos de apoio, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Simbologia para condições de apoio.

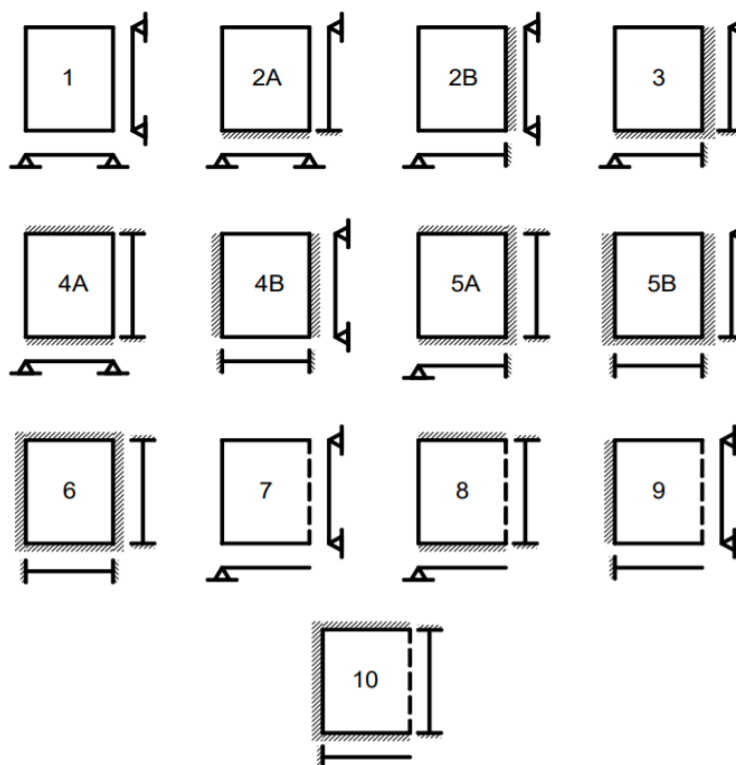


Fonte: Porto e Fernandes (2015).

Para a condição de borda livre, não deve haver suporte para a laje, o que ocorre em lajes em balanço. Borda apoiada aplica-se em situações que há restrição dos deslocamentos verticais, no entanto, não há impedimento da rotação das lajes no apoio. Por fim, a borda engastada ocorre quando houver impedimento quanto ao deslocamento vertical e quanto à rotação no apoio (PORTO; FERNANDES, 2015).

Em função das diversas combinações possíveis de vinculação para os quatro lados da laje, a Figura 6 apresenta uma numeração para as diferentes combinações.

Figura 6 – Tipos de lajes em função dos vínculos nas bordas.



Fonte: Bastos (2015).

2.5.2 Classificação da armação

As lajes podem ser armadas em apenas uma direção, fazendo com que os momentos fletores solicitem apenas uma direção, caso as lajes sejam armadas em duas direções, os momentos fletores solicitam as duas direções (PORTO; FERNANDES, 2015).

Segundo Porto e Fernandes (2015), a classificação da armação das lajes retangulares é encontrada pelas Equações 13 e 14, onde a Equação 13 caracteriza

a sua armação em duas direções, e a Equação 14 caracteriza a sua armação em apenas uma direção:

$$0,5 \leq \frac{L_y}{L_x} \leq 2,0 \quad (13)$$

$$\frac{L_y}{L_x} < 0,5 \text{ ou } \frac{L_y}{L_x} > 2,0 \quad (14)$$

Onde:

L_x : comprimento da laje em x;

L_y : comprimento da laje em y.

2.5.3 Verificação do estágio de dimensionamento

Para Bastos (2015), é necessário conhecer o estágio de cálculo da seção crítica considerada para determinar as deformações de qualquer laje. Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), o estágio I refere-se ao concreto não fissurado, nele o concreto trabalha à tração e à compressão, possuindo a sua linha neutra abaixo do centro geométrico da peça. O estágio II relaciona-se ao concreto já fissurado, nele o concreto trabalha apenas à compressão no regime elástico, desprezando a tração, possuindo a sua linha neutra em uma região próxima ao centro da peça. No estágio III a resistência da peça beira o seu limite de resistência, gerando fissuras de tração e cisalhamento, possuindo a sua linha neutra localizada acima do centro geométrica da peça.

De acordo com Porto e Fernandes (2015) um elemento estrutural pode trabalhar nos estádios I e II, mas o seu dimensionamento deve ser feito levando em consideração o estágio III.

Segundo Porto e Fernandes (2015), a determinação do estágio está diretamente relacionada com o momento de serviço (M_{serv}) e com o momento de fissuração (M_r), classificando-o de acordo com as Equações 15 e 16:

$$M_{serv} < M_r \rightarrow \text{Estádio I} \quad (15)$$

$$M_{serv} > M_r \rightarrow \text{Estádio II} \quad (16)$$

2.5.4 Deslocamentos limites

A ABNT NBR 6118 (2014) determina os deslocamentos limites para as estruturas de concreto, de acordo com a Tabela 16.

Tabela 16 – Deslocamentos limites.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$L/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$L/350$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

A mesma ABNT NBR 6118 (2014) determina que a flecha final é uma soma da flecha imediata com a flecha diferida. O valor da flecha final deve ser menor que os valores limites encontrados pela Tabela 16.

2.5.4.1 Flecha imediata

A flecha imediata, segundo a ABNT NBR 6118 (2014) é a deformação apresentada pelo elemento no instante de aplicação da carga, podendo ser determinada pela expressão de rigidez equivalente.

2.5.4.2 Flecha diferida

A ABNT NBR 6118 (2014) define que a flecha diferida é a deformação decorrente das cargas de longa duração em função da fluência, podendo ser determinada através de uma aproximação em relação a flecha imediata.

2.5.5 Métodos de cálculo

Não existe um “cálculo exato” para o dimensionamento de qualquer elemento estrutural, dentro de uma série de premissas simplificadoras, existe apenas um “cálculo rigoroso” (PORTO; FERNANDES, 2015).

2.5.5.1 Pré-dimensionamento

O método proposto por Cunha (2014) toma como referência o vão da laje (L) para pré-dimensionamento da espessura (h), as Equações 17 e 18 apresentam

o pré-dimensionamento das lajes maciças armadas em duas direções e lajes maciças armadas em uma direção, respectivamente:

$$L2/40 \leq h \leq L2/32 \quad (17)$$

$$L1/38 \leq h \leq L1/30 \quad (18)$$

Onde:

$L2$: valor da média entre os dois vãos da laje;

$L1$: valor do menor vão.

2.5.5.2 Dimensionamento

Segundo Porto e Fernandes (2015), o cálculo de lajes armadas em uma única direção respeita o comportamento de vigas com 100 cm de largura, tornando a compreensão do seu dimensionamento relativamente fácil. Já para as lajes armadas em duas direções, a magnitude dos momentos M_x e M_y está condicionada à relação entre os vãos a e b , dificultando a mensuração analítica.

Segundo Bastos (2015), o cálculo dos esforços solicitantes e das deformações nas lajes armadas em duas direções pode ser realizado seguindo diversas teorias, no qual as mais relevantes são as seguintes:

- a) Teoria das placas: desenvolvida com base na teoria da elasticidade, possibilita que os esforços e as flechas sejam determinados em qualquer ponto da laje;
- b) Processos aproximados;
- c) Método das linhas de ruptura ou das charneiras plásticas;
- d) Métodos numéricos, como o dos elementos finitos, contorno e análise de grelhas.

2.6 VIGAS

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) as vigas são elementos que possuem um comprimento longitudinal pelo menos três vezes maior que a maior dimensão da seção transversal.

As vigas possuem a finalidade de servir de apoio para as lajes, suportar as ações de paredes ou outras vigas, absorvendo esses carregamentos e transferindo-os para os pilares.

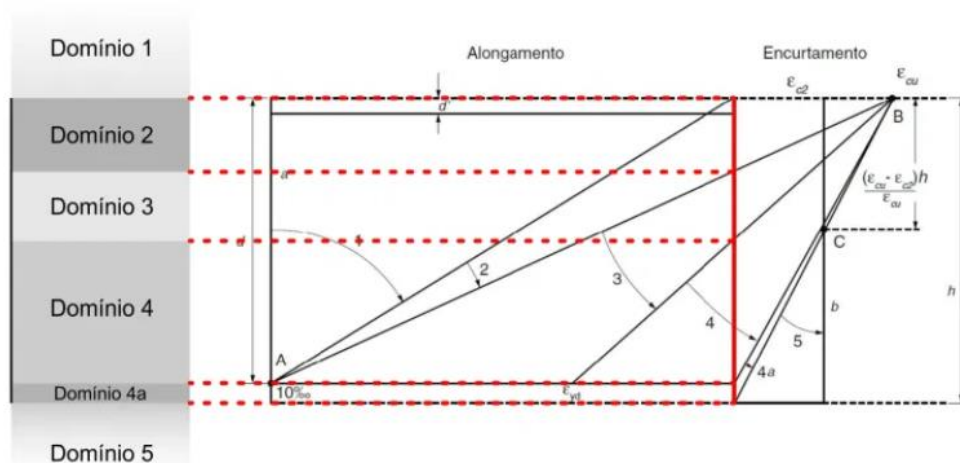
2.6.1 Verificação do estágio de dimensionamento e deslocamento limite

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), a verificação do estágio e deslocamentos limites para as vigas segue os mesmos processos de cálculo apresentados para as lajes nos *itens* 2.5.3 e 2.5.4.

2.6.2 Domínios de dimensionamento

A ABNT NBR 6118 (2014) define a existência de 5 domínios no dimensionamento das estruturas de concreto armado, como mostra a Figura 7.

Figura 7 – Domínios em relação à altura da linha neutra.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

2.6.2.1 Domínio 1

A ABNT NBR 6118 (2014) define que o domínio 1 ocorre quando a peça estiver totalmente tracionada, com a força de tração não estando distribuída de maneira equilibrada, fazendo com que a peça chegue a sua ruína pela ruptura do aço em função da tração.

2.6.2.2 Domínio 2

A ABNT NBR 6118 (2014) define que o domínio 2 ocorre quando a borda superior da peça estiver comprimida e a borda inferior tracionada, com a linha neutra localizada em algum ponto entre a borda superior.

2.6.2.3 Domínio 3

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) no domínio 3 a borda superior está comprimida e a borda inferior tracionada, com a linha neutra localizada a no máximo 45% e no mínimo a 25,9% de “d”, para classes de concreto com resistência de até 50 MPa. Neste domínio, o concreto chega a sua ruína pelos esforços de compressão, do outro lado, o aço chega a sua ruína pelos esforços de tração. As seções que se encontram neste domínio são denominadas de seções subarmadas.

2.6.2.4 Domínio 4

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) o domínio 4 ocorre quando os esforços de compressão são superiores aos esforços de tração da peça. As seções que se encontram neste domínio são denominadas de seções superarmadas.

2.6.2.5 Domínio 5

Para o domínio 5, a ABNT NBR 6118 (2014) define que a peça está totalmente comprimida, mas a força de compressão não está distribuída de forma equilibrada, resultando em uma borda superior mais comprimida que a inferior.

2.6.3 Métodos de cálculo

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014) as vigas são elementos estruturais em que os esforços de flexão são preponderantes.

2.6.3.1 Pré-dimensionamento

A ABNT NBR 6118 (2014) define que a seção transversal de qualquer viga não deve possuir uma largura menor que 12 cm, apenas em casos excepcionais, podendo atingir um limite absoluto de 10 cm de largura.

Cunha (2014) apresenta um pré-dimensionamento da largura (b_w) em relação ao vão, de acordo com a Tabela 17.

Tabela 17 – Valores para largura de vigas.

Vão (m)	b_w (cm)
≤ 4	12
$4 < \text{vão} \leq 8$	20
> 8	25 a 30

Fonte: adaptado de Cunha (2014).

De acordo com Cunha (2014), a altura (h) da viga pode ser pré-determinada levando em consideração a sua posição no projeto estrutural, e se ela serve como apoio para outras vigas, de acordo com a Tabela 18.

Tabela 18 – Valores para altura de vigas.

Caso	Posição	Serve de apoio para outras vigas	Fórmula
1	Central	Sim	$h = 14\%. L$
2	Central	Não	$h = 10\%. L$
3	Periférica	Sim	$h = 10\%. L$
4	Periférica	Não	$h = 9\%. L$

Fonte: adaptado de Cunha (2014).

2.6.3.2 Dimensionamento

Segundo Porto e Fernandes (2015) para o dimensionamento da armadura longitudinal da viga é necessário identificar se a viga necessitará de uma armadura simples ou dupla, através do momento atuante e do momento limite de cada elemento.

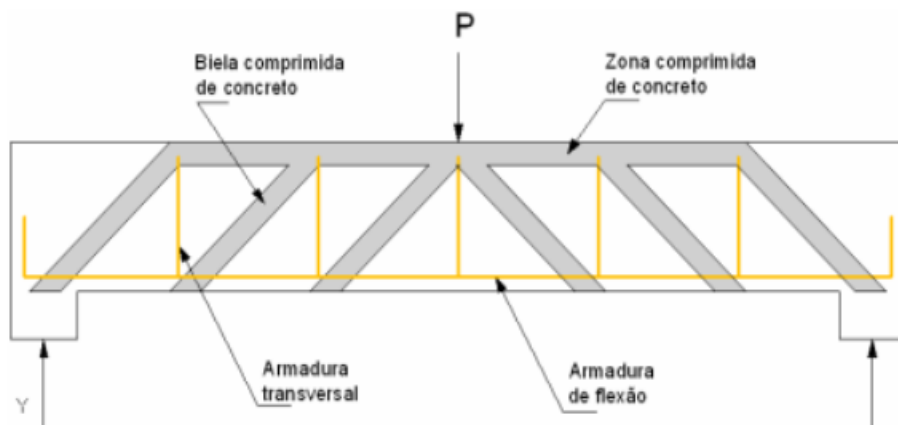
A NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta as hipóteses de cálculo para o dimensionamento à flexão das peças, que seguem as seguintes deduções:

- admite-se que as seções que originalmente são planas permanecem planas após a sua deformação;
- admite-se uma total aderência entre o concreto e o aço;
- admite-se que os esforços de tração são resistidos unicamente pelo aço.

A ABNT NBR 6118 (2014) define que o cálculo para o dimensionamento das seções das vigas aos esforços de cisalhamento pode ser efetuado pelo Método

I e pelo Método II, ambos admitindo que o comportamento da viga seja semelhante ao de uma treliça, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Analogia da treliça.



Fonte: adaptado de Mattos (2010).

Segundo Mattos (2010) o Método I é baseado na teoria de Ritter-Mörsch, sugerindo que a inclinação das diagonais de compressão da treliça deve ser tomada sempre com ângulo de 45° em relação ao eixo longitudinal do elemento, enquanto o Modelo II é baseado na analogia da treliça generalizada, possibilitando a mudança da inclinação da diagonal de compressão entre 30° e 45° .

2.7 PILARES

A ABNT NBR 6118 (2014) define pilares como elementos lineares de eixo reto, dispostos verticalmente e em que os esforços normais de compressão são preponderantes.

2.7.1 Classificação dos pilares

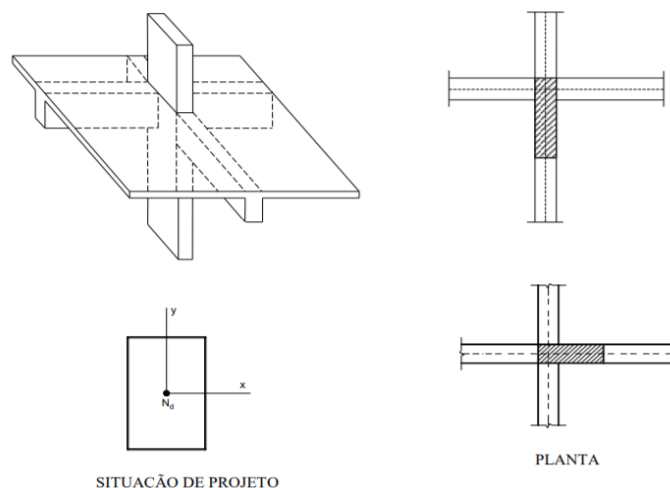
Segundo Bastos (2020), os pilares podem ser classificados de acordo com as suas solicitações atuantes iniciais e sua esbeltez.

2.7.1.1 Quanto as suas solicitações atuantes iniciais

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica os pilares em intermediários, pilares de extremidade e pilares de canto.

Os pilares intermediários estão sujeitos a compressão simples, já que as lajes e as vigas são contínuas sobre o pilar, podendo admitir que os momentos fletores transmitidos ao pilar sejam pequenos e desprezíveis (BASTOS, 2020), como mostra a Figura 9.

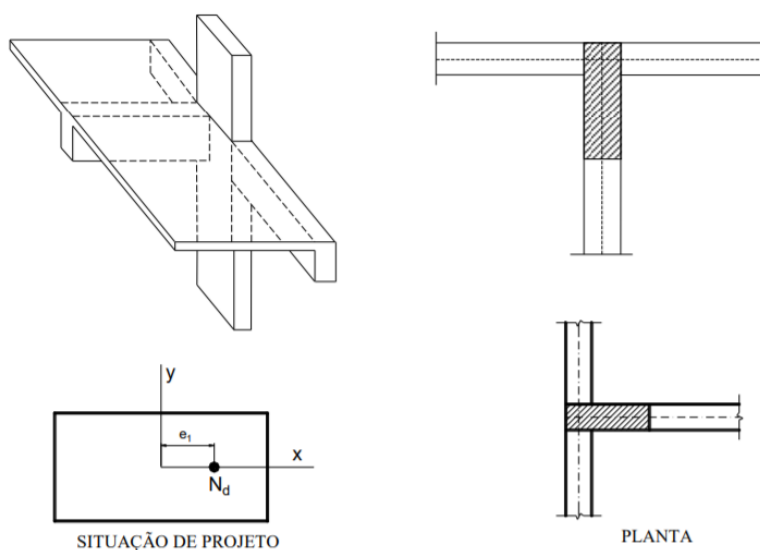
Figura 9 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar intermediário.



Fonte: Bastos (2020).

Os pilares de extremidade estão sujeitos a flexão composta normal, já que o pilar serve de apoio extremo para uma viga, gerando os esforços de momento fletor em uma direção do pilar (BASTOS, 2020), como mostra a Figura 10.

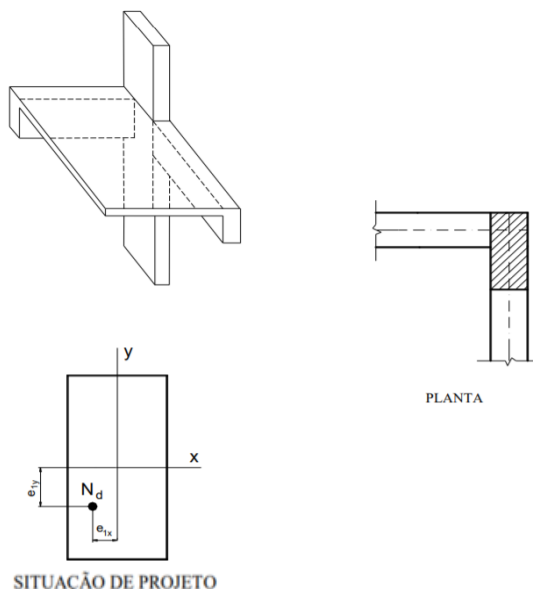
Figura 10 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar de extremidade.



Fonte: Bastos (2020).

Já os pilares de canto estão sujeitos a flexão composta oblíqua, já que o pilar serve de apoio extremo para duas vigas, gerando os esforços de momento fletor nas duas direções do pilar (BASTOS, 2020), como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Arranjo estrutural e situação de projeto de pilar de canto.



Fonte: Bastos (2020).

Para Porto e Fernandes (2015), os pilares intermediários apresentam excentricidades iniciais desprezíveis, os pilares de extremidade apresentam uma excentricidade inicial, e os pilares de canto apresentam duas excentricidades iniciais, que também podem ser observadas nas Figuras 9, 10 e 11.

2.7.1.2 Quanto a sua esbeltez

A ABNT NBR 6118 (2014) classifica os pilares de acordo com o índice de esbeltez apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Classificação pelo índice de esbeltez.

Classificação	Índice de esbeltez (λ)
Pilar curto	$\lambda \leq 35$
Pilar mediamente esbelto	$35 < \lambda \leq 90$
Pilar esbelto	$90 < \lambda \leq 140$
Pilar muito esbelto	$140 < \lambda \leq 200$

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

A mesma ABNT NBR 6118 (2014) define que os pilares não devem possuir um índice de esbeltez maior que 200, exceto elementos que não apresentem grandes esforços de compressão.

2.7.2 Efeitos de 2º ordem

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) os efeitos de 2º ordem podem ser classificados em:

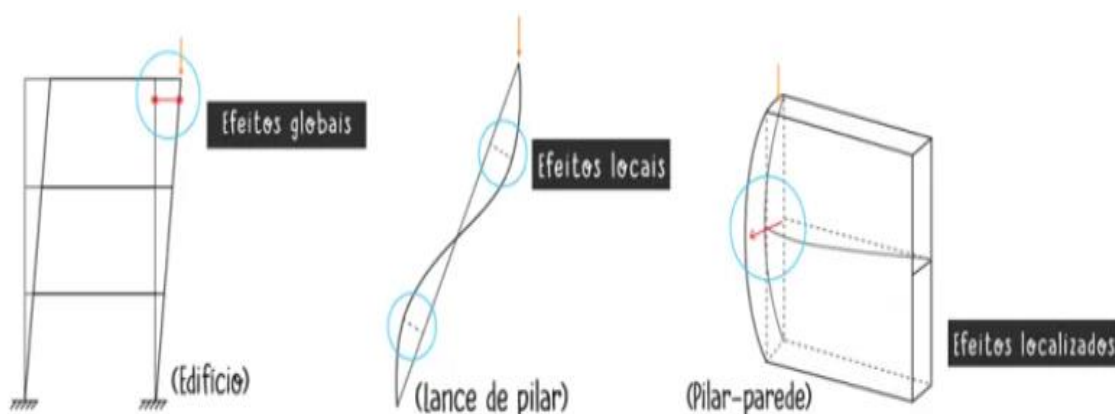
- a) Efeitos de segunda ordem global;
- b) Efeitos de segunda ordem local;
- c) Efeitos de segunda ordem localizados.

De acordo com a mesma ABNT NBR 6118 (2014) os efeitos de 2º ordem globais são originados pelos deslocamentos da estrutura, causados pelas ações horizontais e verticais solicitantes.

Os efeitos de 2º ordem locais são aqueles que ocorrem nas barras da estrutura, afetando os esforços solicitantes ao longo dessas barras.

Por fim, os efeitos de 2º ordem localizados ocorrem em pilares-parede que não apresentam uma retilineidade maior do que o eixo do pilar como um todo em algumas regiões do elemento. Esses efeitos podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 – Representação dos efeitos de segunda ordem.



Fonte: Schneider (2020).

A ABNT NBR 6118 (2014) define que os esforços locais de 2º ordem podem ser desprezados quando o índice de esbeltez (λ) for menor que o índice de esbeltez limite (λ_1).

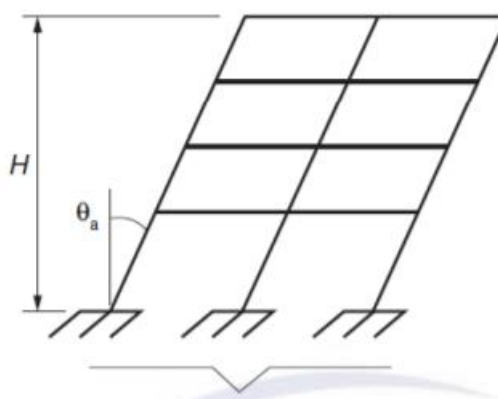
2.7.3 Excentricidades

A ABNT NBR 6118 (2014) define que além da excentricidade de 1º e 2º ordem (quando existente), a excentricidade accidental e a excentricidade devido a fluência devem ser consideradas.

2.7.3.1 Excentricidade accidental

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014) a excentricidade accidental refere-se as imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais, no caso do dimensionamento de um lance de pilares, deve ser considerado o desaprumo, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Imperfeições geométricas globais.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 6118:2014.

A imperfeição geométrica global pode ser calculada através do ângulo θ_a .

2.7.3.2 Excentricidade devido a fluência

De acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), a excentricidade devido a fluência do concreto deve ser considerada em pilares que apresentarem um índice de esbeltez $\lambda > 90$, podendo ser calculada de maneira aproximada.

2.7.4 Comprimento equivalente e flambagem

Segundo Bastos (2020), o comprimento equivalente (l_e) de um pilar, de acordo com a Figura 14, deve ser o menor dos valores apresentados pelas Equações 19 e 20:

$$le \leq lo + h \quad (19)$$

$$le \leq l \quad (20)$$

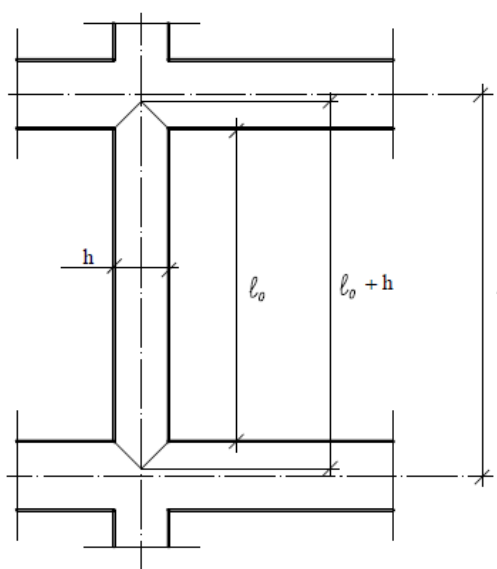
Onde:

lo : distância entre as faces internas dos elementos estruturais que vinculam o pilar;

l : distância entre os eixos dos elementos estruturais que vinculam o pilar;

h : altura da seção transversal do pilar, medida no plano da estrutura.

Figura 14 – Valores de le e l .



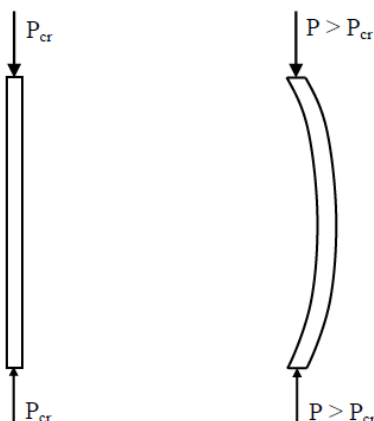
Fonte: Bastos (2020).

De acordo com Bastos (2020), elementos submetidos à força normal de compressão podem apresentar deslocamentos laterais, ou flambagem, como mostra a Figura 15. A força axial máxima que poderá atuar na coluna é chamada de carga crítica (P_{cr}).

Para Bastos (2020), a ruína por efeito de flambagem é repentina e violenta, mesmo sem a ocorrência de acréscimos bruscos nas ações aplicadas, por isso, os pilares devem ser projetados de modo que não ocorra flambagem que origine o Estado Limite Último.

Porto e Fernandes (2015) definem o cálculo do comprimento de flambagem para pilares de acordo com as suas vinculações, como mostra a Tabela 20.

Figura 15 – Flambagem em barra comprimida.



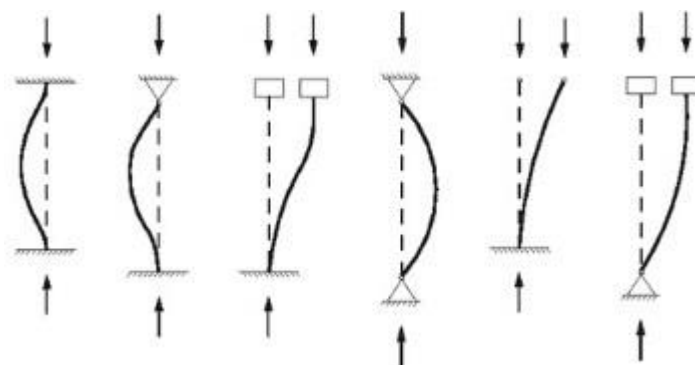
Fonte: Bastos (2020).

Tabela 20 – Comprimentos de flambagem.

Representação das barras isoladas e seus deslocamentos devido à flambagem.

Legenda:

- linhas tracejadas: barra no estado inicial;
- curvas contínuas: deformação por flambagem.



Comprimento de flambagem teórico:	0,5le	0,7le	1,0le	1,0le	2,0le	2,0le
Comprimento de flambagem prático:	0,65le	0,8le	1,2le	1,0le	2,1le	2,0le

Fonte: adaptado de Porto e Fernandes (2015).

2.7.5 Métodos de cálculo

Segundo a ABNT NBR 6118 (2014), no dimensionamento de pilares consideram-se os esforços solicitantes de cálculo, que incluem os momentos fletores, esforços cortantes e axiais.

2.7.5.1 Pré-dimensionamento

A ABNT NBR 6118 (2014) define que a área da seção transversal mínima para qualquer tipo de pilar deve ser de 360 cm², e de que alguma de suas dimensões não seja menor que 19 cm.

De acordo com Cunha (2014), o pré-dimensionamento da seção transversal de pilares segue a Equação 21:

$$A_c = \left(\frac{Nd}{\sigma_{id}} \right) \times Y_{corr} \quad (21)$$

Onde:

A_c : área da seção transversal do pilar, expressa em cm²;

Nd : carregamento de cálculo do pilar;

σ_{id} : tensão ideal de cálculo do concreto, conforme Tabela 21;

Y_{corr} : coeficiente de correção, conforme Tabela 22.

Tabela 21 – Tensão ideal de cálculo do concreto.

fck (MPa)	σ_{id} (MPa)
20	19,91
25	22,85
30	25,79
35	28,73
40	31,58
45	34,52
50	37,46

Fonte: adaptado de Cunha (2014).

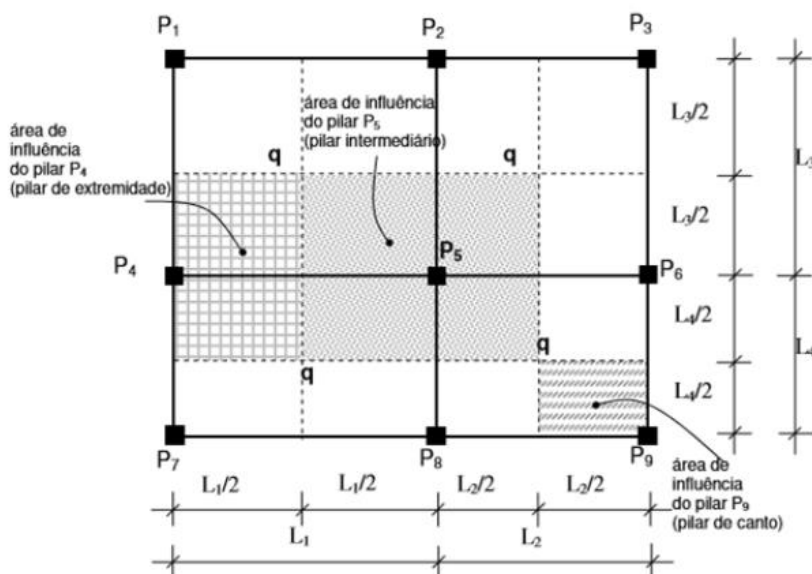
Tabela 22 – Coeficiente de correção.

Classificação do pilar	Y_{corr}
Intermediário	1,5
Extremidade	2
Canto	4

Fonte: adaptado de Cunha (2014).

Cunha (2014) ainda afirma que o esforço axial de cálculo (Nd) pode ser pré-determinado pelo método das áreas, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Áreas de influência de pilares.



Fonte: Melo (2013).

2.7.5.2 Dimensionamento

A ABNT NBR 6118 (2014) estabelece um método geral e três métodos aproximados para o dimensionamento de pilares, são eles:

- Método do Pilar-Padrão com Curvatura Aproximada;
- Método do Pilar-Padrão com Rigidez κ Aproximada;
- Método do Pilar-Padrão acoplado a diagramas $M \times N \times 1/r$;

A mesma ABNT NBR 6118 (2014) define que o método do pilar-padrão com curvatura aproximada pode ser empregado apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, o método do pilar-padrão com rigidez k aproximada e o método acoplado a diagramas deve ser empregado no cálculo de pilares com $\lambda \leq 140$, ambos com seção retangular constante e armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo.

2.8 SOFTWARE DE ANÁLISE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO - EBERICK

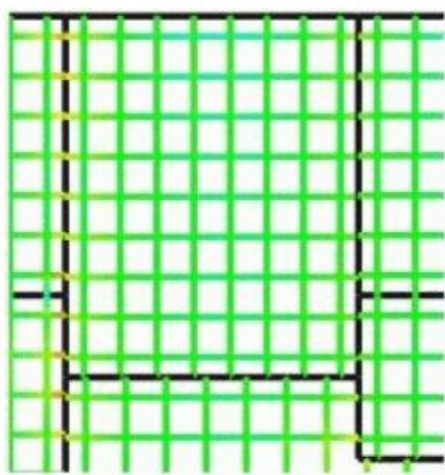
O Eberick é um *software* desenvolvido e comercializado pela empresa nacional AltoQi, destinado principalmente para projetos em concreto armado, possibilitando a escolha do processo de análise, das propriedades dos materiais,

das ações a serem analisadas e dos coeficientes de ponderação, sempre de acordo com as especificações mínimas estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014.

2.8.1 Dimensionamento de lajes

Segundo Kirsten (2016) um dos métodos de análise das lajes maciças de concreto armado adotado pelo *software* Eberick é o método de analogia de grelha, simulando uma placa por meio de elementos de barras perpendiculares entre si, ligadas em nós, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Discretização de uma laje pelo método da analogia de grelha.



Fonte: Kirsten (2013).

Pintos (2020) afirma que o espaçamento entre as grelhas pode ser configurado, sendo necessário que o espaçamento das faixas seja inferior às dimensões de uma abertura inserida na laje ou de um pilar de apoio. Segundo o mesmo Pintos (2020), o *software* permite ao usuário selecionar o modelo para o dimensionamento das lajes, o modelo simplificado é feito pelos esforços máximos de flexão, enquanto o modelo completo obtém os esforços em cada barra da grelha, ponto a ponto. O processo de análise da estrutura também pode ser escolhido, disponibilizando as opções de grelhas (lajes) mais pórticos espaciais (vigas e pilares) ou um único modelo integrado.

Este trabalho levará em conta a analogia de grelha com o modelo completo e a análise de grelhas mais pórticos espaciais para o seu dimensionamento.

2.8.2 Dimensionamento de vigas

De acordo com Longo (2018) o dimensionamento das vigas à flexão simples, flexo-compressão reta e flexo-tração reta seguem as hipóteses de cálculo estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014.

Segundo Mattos (2010) o Eberick dimensiona as vigas ao esforço cortante de acordo com o modelo escolhido pelo usuário, apresentando o Modelo I e o Modelo II. Este trabalho levará em conta o Modelo I para o dimensionamento de seus elementos.

2.8.3 Dimensionamento de pilares

Segundo Pereira (2012) o Eberick disponibiliza três métodos para o cálculo e dimensionamento de pilares, o método do pilar-padrão com curvatura aproximada e o método do pilar-padrão com rigidez k aproximada para pilares com $\lambda \leq 90$, e o método do pilar-padrão acoplado a diagramas $M \times N \times 1/r$ para pilares com λ até 140.

Segundo Pereira (2012), para os resultados encontrados através do dimensionamento pelo método acoplado a diagramas, à medida que o índice de esbeltez dos elementos aumenta, as diferenças nos resultados obtidos tendem a ser cada vez maiores frente aos demais métodos. Além disso, os próprios esforços solicitantes podem fazer com que cada método apresente resultados distintos.

Este trabalho levará em conta o método do pilar-padrão com rigidez k aproximada para o dimensionamento dos pilares.

2.9 NORMATIZAÇÃO UTILIZADA PARA MODELAMENTO

A ABNT NBR 6120 (1980) apresenta os valores mínimos de carregamentos verticais que devem ser levados em consideração para o dimensionamento de garagens e estacionamentos, conforme a Tabela 23.

Tabela 23 – Valores mínimos de cargas verticais.

Uso	Carga (kN/m ²)
Garagens e estacionamentos	3

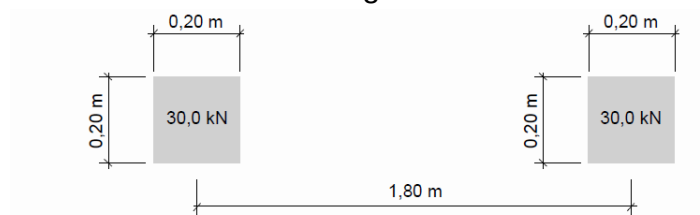
Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:1980.

A mesma ABNT NBR 6120 (1980) ainda define que essa carga deve ser majorada, levando em consideração o vão de uma viga ou o menor vão de uma laje. A majoração deve ser atribuída apenas para o cálculo das lajes, tornando-se dispensável no dimensionamento de paredes e pilares.

De acordo com a ABNT NBR 6120 (1980), essas são as únicas considerações a serem adotadas no dimensionamento de um edifício garagem.

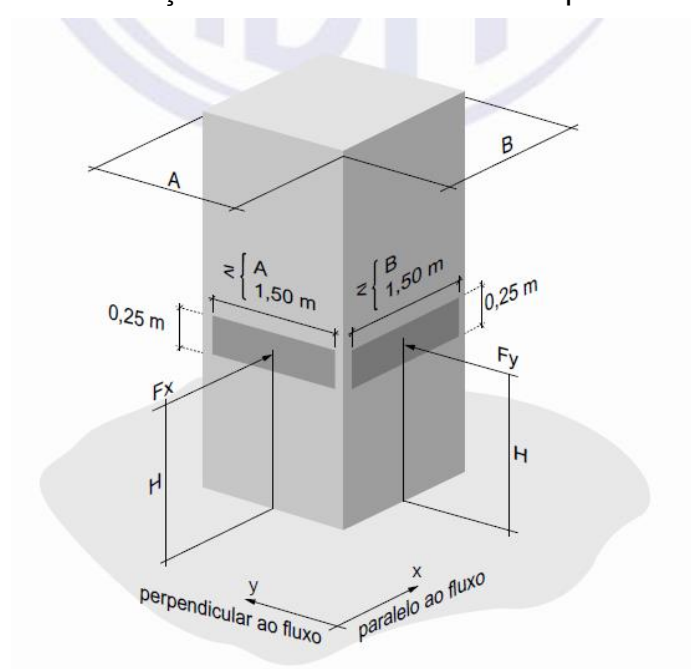
A nova revisão desta norma apresenta um *item* exclusivo para o dimensionamento de edifícios garagens ou locais em que ocorra o tráfego de veículos. A ABNT NBR 6120 (2019) determina as ações variáveis que devem ser analisadas em edificações em que ocorra a circulação de veículos, conforme as Figuras 18, 19 e 20 e o Quadro 3.

Figura 18 – Eixo simples para verificação de cargas concentradas – Categoria II.



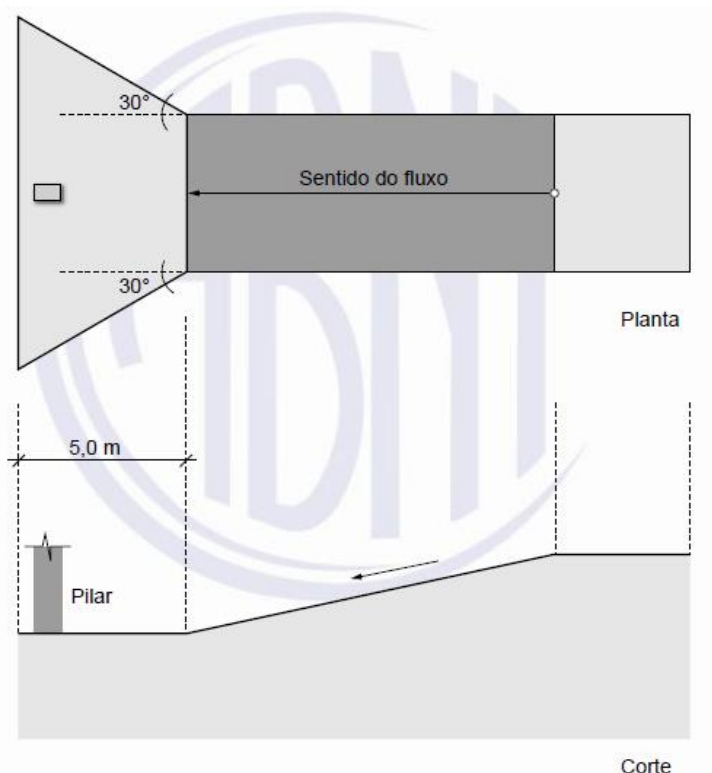
Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

Figura 19 – Forças horizontais devido ao impacto em pilares.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

Figura 20 – Pilares próximos a descidas de rampas.



Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

De acordo com a ABNT NBR 6120 (2019) a seleção da categoria dos veículos deve ser feita levando em consideração a altura disponível no acesso e o PBT - peso bruto total dos veículos que vão circular pela edificação (coluna 4 e 2 respectivamente do Quadro 3).

A carga uniformemente distribuída sobre o edifício garagem, e que deve ser utilizada para o seu dimensionamento e análise global é apresentada na coluna 3 do Quadro 3. As cargas concentradas verticalmente devem ser analisadas conforme a coluna 5 do Quadro 3, onde o valor apresentado para cada eixo deve ser dividido por dois, conforme a Figura 18.

Para os pilares, as cargas concentradas horizontalmente devem estar de acordo com as colunas 6 e 7 do Quadro 3 e com a Figura 19, devendo ser aplicada a uma altura H determinada pela coluna 8 do Quadro 3. Para pilares próximos de rampas, conforme a Figura 20, os valores das colunas 6 e 7 do Quadro 3 devem ser dobrados. A mesma ABNT NBR 6120 (2019) deixa a critério do engenheiro a aplicação simultânea ou não das duas forças horizontais. Para este trabalho, os carregamentos horizontais dos pilares serão aplicados de forma simultânea, a favor da segurança.

Quadro 3 – Ações variáveis em garagens e demais áreas de circulação de veículos.

1	2	3	4	5	6	7	8
Cat.	PBT (kN)	Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)	Altura max. (m)	Carga concentrada Q _k (kN)	Força horizontal F _x (kN)	Força horizontal F _y (kN)	Altura H de aplicação (m)
1	≤ 30	3	2,3	12	100	50	0,5
2	≤ 90	5	2,6	60	180	90	0,5
3	≤ 160	7	3,0	100	240	120	1,0
4	> 160	10	> 3,0	170 ou 255	320	160	1,0
5	≤ 230	10	> 4,5	170	320	160	1,0

Fonte: adaptado de ABNT NBR 6120:2019.

A ABNT NBR 6120 (2019) permite que a aplicação das cargas concentradas apresentadas pela Coluna 5 do Quadro 3 sejam feitas sobre uma região de 10 cm x 10 cm. Já as forças horizontais apresentadas pelas Colunas 6 e 7 do Quadro 3 podem ser aplicadas sobre uma faixa de 25 cm x 150 cm.

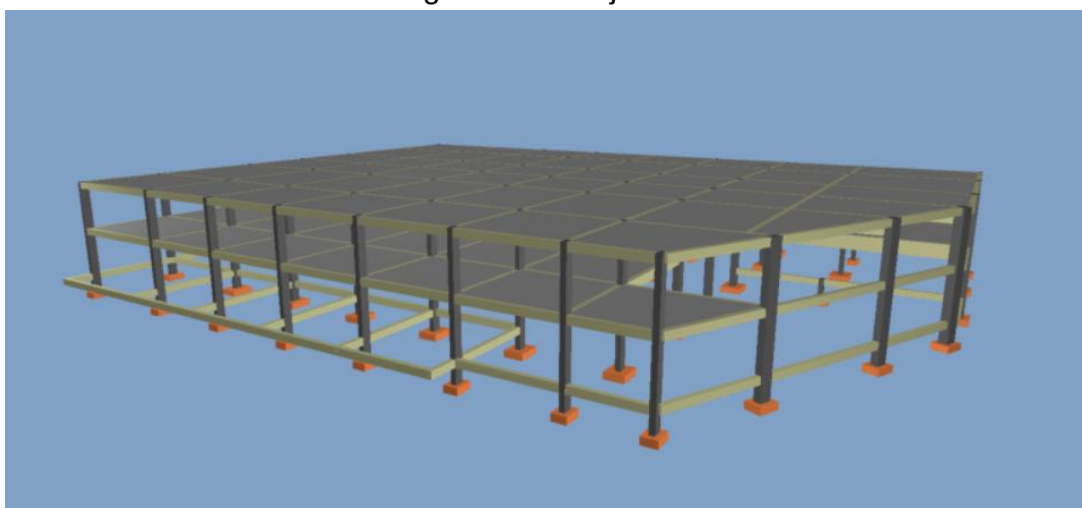
3 METODOLOGIA

Neste capítulo está apresentado o objeto de estudo e descritos os parâmetros e procedimentos para a análise.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

A edificação dimensionada neste trabalho (Figura 21) trata-se de um edifício garagem, uma obra real, de dois pavimentos, executado em concreto armado. O presente trabalho possui autorização do autor do projeto arquitetônico para a utilização de seus projetos para fins didáticos.

Figura 21 – Objeto de estudo.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

O edifício garagem apresenta um espaço para cinco salas comerciais, uma guarita e 86 vagas de estacionamento, totalizando uma área construída de 3.602,74 m².

O projeto arquitetônico com as plantas baixas do pavimento térreo, subsolo 01 e subsolo 02 estão apresentadas no Anexo A.

A partir do objeto de estudo, foram criados dois modelos:

O modelo I (M I) – analisado de acordo com as cargas prescritas pela ABNT NBR 6120:1980;

O modelo II (M II) – analisado de acordo com as cargas prescritas pela ABNT NBR 6120:2019.

Ambos os modelos possuem a mesma concepção estrutural e geometria dos elementos. Para a comparação de resultados, foram avaliados os elementos que se encontram dentro da área de circulação de veículos, conforme apresentado pelo Anexo B.

3.2 PARÂMETROS DE PROJETO

Os parâmetros definidos a seguir servem para os dois modelos de dimensionamento.

3.2.1 Classificação do concreto

O concreto utilizado em todos os elementos estruturais, conforme os *itens* 2.1.1.1, 2.1.1.2 e 2.1.1.3, é o C30 S160, apresentando resistência à compressão característica (f_{ck}) de 30 MPa.

3.2.2 Classificação do aço

O aço utilizado em todos os elementos estruturais, conforme o *item* 2.2.1, é o aço CA-50 e o aço CA-60, apresentando resistência ao escoamento (f_y) de 500 e 600 MPa respectivamente.

3.2.3 Coeficientes dos materiais

Os coeficientes de minoração para a determinação da resistência à compressão do concreto e a resistência ao escoamento do aço, ambos de cálculo, de acordo com os *itens* 2.1.2.1 e 2.2.1 e levando em consideração que as suas combinações sejam do tipo normal, são os seguintes:

$$\text{concreto} \rightarrow \gamma_c = 1,4$$

$$\text{aço} \rightarrow \gamma_s = 1,15$$

3.2.4 Durabilidade e propriedades do concreto

A classe de agressividade ambiental (CAA) da edificação foi determinada de acordo com a localização da estrutura, por se tratar de um edifício garagem, alguns parâmetros foram adotados com valores superiores aos mínimos estabelecidos pela norma, de acordo com os *itens* 2.3.1 e 2.3.2:

- a) CAA → classe II.
- b) Relação água/cimento → 0,60.
- c) Classe do concreto → 30.
- d) Cobrimento nominal para todos os elementos estruturais (sem contato com o solo) → 3 cm.
- e) Cobrimento nominal para todos os elementos estruturais (em contato com o solo) → 4,5 cm.
- f) Dimensão máxima do agregado → 19 mm.
- g) Umidade relativa do ar → 70%.
- h) Início do carregamento → 28 dias.
- i) Início da retração → 3 dias.
- j) Peso específico → 25 kN/m³.
- k) Tipo de agregado graúdo → basalto.
- l) Tipo de cimento → CP-IV.
- m) Módulo de elasticidade secante → 26838 MPa.
- n) Módulo de elasticidade inicial → 30672 MPa.

3.2.5 Vento

Os parâmetros designados ao *software* para o cálculo do vento e de acordo com o *item* 2.4.2.1 foram os seguintes:

- a) $V_0 = 45$ m/s;
- b) $S1 = 1,0$;
- c) $S3 = 1,0$;
- d) Turbulência baixa;
- e) Classe B;
- f) Categoria IV.

3.2.6 Combinação das ações

A combinação das ações é feita de forma automática pelo *software*, que levou em conta a combinação mais desfavorável a estrutura para o seu dimensionamento.

3.2.7 Pré-dimensionamento

Para a realização do pré-dimensionamento, antes do lançamento da estrutura no software, foram adotados os seguintes métodos:

- a) Lajes: método apresentado no *item* 2.5.5.1.
- b) Vigas: método apresentado no *item* 2.6.3.1.
- c) Pilares: método apresentado no *item* 2.7.5.1.

3.3 AÇÕES DE PROJETO

O modelo M I levou em conta as ações estabelecidas pela ABNT NBR 6120:1980, enquanto o modelo M II seguiu as novas recomendações da ABNT NBR 6120:2019. Não foi acrescentado nenhum carregamento para revestimento, por se tratar de um edifício garagem, o próprio concreto polido serve como acabamento. O carregamento do peso próprio da estrutura é feito de forma automática pelo *software*.

3.3.1 Modelo I

Os carregamentos considerados no modelo M I estão apresentados no *item* 2.9:

- a) Carga variável $\rightarrow 3 \text{ kN/m}^2$.

3.3.2 Modelo II

Os carregamentos considerados para o modelo M II também estão apresentados no *item* 2.9:

- a) Categoria dos veículos $\rightarrow$ I.
- b) Carga variável $\rightarrow 3 \text{ kN/m}^2$.
- c) Carga concentrada verticalmente em lajes $\rightarrow 12 \text{ kN}$.
- d) Carga concentrada horizontalmente em pilares $\rightarrow 50$ e 100 kN .
- e) Carga concentrada horizontalmente em pilares localizados em frente à rampas $\rightarrow 100$ e 200 kN .
- f) Altura de aplicação das cargas horizontais em pilares $\rightarrow 0,5 \text{ m}$.

3.3.2.1 Situação crítica para lajes e vigas

Para a correta modelagem do modelo MII, ao analisar-se a aplicação dos carregamentos concentrados nas lajes e vigas, notou-se a necessidade de criar um modelo de dimensionamento crítico, já que ao aplicar os carregamentos concentrados, algumas lajes acabaram sofrendo uma redução nos seus esforços de momento fletor. Essa situação crítica foi projetada com o intuito de considerar apenas os dados que tiveram os seus valores aumentados. A modelagem MII situação I (MII – SI) foi realizada com os seus carregamentos concentrados aplicados no centro de todas as vigas e panos de lajes. Para a modelagem MII situação II (MII – SII) os carregamentos também foram aplicados em todas as vigas e lajes, porém, foram deslocadas de seus centros. Por fim, no modelo MII situação III (MII – SIII) os carregamentos foram aplicados em apenas determinadas vigas e lajes. As três situações levadas em consideração para a determinação dos esforços críticos podem ser observadas no Anexo C.

3.3.2.2 Determinação do sentido de circulação

Para a aplicação do carregamento horizontal nos pilares foi necessário determinar o sentido com que os veículos irão circular na edificação, com o intuito de aplicar os valores corretos das forças, seja a força aplicada paralelamente ou perpendicularmente ao sentido do fluxo. O sentido de circulação dos veículos levados em consideração, e os respectivos valores de carregamentos horizontais dos pilares é apresentado no Anexo D. Esses carregamentos horizontais foram aplicados ao modelo MII situação I, sendo considerado que essas ações horizontais ocorrem em apenas um pilar por vez, não ocorrendo a chance de aplicação simultânea em mais de um pilar. Além disso, esses esforços horizontais foram considerados de forma simultânea aos carregamentos aplicados de maneira distribuída e concentrada sobre as lajes e vigas apresentadas neste modelo de dimensionamento.

3.4 PARÂMETROS DE ANÁLISE

Os dados fornecidos ao *software* para o dimensionamento dos elementos são os mesmos para todos os modelos.

3.4.1 Processos de análise

- a) Processo de análise dos elementos → grelhas + pórtico espacial.
- b) Estabilidade global → processo P-Delta.
- c) Redução no engaste para nós semirrígidos → 20%.
- d) Redução na torção para vigas → 85%.
- e) Rigidez das lajes → $0,5 E_c I_c$.
- f) Rigidez das vigas → $0,4 E_c I_c$.
- g) Rigidez dos pilares → $0,8 E_c I_c$.
- h) Estado-limite último (ELU) → análise estática linear.
- i) Estado-limite de serviço (ELS) → rigidez fissurada.

3.4.2 Lajes maciças

- a) Modelo de dimensionamento → completo.
- b) Espaçamento das faixas → 50 cm.
- c) Número mínimo de faixas em cada direção → 4 faixas.

3.4.3 Vigas

- a) Modelo de cálculo para estribos → modelo I.
- b) Inclinação das bielas → 45° .
- c) Taxa de armadura máxima → 2%.

3.4.4 Pilares

- a) Processo de cálculo → rigidez aproximada.
- b) Utilizar momento mínimo → sim.
- c) Taxa de armadura máxima → 4%.

3.5 MATRIZ DE ANÁLISE

O Quadro 4 apresenta todos os modelos analisados para o desenvolvimento do estudo, assim como as suas considerações e nomenclaturas adotadas.

Quadro 4 – Modelos analisados.

Modelos	Considerações	Nomenclatura
MI	ABNT NBR 6120/80	MI
MII - Situação I	ABNT NBR 6120/19	MII - SI
MII - Situação II	ABNT NBR 6120/19	MII - SII
MII - Situação III	ABNT NBR 6120/19	MII - SIII

Fonte: Elaboração do autor (2021).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Para a apresentação dos resultados foram analisados as lajes e vigas do pavimento subsolo 01 e os pilares do pavimento subsolo 01 e 02.

4.1 MODELO DE DIMENSIONAMENTO MI

Após o lançamento da estrutura no *software*, os resultados exportados referentes a esforços e áreas de aço para as lajes, vigas e pilares podem ser encontrados no Apêndice A.

4.2 MODELO DE DIMENSIONAMENTO MII

Após o lançamento da estrutura no *software*, os resultados exportados referentes a esforços e áreas de aço para as lajes, vigas e pilares podem ser encontrados no Apêndice B.

4.3 DIFERENÇAS ENTRE O DIMENSIONAMENTO MI E MII

Para um melhor entendimento a respeito das diferenças, cada elemento foi analisado de maneira individual.

4.3.1 Diferenças apresentadas nas lajes

As Tabelas 24 e 25 apresentam o aumento de esforços e áreas de aço obtidos entre o modelo MI e a situação crítica desenvolvida através da análise dos modelos MII – SI, MII – SII e MII – SIII.

Tabela 24 – Aumento de momento fletor (Md) e área de aço (As) positiva para os eixos X e Y das lajes analisadas.

Lajes	Aumento Mdx + (kN.m/m)	Aumento Asx + (cm ² /m)	Aumento Mdy + (kN.m/m)	Aumento Asy + (cm ² /m)	Modelo que gerou o maior aumento
L8	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L9	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L10	0,15	0,04	0,20	0,00	MII - SII
L11	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L12	0,17	0,19	0,30	0,00	MII - SII
L13	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L19	0,25	0,06	0,10	0,00	MII - SIII
L25	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L26	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L27	0,34	0,09	0,00	0,00	MII - SIII
L28	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L29	0,11	0,03	0,30	0,00	MII - SIII
L30	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L31	0,13	0,04	0,30	0,00	MII - SII
L32	0,00	0,00	0,00	0,00	-
L33	0,07	0,04	0,10	0,08	MII - SIII

Fonte: Elaboração do autor (2021).

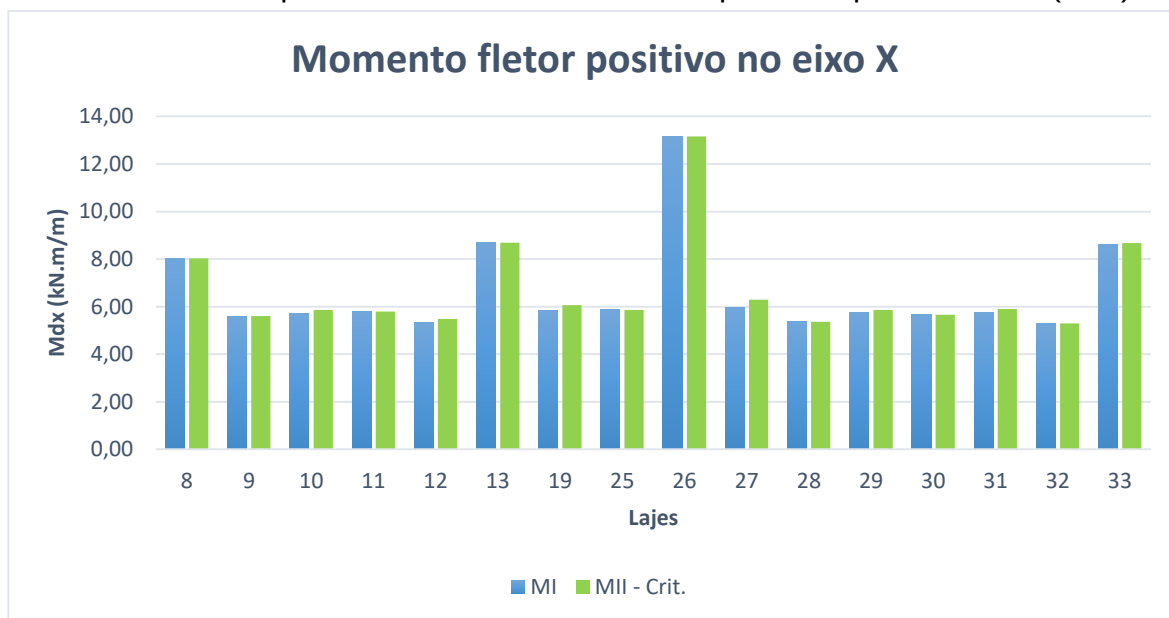
Tabela 25 – Aumento de momento fletor (Md) e área de aço (As) negativa para os eixos X e Y das lajes analisadas.

Lajes	Aumento Mdx - (kN.m/m)	Aumento Asx - (cm ² /m)	Aumento Mdy - (kN.m/m)	Aumento Asy - (cm ² /m)	Modelo que gerou o maior aumento
8	0,00	0,00	0,00	0,00	-
9	0,00	0,00	0,00	0,00	-
10	0,00	0,00	0,00	0,00	-
11	0,00	0,00	0,00	0,00	-
12	0,00	0,00	0,00	0,00	-
13	0,00	0,00	0,00	0,00	-
19	0,00	0,00	0,00	0,00	-
25	0,00	0,00	0,00	0,00	-
26	0,00	0,00	0,00	0,00	-
27	9,50	2,87	0,30	0,07	MII - SIII
28	1,10	0,31	0,00	0,00	MII - SIII
29	0,00	0,00	0,00	0,00	-
30	0,00	0,00	0,00	0,00	-
31	0,00	0,00	0,00	0,00	-
32	0,00	0,00	0,00	0,00	-
33	0,00	0,00	0,00	0,00	-

Fonte: Elaboração do autor (2021).

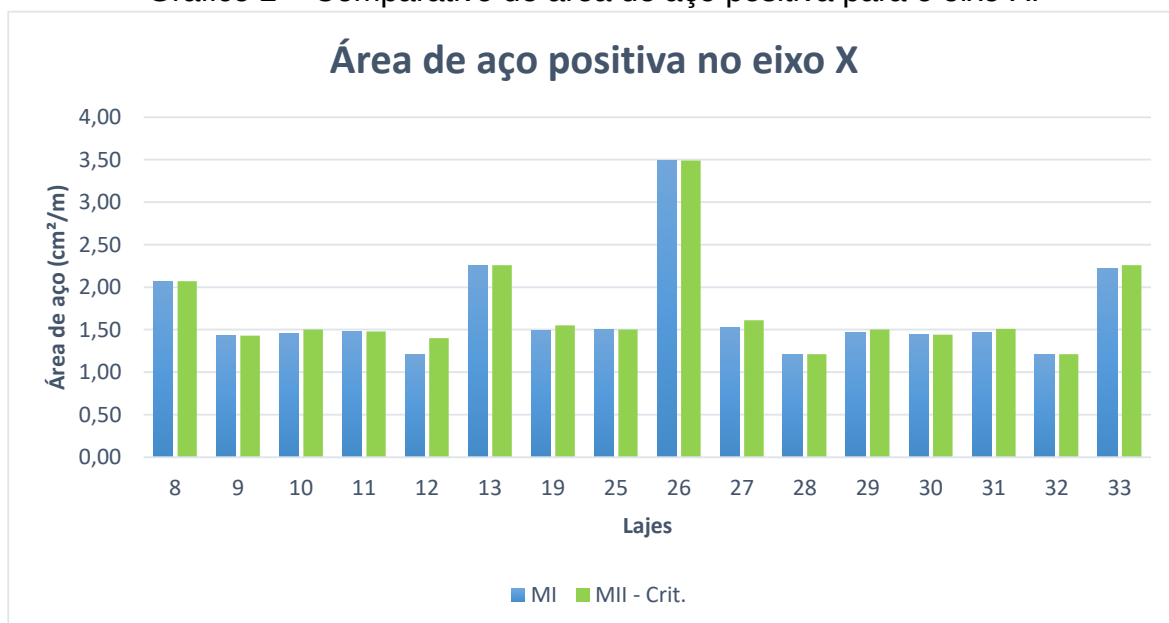
Os Gráficos 1 e 2 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço positiva para o eixo X entre os dois modelos.

Gráfico 1 – Comparativo de momentos fletores positivos para o eixo X (Mdx).



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 2 – Comparativo de área de aço positiva para o eixo X.



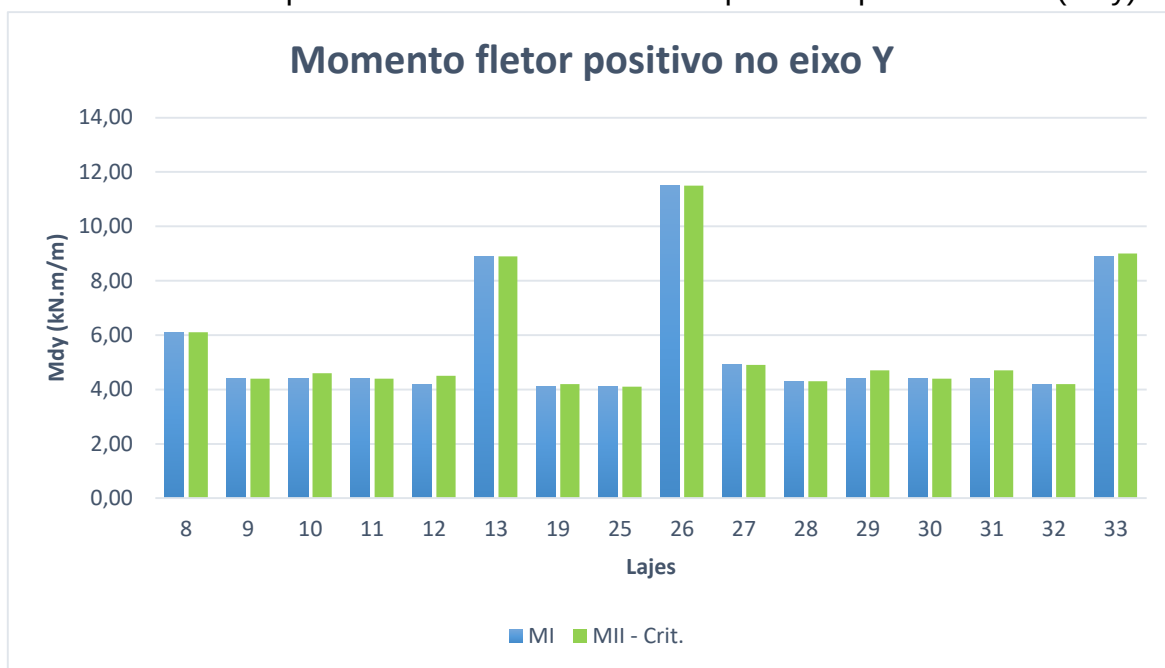
Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através da Tabela 24 e dos Gráficos 1 e 2, observa-se que do total de 16 lajes analisadas, 7 delas apresentaram um aumento em seu momento fletor positivo no eixo X, sendo o maior aumento na laje 27, de 0,34 kN.m/m, aproximadamente

5,71%. Devido ao aumento desses esforços, essas lajes apresentaram um acréscimo na sua área de aço média de 0,07 cm²/m, aproximadamente 4,54%.

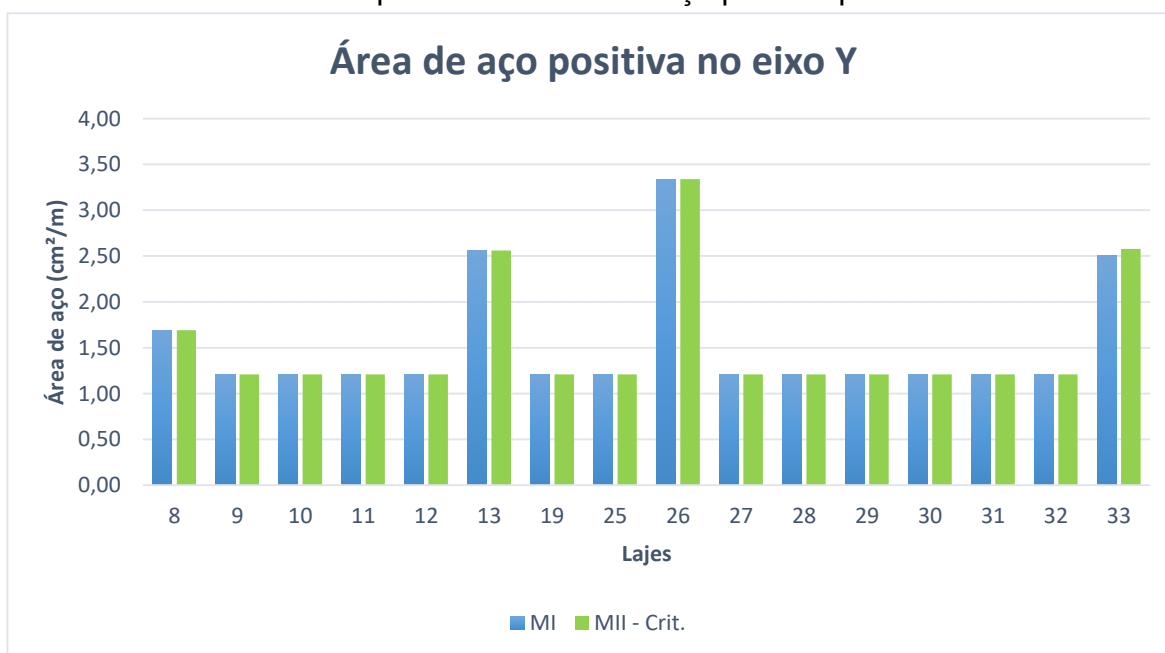
Os Gráficos 3 e 4 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço positiva para o eixo Y entre os dois modelos.

Gráfico 3 – Comparativo de momentos fletores positivos para o eixo Y (Mdy).



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 4 – Comparativo de área de aço positiva para o eixo Y.

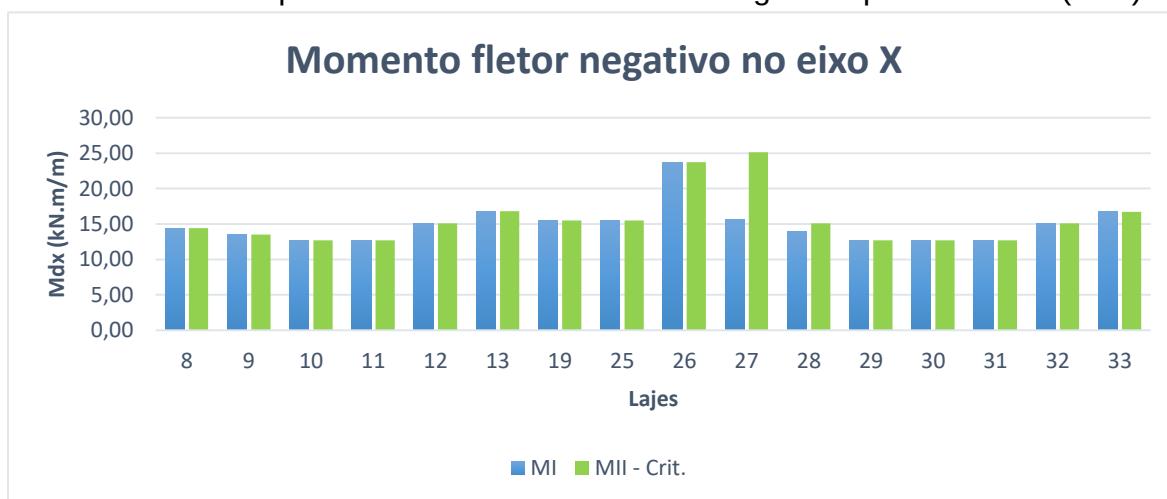


Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através da Tabela 24 e dos Gráficos 3 e 4 observa-se que das 16 lajes analisadas, 6 delas apresentaram um aumento de momento fletor positivo no eixo Y, sendo o maior aumento na laje 29, de 0,30 kN.m/m, aproximadamente 6,82%. Apesar desse aumento de esforços, apenas a laje 33 necessitou de um acréscimo de armadura, acréscimo esse de 0,08 cm²/m, aproximadamente 3,20%, nas demais lajes esse aumento de momento fletor não foi o suficiente para alterar a área de aço, que continuou sendo a mínima.

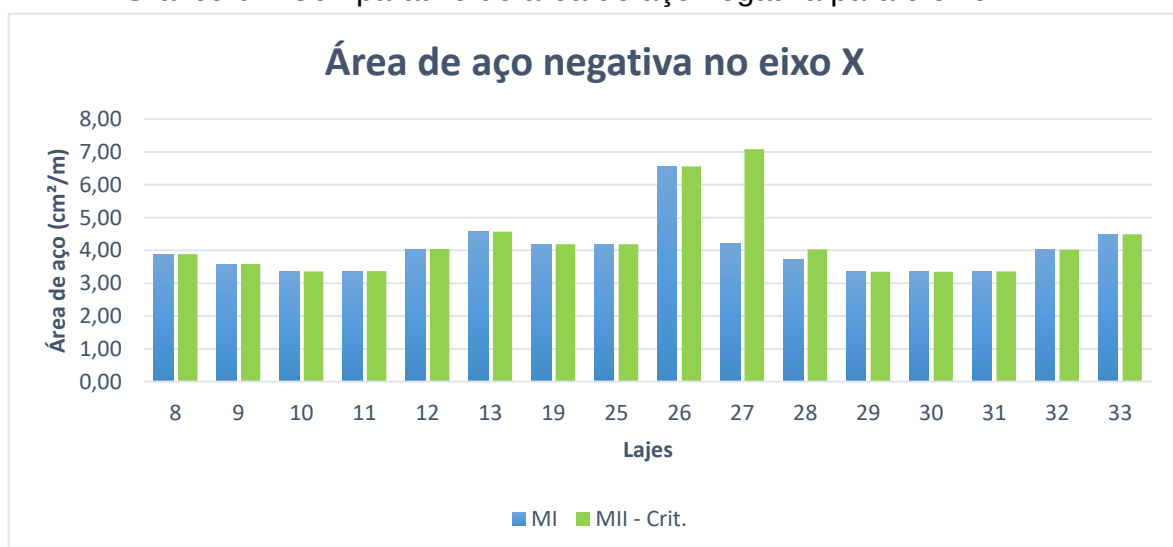
Os Gráficos 5 e 6 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço negativa para o eixo X entre os dois modelos.

Gráfico 5 – Comparativo de momentos fletores negativos para o eixo X (Mdx).



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 6 – Comparativo de área de aço negativa para o eixo X.

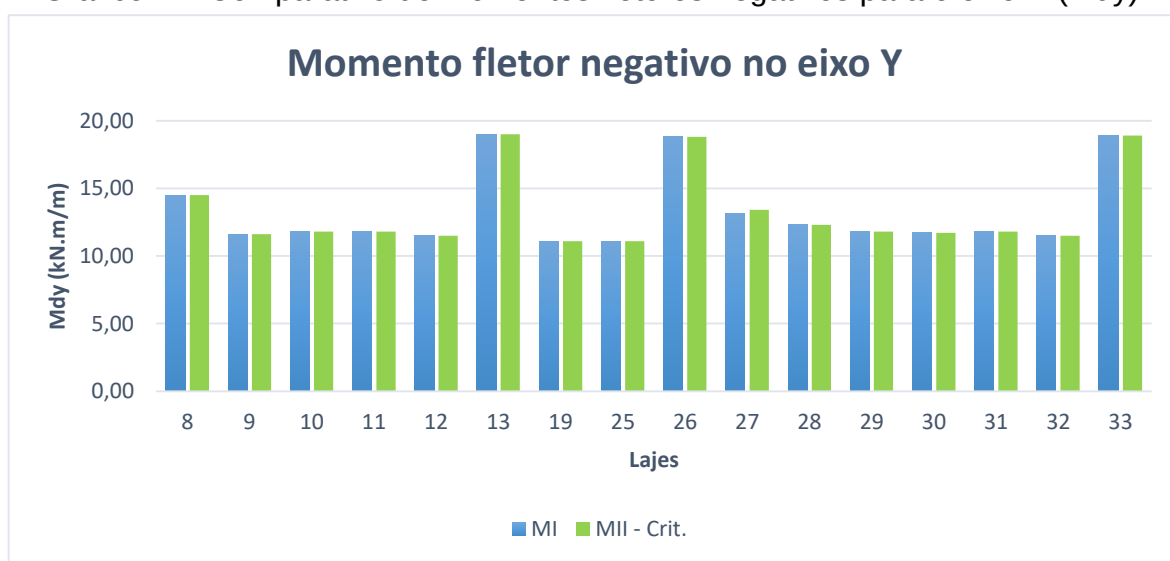


Fonte: Elaboração do autor (2021).

De acordo com a Tabela 25 e dos Gráficos 5 e 6 observa-se que das 16 lajes analisadas, apenas 2 delas tiveram o seu momento fletor negativo no eixo X aumentado, com o maior aumento ocorrendo na laje 27, de 9,50 kN.m/m, aproximadamente 60,90%. Esses aumentos necessitaram um acréscimo na área de aço média entre as lajes de 1,59 cm²/m, aproximadamente 40,05%.

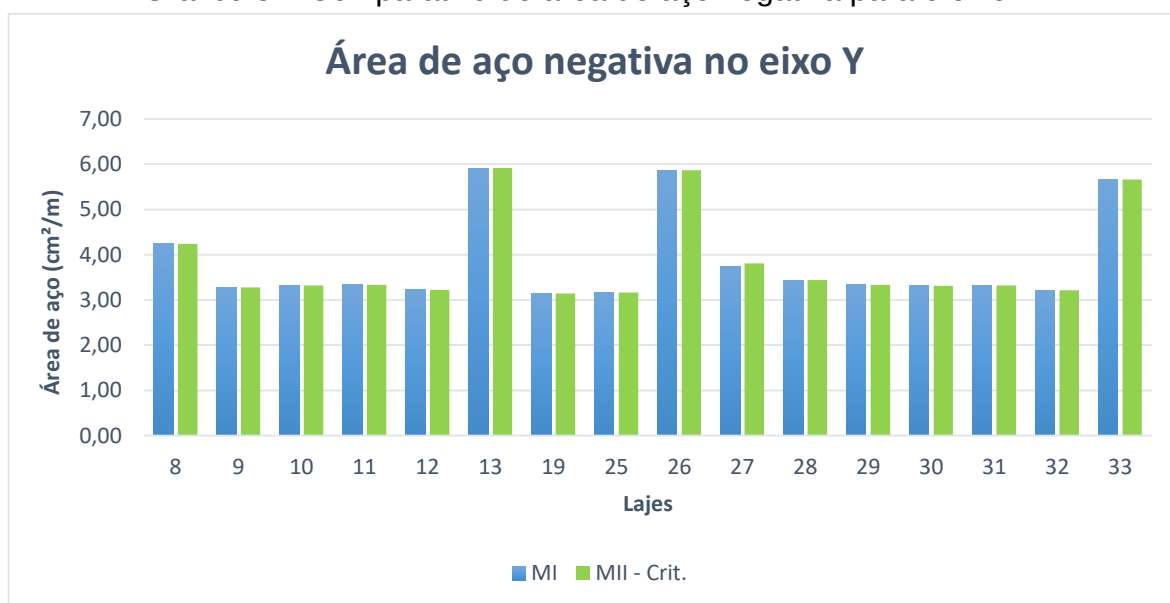
Os Gráficos 7 e 8 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço negativa para o eixo Y entre os dois modelos.

Gráfico 7 – Comparativo de momentos fletores negativos para o eixo Y (Mdy).



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 8 – Comparativo de área de aço negativa para o eixo Y.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Observa-se a partir da Tabela 25 e dos Gráficos 7 e 8 que das 16 lajes analisadas, apenas a laje 27 apresentou um aumento no seu momento fletor negativo no eixo Y, aumento esse de 0,30 kN.m/m, aproximadamente 2,29%, necessitando de um acréscimo na sua área de aço de 0,07 cm²/m (1,88%).

As Tabelas 24 e 25 demonstram que das situações analisadas para gerar os esforços críticos, todos os aumentos foram causados pelas situações II e III, sendo assim, o modelo MII – SI poderia ser descartado para a análise das lajes.

As comparações apresentadas mostram que para os esforços e áreas de aço positiva, nos dois eixos, e para os esforços e áreas de aço negativa no eixo Y, as diferenças entre os dimensionamentos não são significativas, diferente do que acontece para o eixo X negativo, que realmente apresentou diferenças consideráveis, mas que mesmo assim só foram encontradas em duas lajes.

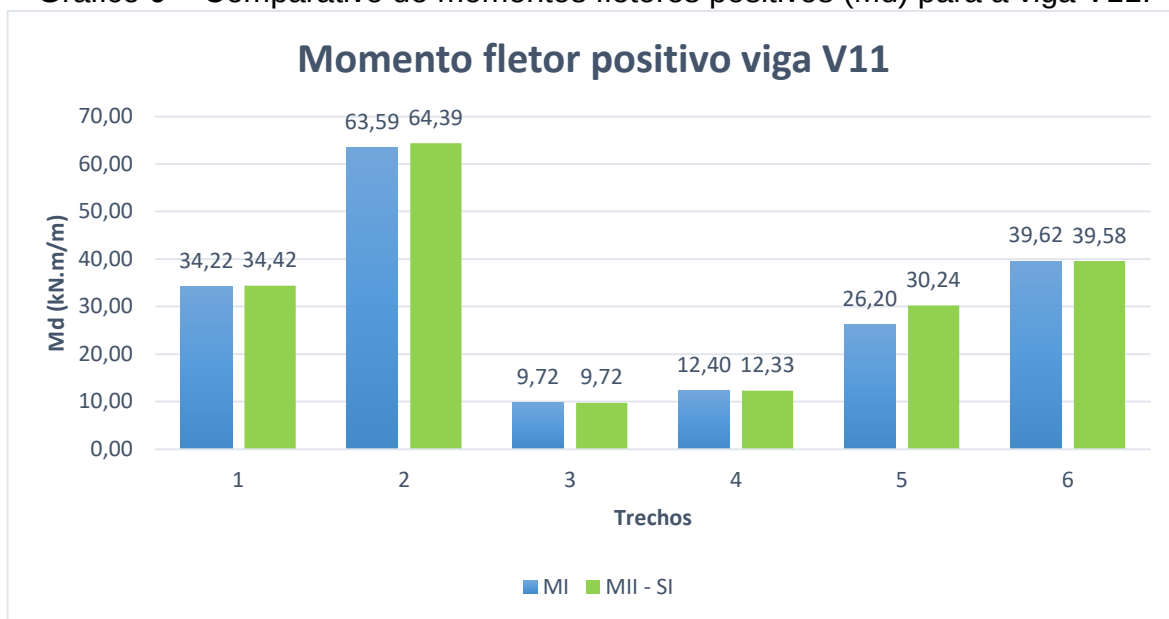
4.3.2 Diferenças apresentadas nas vigas

O aumento dos esforços solicitantes e áreas de aço para cada uma das vigas analisadas entre o modelo MI e o modelo MII – SI pode ser observado no Apêndice C.

No trecho de aplicação dos carregamentos, em média, as vigas tiveram um aumento de momento fletor positivo de 1,54 kN.m/m, aproximadamente 2,42%. Já para o momento fletor negativo, esse aumento foi de 3,87 kN.m/m, aproximadamente 3,48%. Para resistir a esses aumentos de esforços, a área de aço positiva teve um acréscimo médio de 0,05 cm² (1,70%), enquanto a área de aço negativa de 0,23 cm² (4,49%). O esforço cortante apresentou um aumento médio de 5,49 kN, aproximadamente 5,60%, porém, esse aumento de esforço não foi o suficiente para alterar a área de aço cisalhante de nenhuma viga, permanecendo com a sua área de aço mínima.

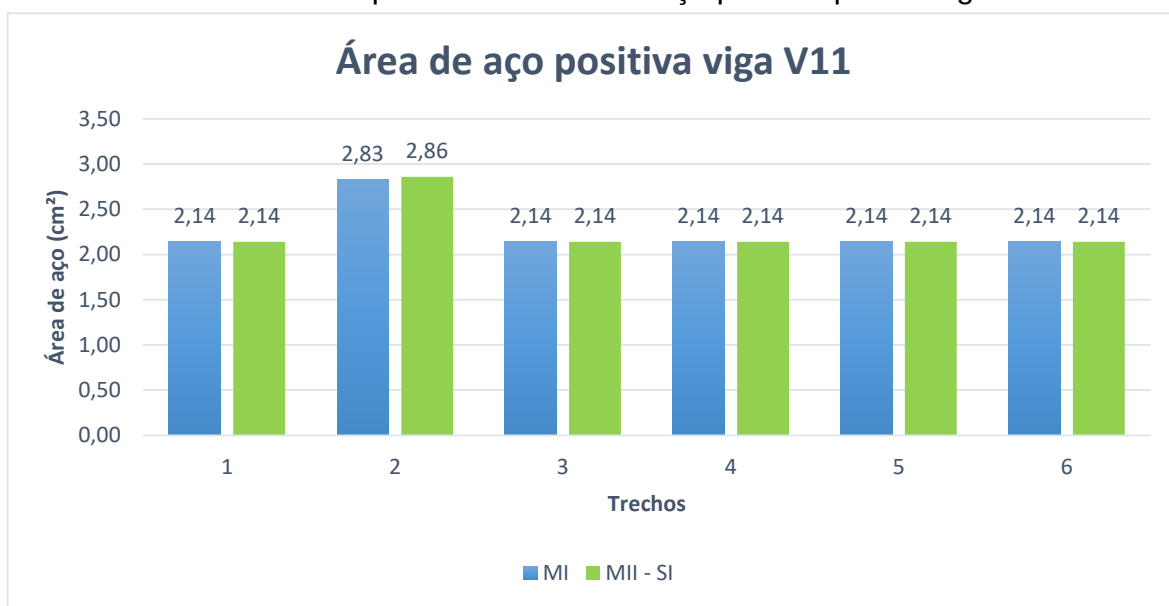
Os Gráficos 9 e 10 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço positiva para a viga V11, uma das vigas que apresentou as maiores diferenças entre os dois modelos.

Gráfico 9 – Comparativo de momentos fletores positivos (Md) para a viga V11.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 10 – Comparativo de área de aço positiva para a viga V11.

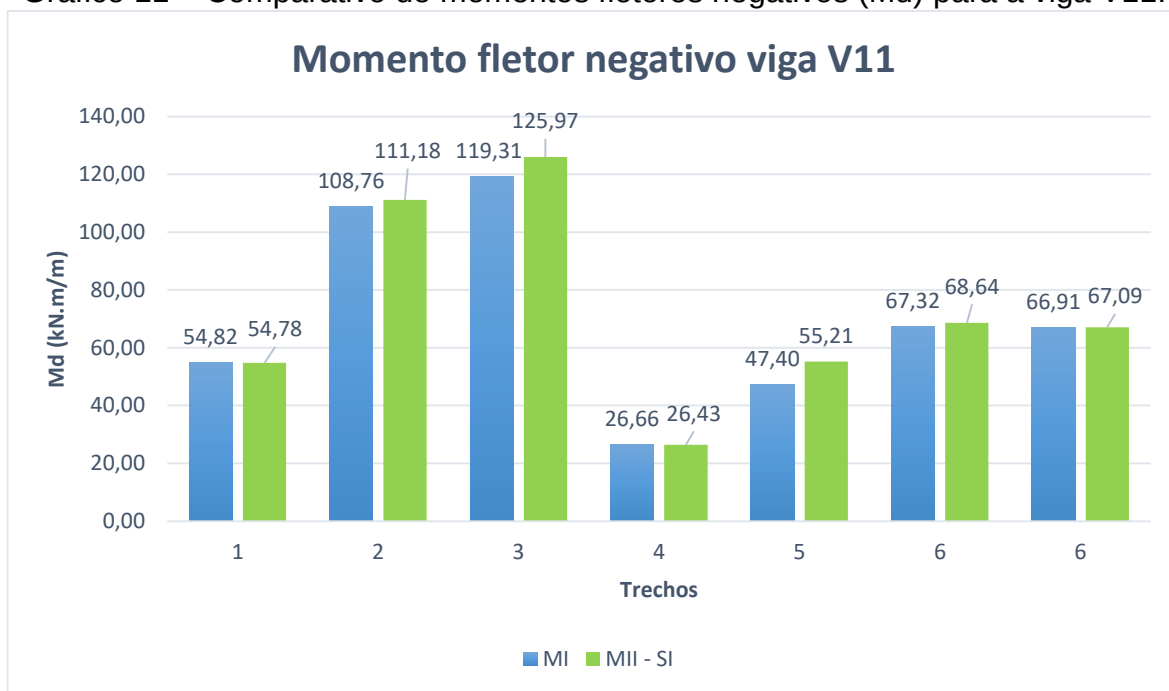


Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através dos Gráficos 9 e 10 percebe-se que o maior aumento de momento fletor positivo ocorre no trecho 5, sendo de 4,04 kN.m/m, aproximadamente (15,42%), porém, esse trecho segue sendo dimensionado pela sua área de aço mínima.

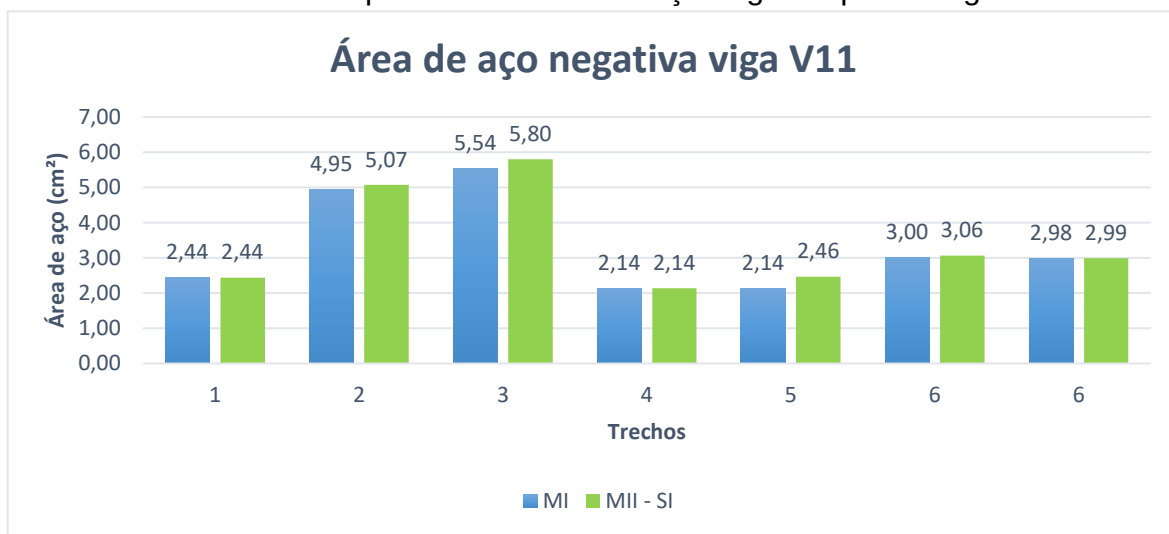
Os Gráficos 11 e 12 apresentam uma comparação entre os momentos fletores e áreas de aço negativa para a viga V11.

Gráfico 11 – Comparativo de momentos fletores negativos (Md) para a viga V11.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 12 – Comparativo de área de aço negativa para a viga V11.

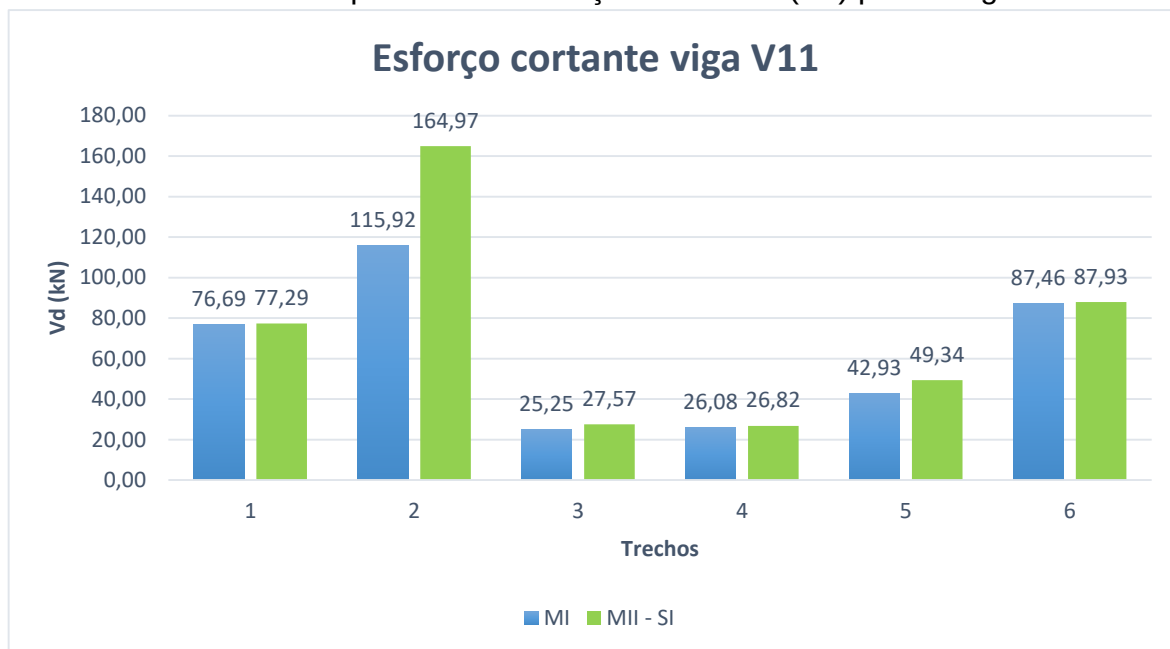


Fonte: Elaboração do autor (2021).

Observa-se a partir dos Gráficos 11 e 12 que o maior aumento de momento fletor negativo também ocorre no trecho 5, sendo de 7,81 kN.m/m, aproximadamente 16,48%. Neste caso a armadura mínima deixou de resistir ao aumento de momento fletor solicitante, e necessitou de um acréscimo de 0,32 cm² de aço, aproximadamente 14,95%.

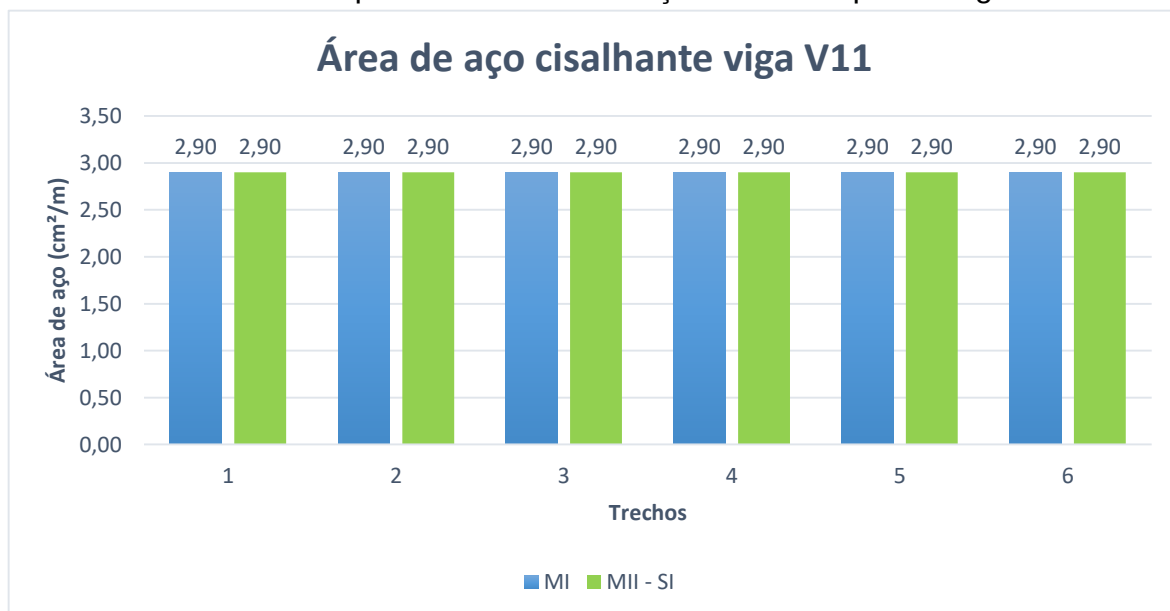
Os Gráficos 13 e 14 apresentam uma comparação entre os esforços cortantes e áreas de aço cisalhante para a viga V11.

Gráfico 13 – Comparativo de esforços cortantes (Vd) para a viga V11.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 14 – Comparativo de área de aço cisalhante para a viga V11.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através dos gráficos 13 e 14 percebe-se que o maior aumento de esforço cortante ocorre no trecho 2, sendo de 49,05 kN, aproximadamente 42,31%. Mesmo

com o aumento considerável de esforço cortante, a área de aço cisalhante permaneceu a mínima para todos os trechos.

As análises feitas mostram que para a grande maioria das vigas o aumento dos esforços não alterou de maneira significativa a área de aço longitudinal das vigas, apenas algumas vigas como a V11 e a V18 apresentaram diferenças consideráveis. Em relação aos esforços cortantes, todas as vigas tiveram aumentos, mas se mantiveram com a sua área de aço cisalhante mínima.

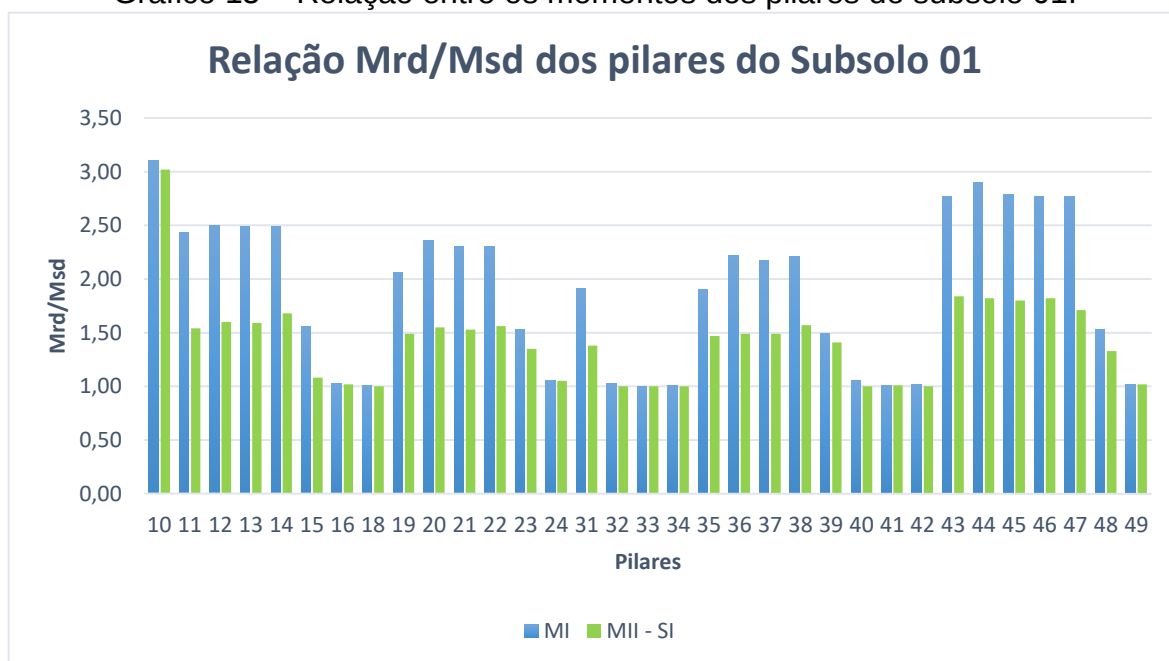
4.3.3 Diferenças apresentadas nos pilares

Os resultados relacionados ao aumento dos esforços e consequentemente de suas áreas de aço apresentadas entre o modelo MI e o modelo MII – SI podem ser observados no Apêndice D.

4.3.3.1 Pilares do subsolo 01

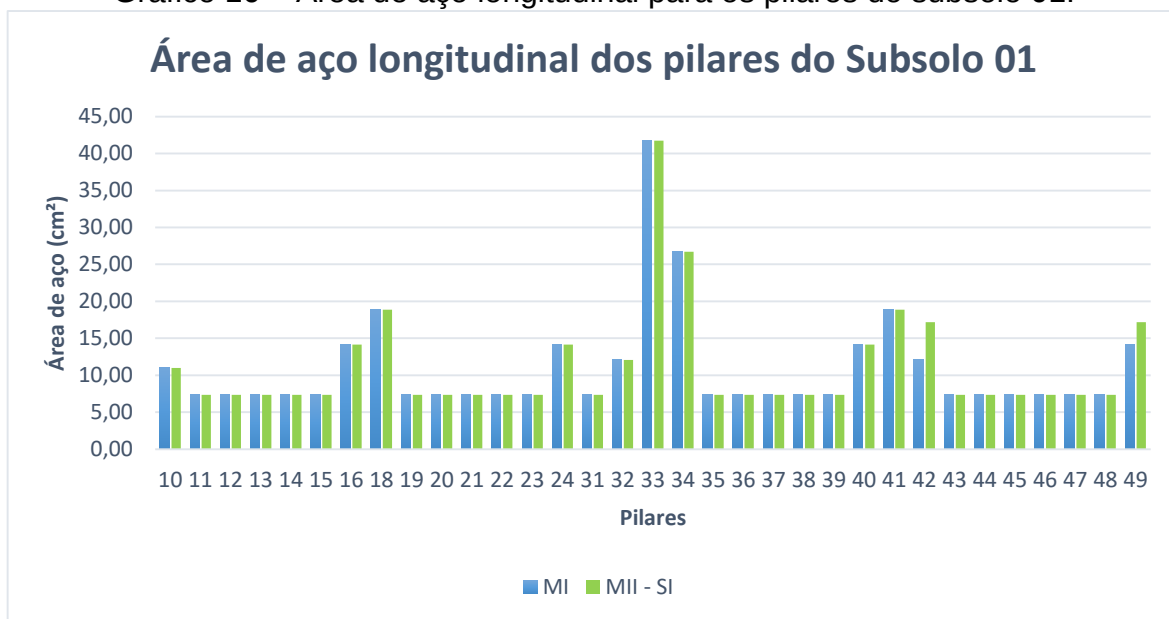
O Gráfico 15 apresenta a redução na relação entre o momento resistido e o momento solicitante para cada pilar. Percebe-se que a partir do momento em que os carregamentos horizontais são aplicados, o momento solicitante aumenta, diminuindo essa relação. Já o Gráfico 16 apresenta as áreas de aço atribuídas para cada um dos pilares.

Gráfico 15 – Relação entre os momentos dos pilares do subsolo 01.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 16 – Área de aço longitudinal para os pilares do subsolo 01.

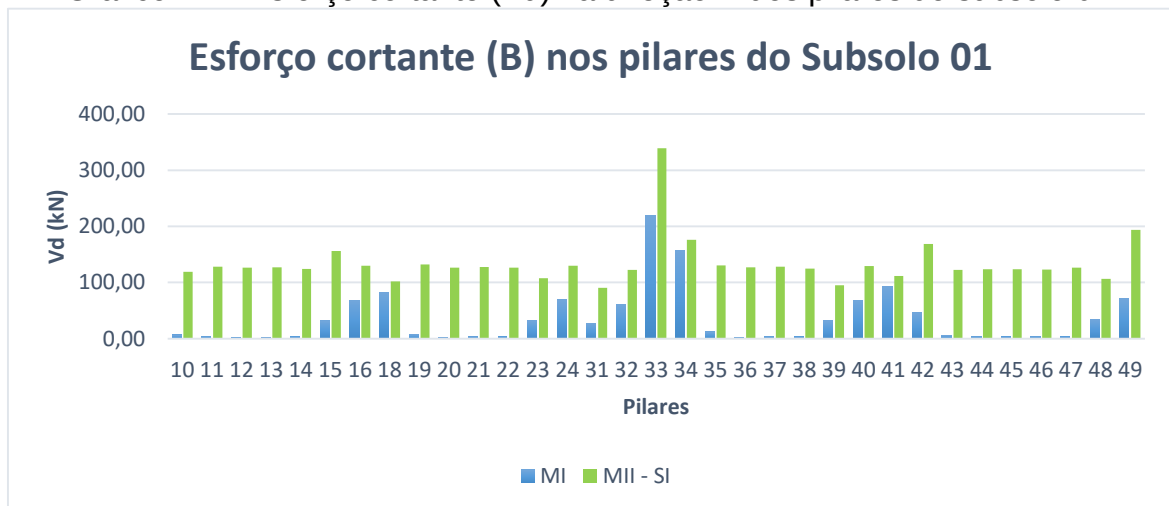


Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através dos Gráficos 15 e 16 percebe-se que dos 33 pilares analisados, 30 apresentaram uma redução em sua relação de momentos, redução média de 24,78%. Apesar da redução, apenas os pilares P42 e P49 tiveram um acréscimo de armadura, acréscimo médio de 4,08 cm², aproximadamente 31,15%.

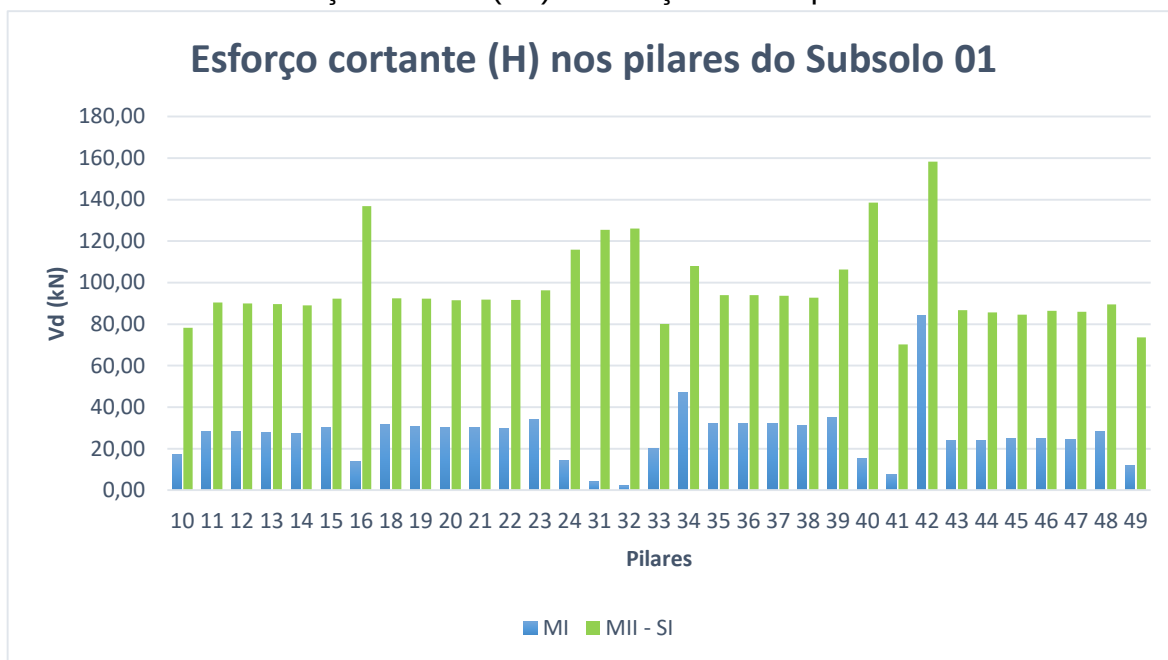
Os Gráficos 17, 18 e 19 apresentam os resultados relacionados ao esforço cortante e área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 01. A direção B dos pilares representa o seu eixo X em planta, enquanto a direção H representa o eixo Y.

Gráfico 17 – Esforço cortante (Vd) na direção B dos pilares do subsolo 01.



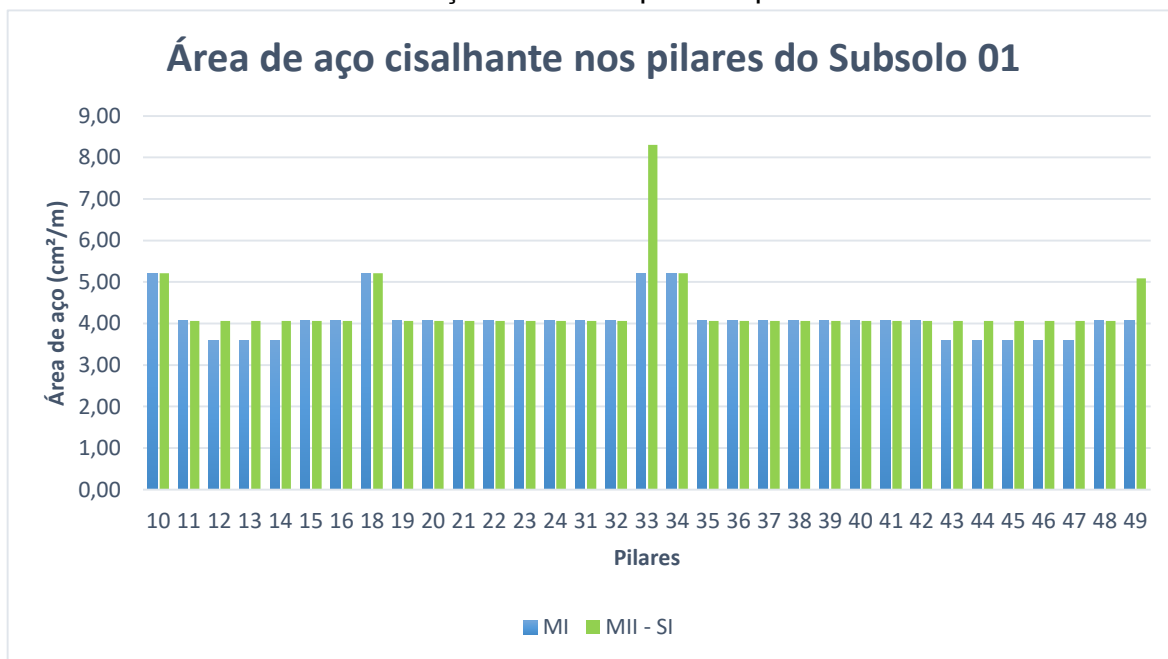
Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 18 – Esforço cortante (Vd) na direção H dos pilares do subsolo 01.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Gráfico 19 – Área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 01.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

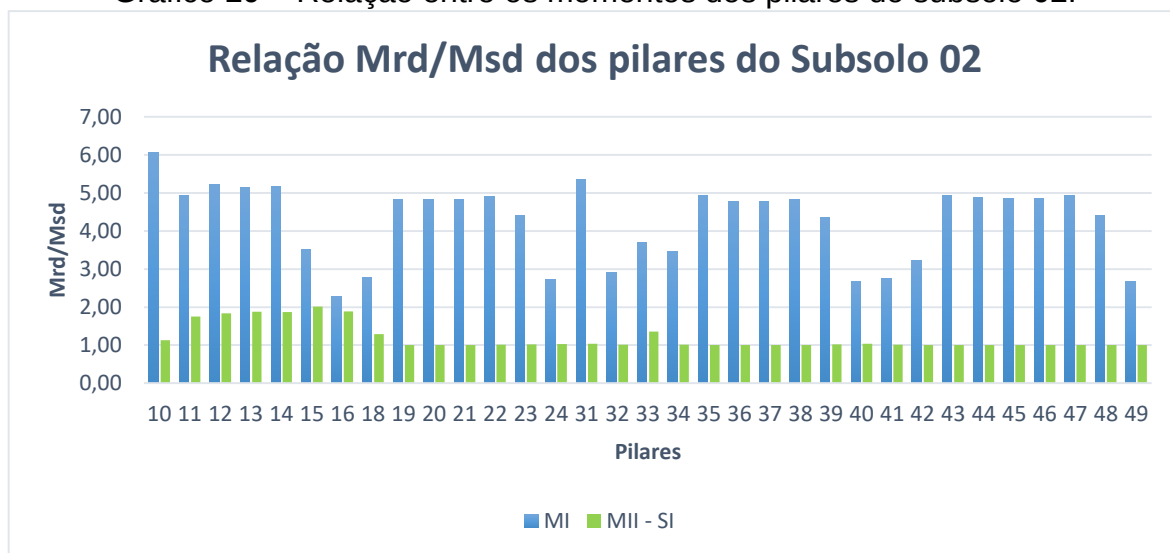
Analisando os Gráficos 17 e 18 percebe-se que todos os pilares tiveram um aumento significativo em seus esforços cortantes, na direção B, esse aumento foi em média de 98,65 kN, aproximadamente 178,39%, enquanto na direção H, o aumento foi de 70,88 kN, aproximadamente 166,14%, mesmo com todo esse

aumento, através do Gráfico 19 observa-se que apenas 10 pilares tiveram a sua área de aço cisalhante alterada, necessitando de um acréscimo médio de 0,78 cm²/m (20,49%) em relação a sua área de aço mínima.

4.3.3.2 Pilares do subsolo 02

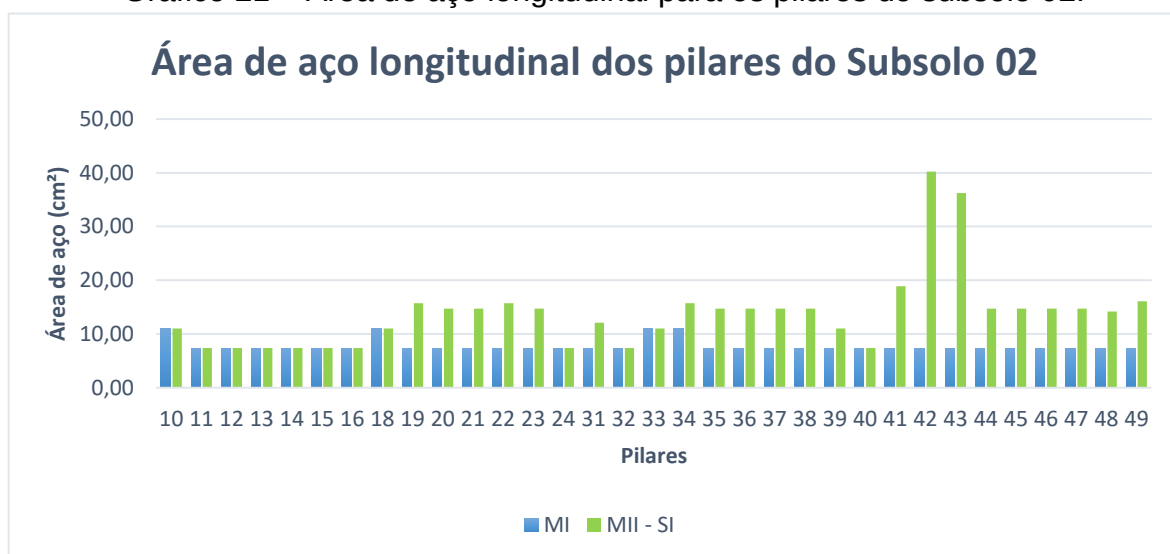
Para os pilares do subsolo 02, o Gráfico 20 mostra que a redução na relação dos momentos foi bem mais significativa, assim como a alteração em suas áreas de aço, como o Gráfico 21 apresenta.

Gráfico 20 – Relação entre os momentos dos pilares do subsolo 02.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

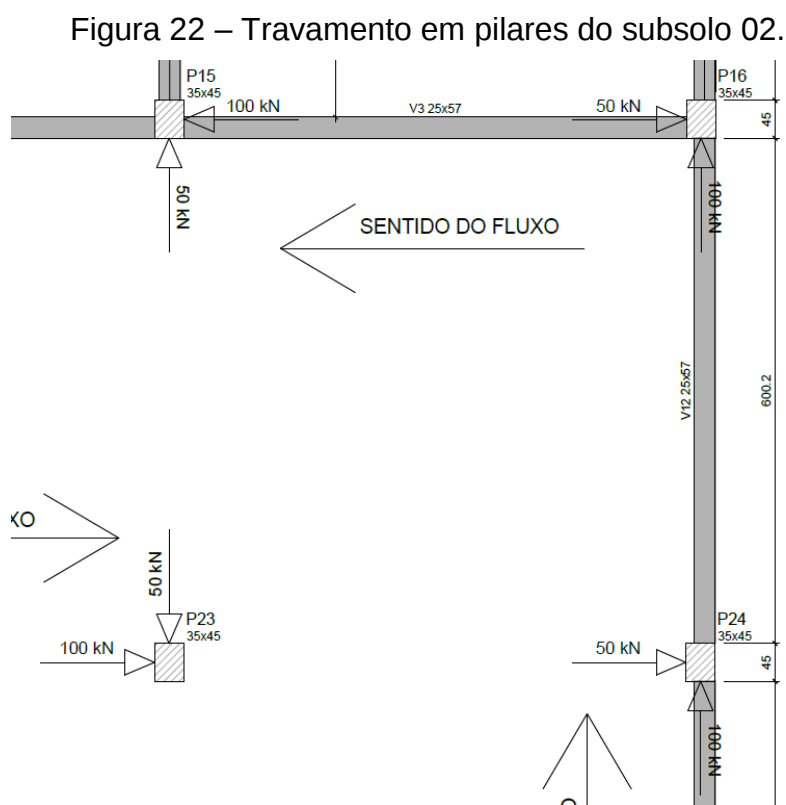
Gráfico 21 – Área de aço longitudinal para os pilares do subsolo 02.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através dos Gráficos 20 e 21 percebe-se que todos os pilares apresentaram uma redução em sua relação de momentos, redução média de 72,19%, alterando a área de aço de 21 pilares, com um acréscimo médio de 9,50 cm², aproximadamente 126,10%. Destaca-se que esses aumentos mais significativos que ocorreram nos pilares P41, P42 e P43 justificam-se pelo fato de estarem localizados em frente à rampa de acesso ao pavimento, o que resultou em seus carregamentos horizontais dobrados.

Dentro do modelo MII percebe-se que a grande maioria dos pilares que não tiveram a sua área de aço alterada, tratam-se de pilares que possuem vigas de travamento (baldrame) em algum sentido. A Figura 22 demonstra esta situação.

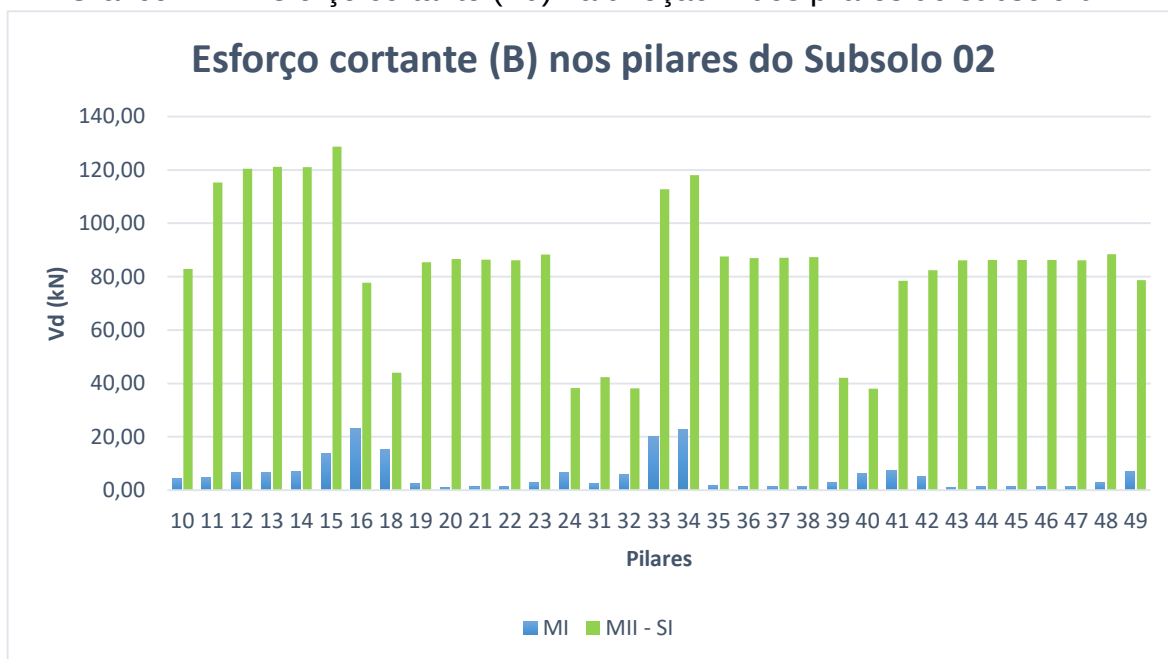


Fonte: Elaboração do autor (2021).

Através da Figura 22 percebe-se que o pilar P24 que possui travamento em Y, e os pilares P15 e P16 que possuem travamento em X e Y não necessitaram de acréscimo de armadura, enquanto o pilar P23 que não possui nenhum tipo de travamento, necessitou de um acréscimo.

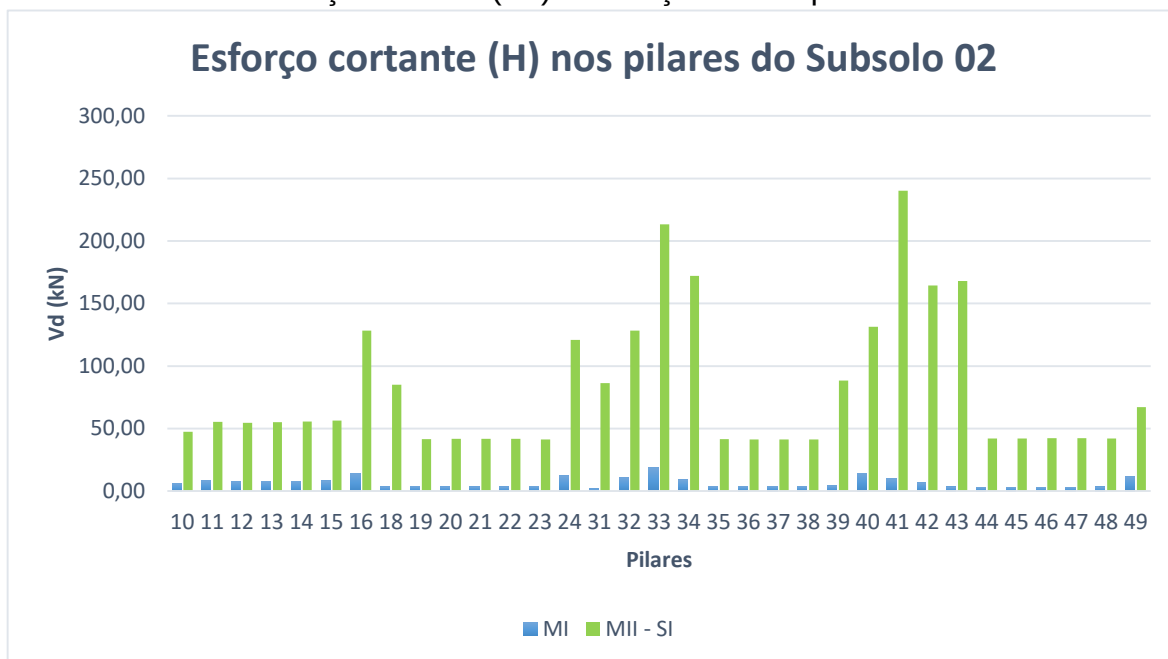
Os Gráficos 22, 23 e 24 apresentam os resultados relacionados ao esforço cortante e área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 02.

Gráfico 22 – Esforço cortante (Vd) na direção B dos pilares do subsolo 02.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

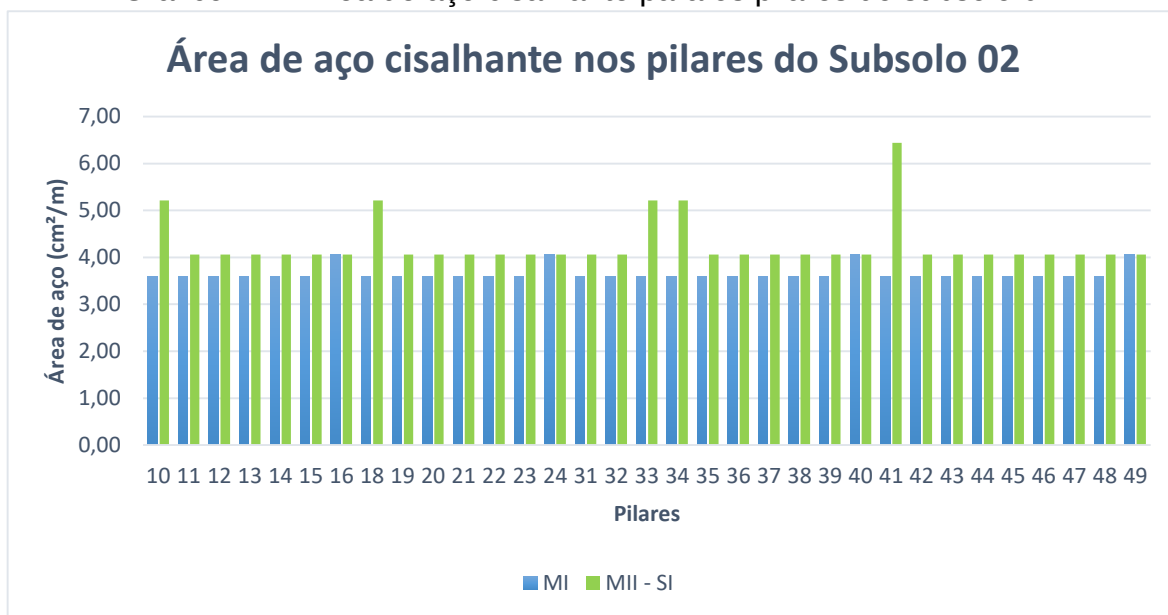
Gráfico 23 – Esforço cortante (Vd) na direção H dos pilares do subsolo 02.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Analisando os Gráficos 22 e 23 percebe-se que todos os pilares tiveram um aumento significativo em seus esforços cortantes, na direção B, esse aumento foi em média de 78,47 kN, aproximadamente 1349,10%, enquanto na direção H, o aumento foi de 75,33 kN, aproximadamente 1147,10%.

Gráfico 24 – Área de aço cisalhante para os pilares do subsolo 02.



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Observando o Gráfico 24 percebe-se que 29 pilares tiveram um acréscimo em sua área de aço cisalhante, acréscimo médio de 0,70 cm²/m, aproximadamente 19,44%.

As análises feitas mostram que os pilares que possuem vigas de travamento, ou seja, todos os pilares do subsolo 01 e alguns do subsolo 02, os resultados dos esforços devido a aplicação dos carregamentos horizontais se apresentam menos significativos do que os resultados encontrados para os pilares que não possuem, e que conseqüentemente, acabam apresentando um comprimento equivalente maior. Isso demonstra que é preciso ter uma atenção maior no dimensionamento do último subsolo de qualquer edifício garagem.

4.4 OTIMIZAÇÃO DOS PILARES

A Tabela 26 apresenta os valores encontrados para as áreas de aço dos pilares P44, P45, P46, P47 e P48 do subsolo 02 para o modelo MII – SI, levando em consideração uma possível otimização dos pilares relacionada a sua inércia, como mostra a Figura 23.

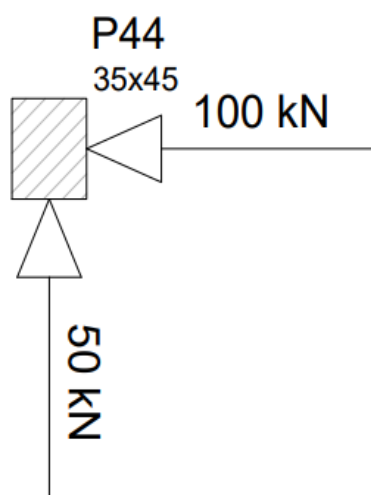
Tabela 26 – Áreas de aço relacionadas a inércia dos pilares.

Pilares	As inércia favorável (cm ²)	As inércia desfavorável (cm ²)
P44	12,06	14,73
P45	12,06	14,73
P46	11,00	14,73
P47	12,06	14,73
P48	11,00	14,14

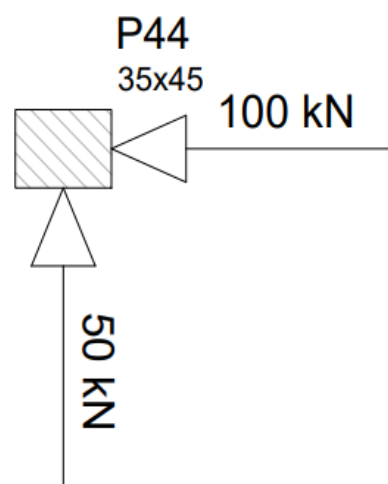
Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura 23 – Aplicação dos carregamentos horizontais em pilares com inércia favorável e desfavorável.

Inércia desfavorável



Inércia favorável



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Percebe-se que a partir do momento em que os maiores esforços horizontais são aplicados na face de maior inércia dos pilares, ocorre uma significativa redução em sua área de aço, de aproximadamente 20% entre os pilares exemplificados. Resultados esses que mostram a importância de uma definição do tráfego de veículos ao realizar o pré-lançamento dos pilares, com o objetivo de utilizarmos a orientação e a inércia dos mesmos a nosso favor.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo comparar os resultados técnicos entre os dois dimensionamentos estruturais de um edifício garagem em concreto armado obtidos pelo *software* Eberick.

Ao realizar o comparativo técnico dos elementos selecionados da estrutura, foi concluído que o modelo de dimensionamento MII, modelo que levou em consideração as novas prescrições normativas da ABNT NBR 6120/19, apresentou valores de esforços finais de cálculo e áreas de aço superiores quando comparados com os resultados obtidos para o dimensionamento MI. Para as lajes, apenas as diferenças encontradas para o eixo X negativo de duas lajes apresentaram valores significativos, a grande maioria das demais diferenças encontradas para o aumento dos esforços internos não foram o suficiente para alterar a área de aço dos elementos, e quando ocorreu o aumento, não apresentou valores significativos. O modelo MII – SIII apresentou-se como o mais significativo na análise do aumento dos esforços solicitantes nas lajes. Para as vigas o resultado é semelhante, porém, algumas vigas apresentaram um acréscimo significativo em sua área de aço longitudinal, principalmente para resistir ao aumento do momento fletor negativo nos trechos de aplicação dos carregamentos. Em relação ao cisalhamento, o aumento dos esforços não foi o suficiente para apresentar qualquer diferença na área de aço cisalhante entre os dois dimensionamentos. Em relação aos pilares, apenas 2 pilares do subsolo 01 necessitaram de um acréscimo em sua área de aço longitudinal, acréscimo médio de aproximadamente 31%. Já para o subsolo 02, 21 pilares necessitaram de um acréscimo em sua área de aço longitudinal, acréscimo muito mais relevante, em média de 126%. Por fim, apesar de um aumento muito significativo nos esforços cortantes, a área de aço cisalhante para os pilares necessitou de um acréscimo médio de apenas 20%.

Ao analisar os resultados dos dois dimensionamentos feitos, chegou-se à conclusão de que existem diferenças que são significativas, principalmente em relação aos pilares. Essas diferenças apresentadas não estão relacionadas aos carregamentos usuais e cotidianos do edifício garagem, são diferenças apresentadas que devem garantir a segurança e a integridade da estrutura ao ocorrer possíveis acidentes ou impactos contra os pilares.

Ao final dos dois dimensionamentos realizados, também foi concluído que saber interpretar uma alteração normativa é de suma importância para trabalhar com projetos estruturais, já que diversas vezes a norma não deixa estabelecido de maneira clara o que deve ser avaliado ou considerado.

Para futuros trabalhos que possam ter esse tema, fica a sugestão de um comparativo para edifícios garagens que possuam uma classificação de categoria superior a 1, trabalhando com estruturas que devem receber carregamentos bem mais elevados e que, conseqüentemente, vão apresentar diferenças ainda mais significativas. Além disso, pode-se avaliar esses efeitos nas fundações da estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

_____. **NBR 6.120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1980.

_____. **NBR 6.120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 6.123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

_____. **NBR 7.211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 7.222**: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. **NBR 7.480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 8.522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 8.681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR 8.953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 12.142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 12.655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BASTOS, P.S.S. **Notas de aula da disciplina Estruturas de concreto I**. Bauru, SP: Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2015.

AltoQi. Eberick. (2020). **Tecnologia BIM aplicada à engenharia**. Disponível em: <<http://hotsite.altoqi.com.br/eberick-2021/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

BASTOS, P.S.S. **Pilares de concreto armado: estruturas de concreto armado II**. Bauru, SP: UNESP 2020. Disponível em: <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Pilares.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2020.

CUNHA, J. **Estruturas de concreto armado**. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 198 p. Apostila, 2014.

ISAIA, G. C (2005). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, 1.vol., 1600 p.

KIRSTEN, André. **Análise dos esforços**: como utilizar as ferramentas do editor de grelhas para resolver picos de esforços em lajes? 2016. Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/256/1694/pt-br/como-utilizar-as-ferramentas-do-editor-de-grelhas-para-resolver-picos-de-esfor%C3%A7os-em-lajes.html>>. Acesso em: 23 set. 2020.

LEÃO, Marcelo; ARAGÃO, Moniz de. **Anotações de aula - Estruturas metálicas**: forças devidas ao vento em edificações. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/metallica/estruturas_metalicas_2013_3.pdf>. Acesso em: 04 set. 2020.

MATTOS, Nilson Cezar. **Como o Eberick dimensiona as vigas aos esforços de cisalhamento?** Critérios de cálculo. 2010. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/mobile/content/268/653/pt-br/dimensionamento-de-vigas-ao-cisalhamento--nbr-6118_2007.html>. Acesso em: 13 out. 2020.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2008). **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 3.ed., 71-84p.

MELO, P. R. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

PEDROSO, F. L. (2009). **Concreto: as origens e evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. São Paulo: IBRACON, 53.vol., 17-19p.

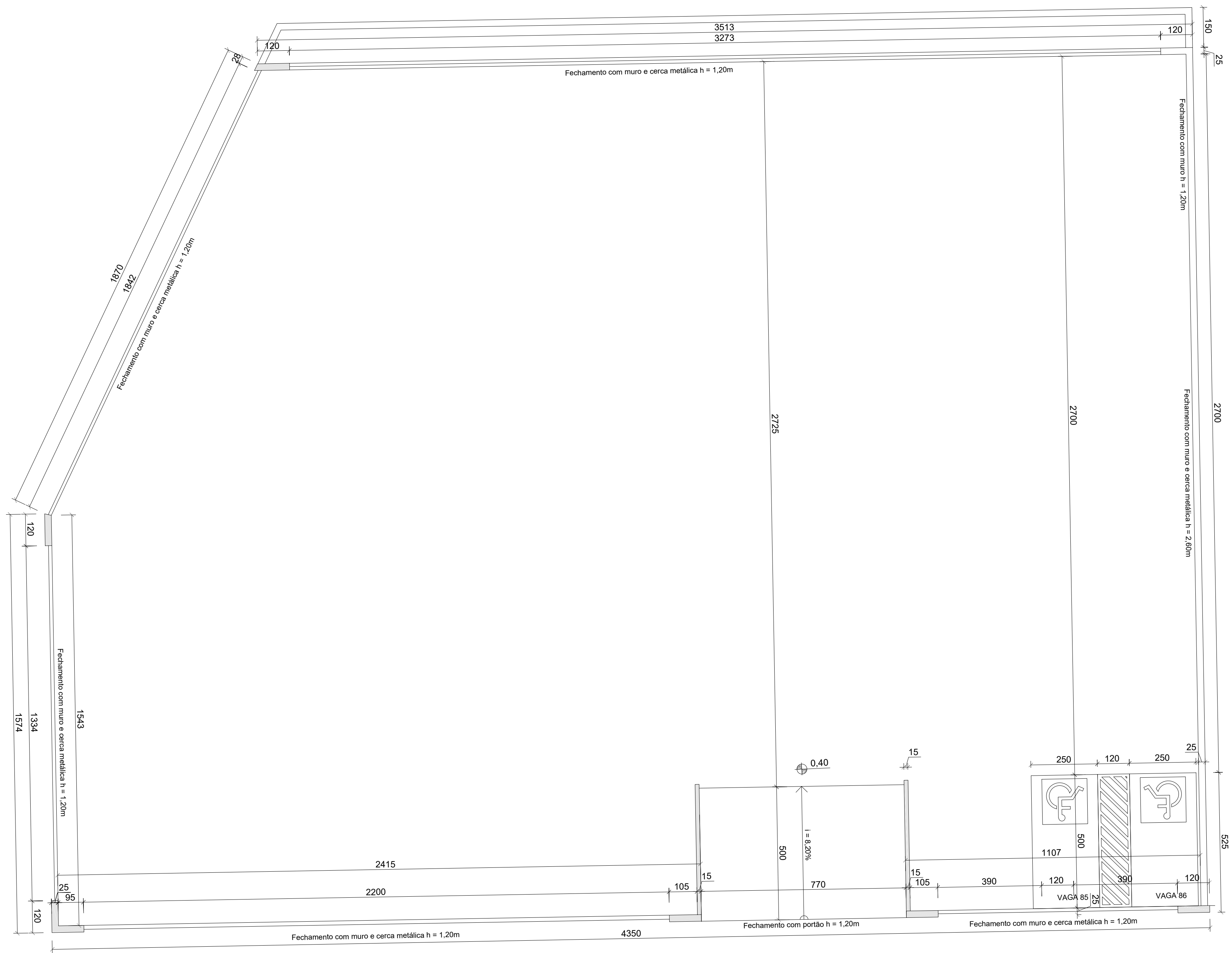
PEREIRA, Paulo R. Cassias. **Modelos de cálculo para pilares disponíveis no programa Eberick**: quais os métodos de cálculo de pilares utilizados pelo programa? 2012. Disponível em: <<http://faq.altoqi.com.br/content/263/1044/pt-br/modelos-de-c%C3%A1lculo-para-pilares-dispon%C3%ADveis-no-programa-eberick.html>>. Acesso em: 17 set. 2020.

PINTOS, Fábio de Marchi. **Configurações de análise - Painéis de lajes**. 2020. Disponível em: <<https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360000349494-Configura%C3%A7%C3%B5es-de-an%C3%A1lise-Pain%C3%A9is-de-lajes>>. Acesso em: 23 set. 2020.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de concreto armado**. São Paulo, SP: Oficinas de Textos, 2015.

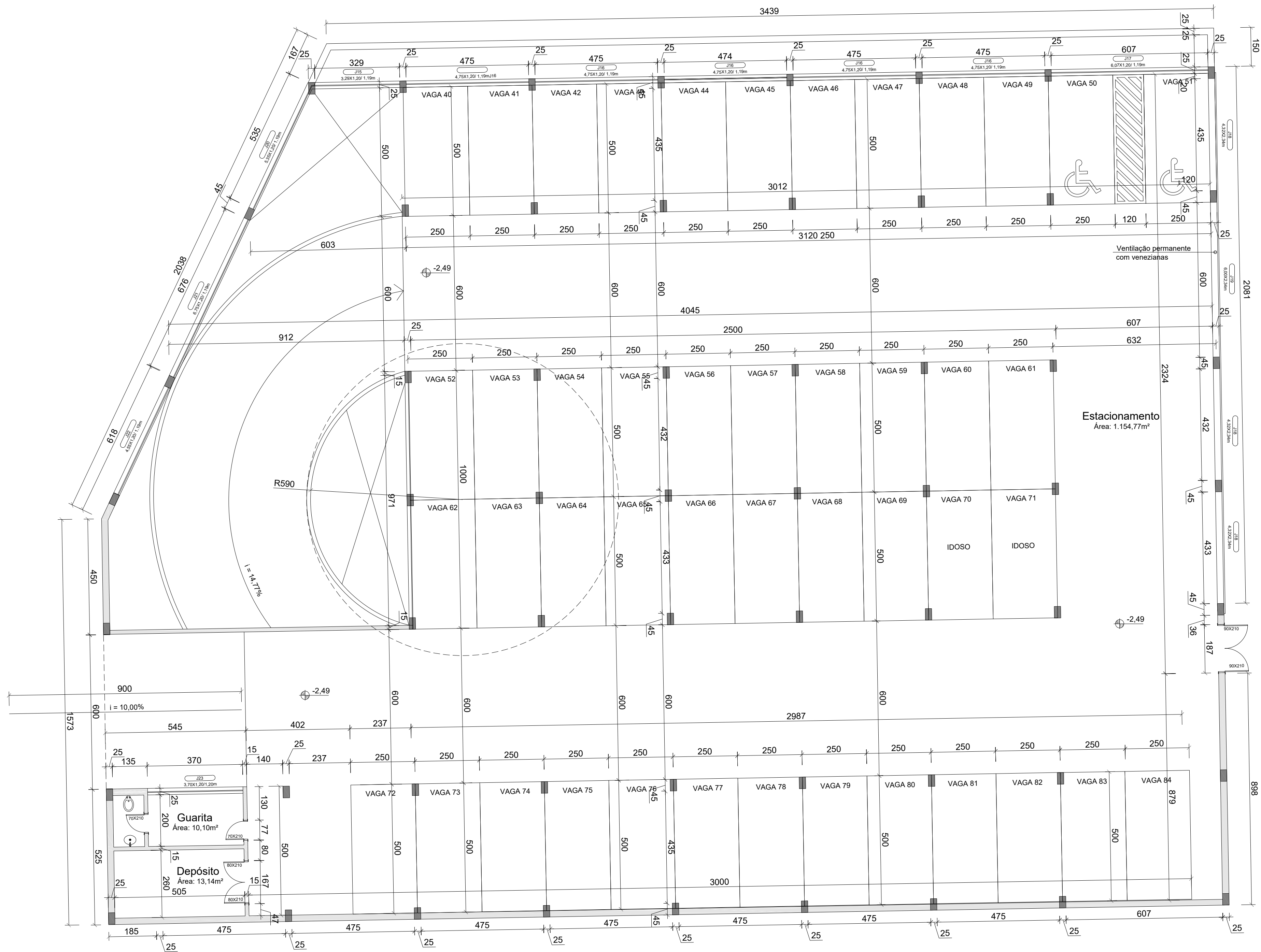
SCHNEIDER, Nelson. **NBR 6118/2014: Considerações sobre os efeitos de 2ª ordem em estruturas de concreto**: Estruturas. 2020. Disponível em: <<https://nelsoschneider.com.br/nbr-6118-2014/>>. Acesso em: 26 out. 2020.

ANEXO A
PROJETO ARQUITETÔNICO – PLANTAS BAIXAS



Planta baixa térreo
Esc.:1/100

 UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL	PROJETO: PROJETO ARQUITETÔNICO		
	ASSUNTO: PLANTA BAIXA - TÉRREO		
	UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI	DATA: JUN/2021	ESCALA: 1/100
	PRANCHA: 1/3		



PLANTA BAIXA SUBSOLO 01
Esc.:1/100



PROJETO:

PROJETO ARQUITETÔNICO

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

ASSUNTO:

PLANTA BAIXA - SUBSOLO 01

DATA:

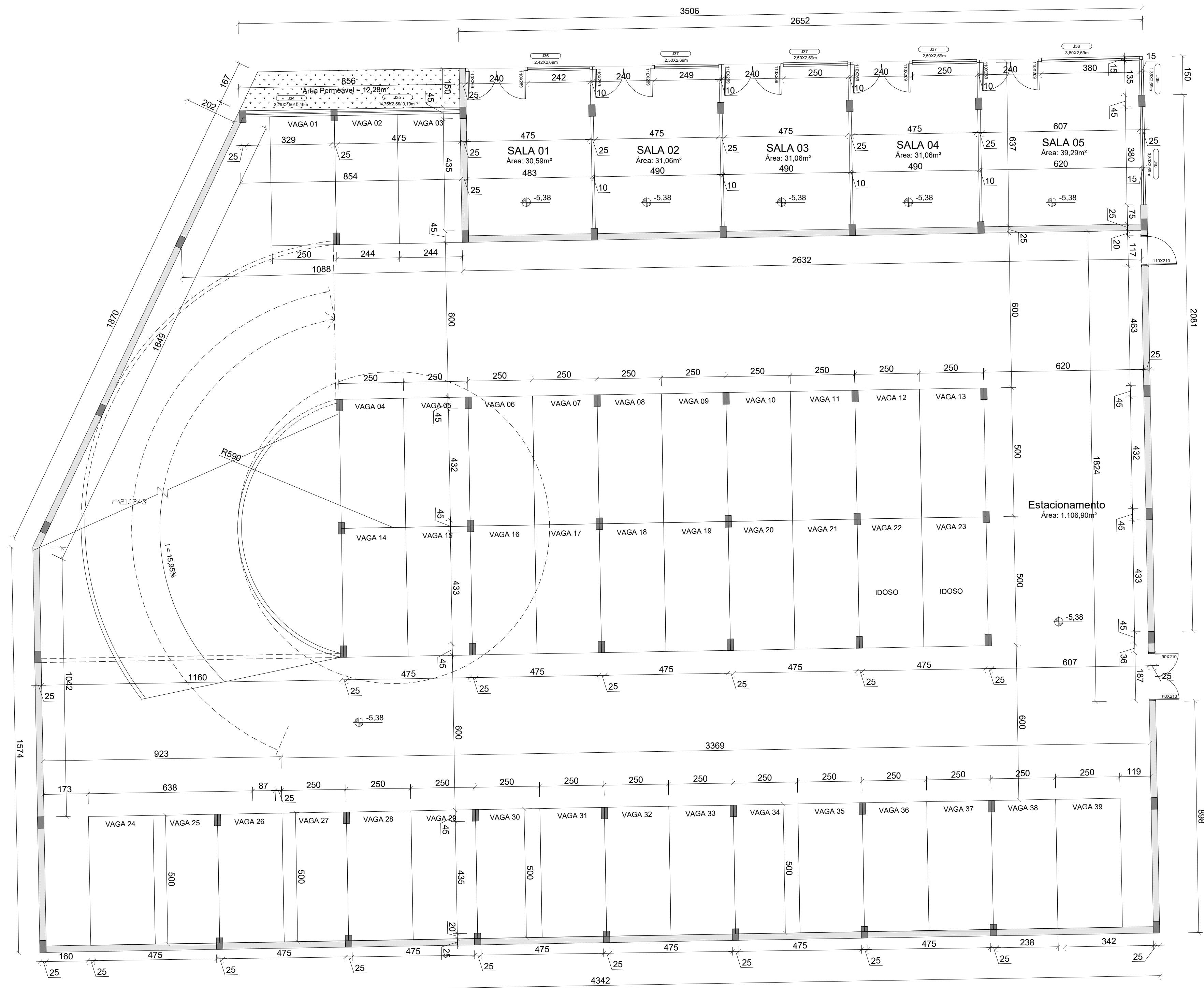
JUN/2021

ESCALA:

1/100

PRANCHA:

2/3



PLANTA BAIXA SUBSOLO 02
Esc.:1/100



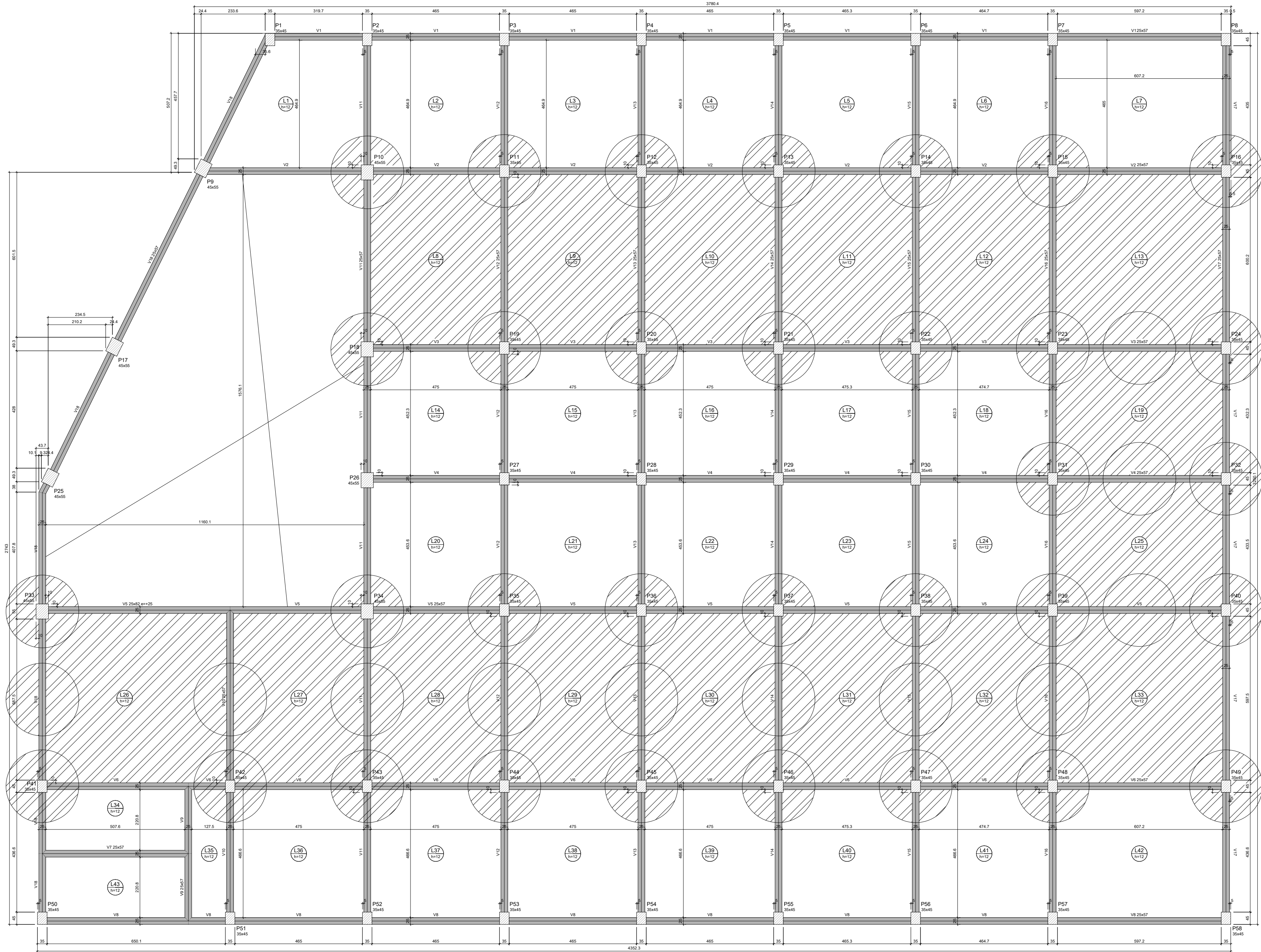
PROJETO: PROJETO ARQUITETÔNICO

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

ASSUNTO: PLANTA BAIXA - SUBSOLO 02

DATA: JUN/2021 ESCALA: 1/100 PRANCHA: 3/3

ANEXO B
IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE CIRCULAÇÃO DOS VEÍCULOS E ELEMENTOS
ANALISADOS



Elementos analisados

LEGENDA

ELEMENTOS ANALISADOS

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

UNCS
UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL

PROJETO: PROJETO DE FORMA

ASSUNTO: PLANTA DE FORMA SUBSOLO 01 - ELEMENTOS ANALISADOS

DATA: JUN/2021

ESCALA: 1/100

PRANCHA: 1/1

ANEXO C

SITUAÇÕES ANALISADAS PARA DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS

CRÍTICOS NAS LAJES DO MODELO MII



Situação analisada I



PROJETO: PROJETO DE FORMA

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

ASSUNTO: PLANTA DE FORMA SUBSOLO 01 - SITUAÇÃO I

DATA: JUN/2021 ESCALA: 1/100 PRANCHA: 1/3



Situação analisada II

escala 1:100



PROJETO: PROJETO DE FORMA

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

ASSUNTO: PLANTA DE FORMA SUBSOLO 01 - SITUAÇÃO II

DATA: JUN/2021 ESCALA: 1/100 PRANCHA: 2/3



Situação analisada III
escala 1:100



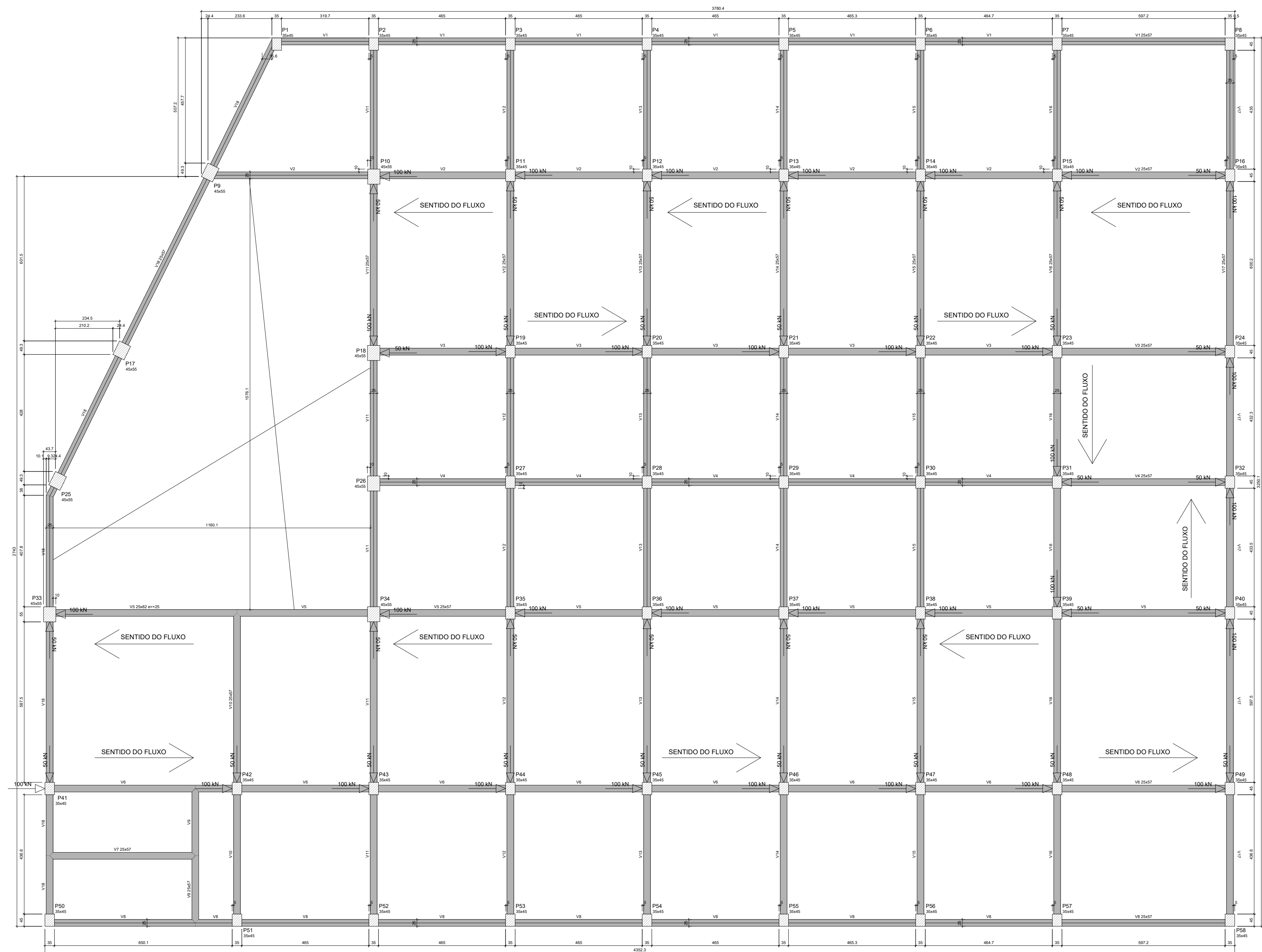
PROJETO: PROJETO DE FORMA

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
ORIENTADOR: HENRIETTE BARONI

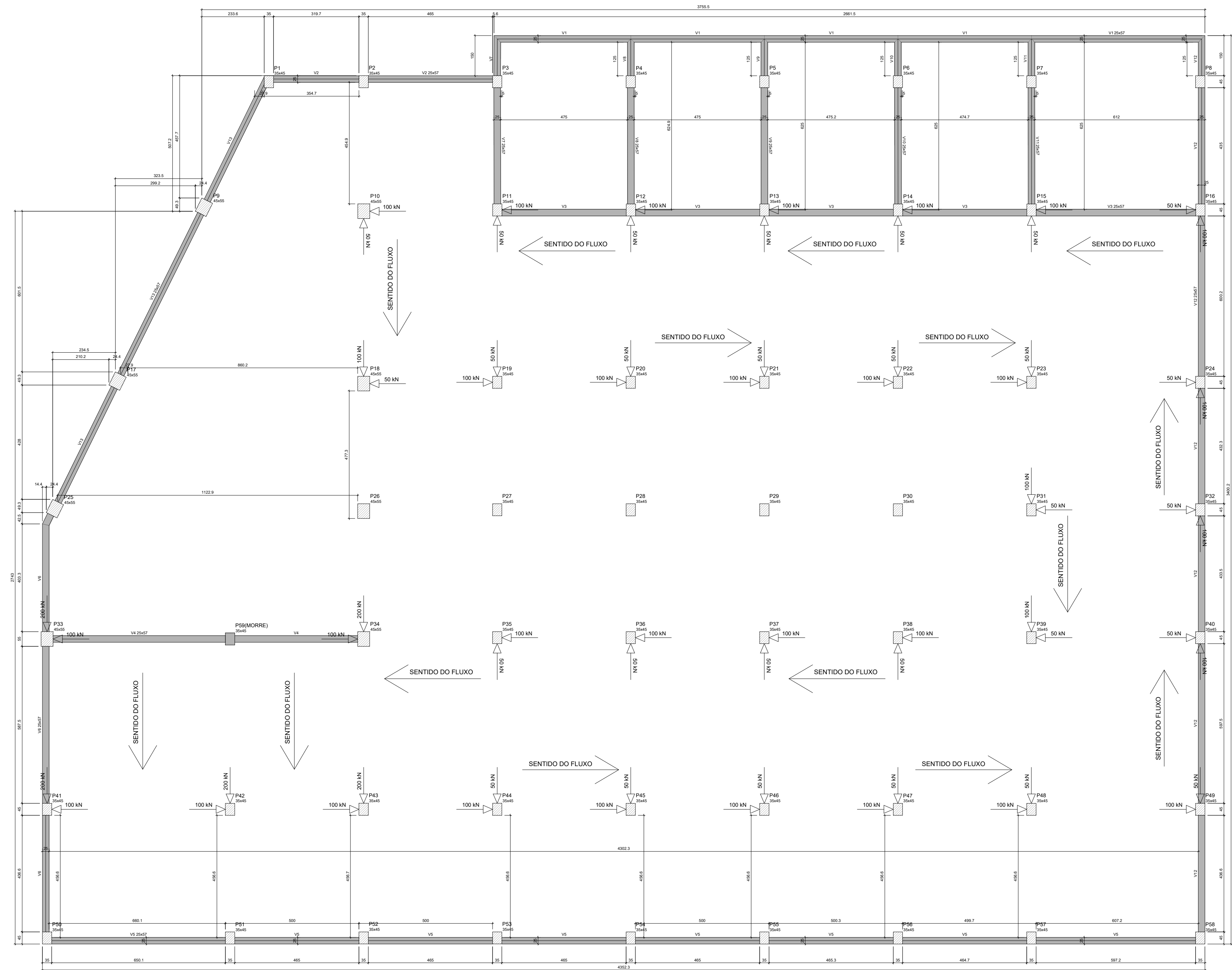
ASSUNTO: PLANTA DE FORMA SUBSOLO 01 - SITUAÇÃO III

DATA: JUN/2021 ESCALA: 1/100 PRANCHA: 3/3

ANEXO D
SENTIDO DE CIRCULAÇÃO DOS VEÍCULOS E CARREGAMENTOS
HORIZONTAIS NOS PILARES PARA O MODELO MII



Sentido do fluxo - Subsolo 01



scale 1:100

APÊNDICE A
RESULTADOS DO MODELO DE DIMENSIONAMENTO MI

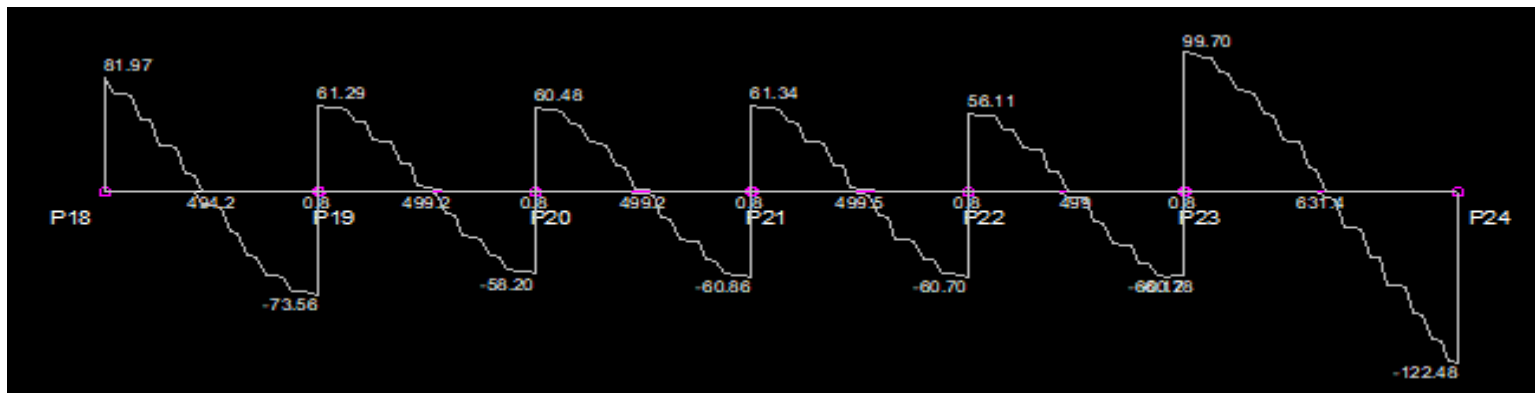
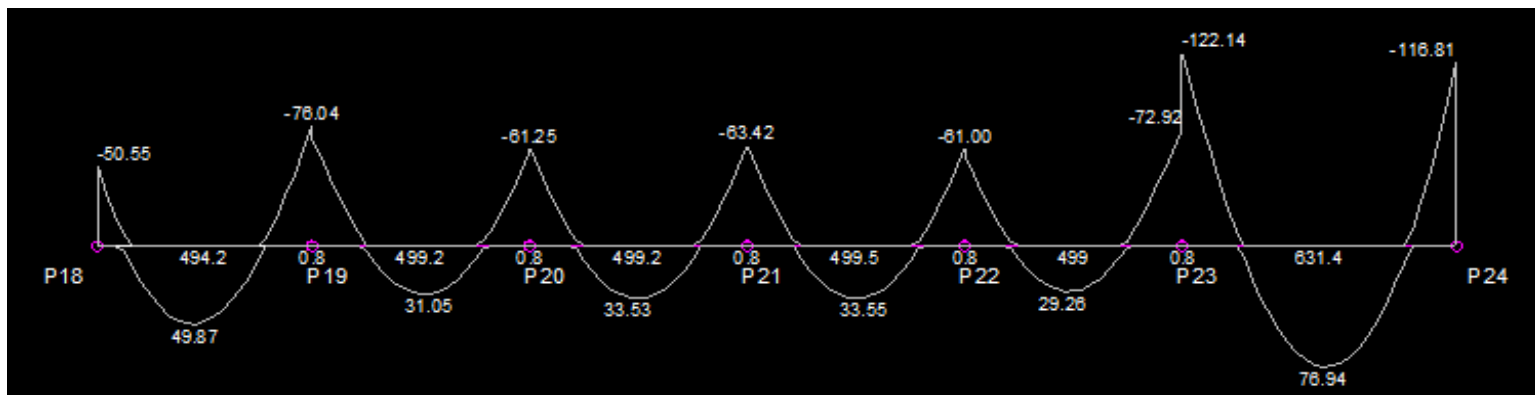
Figura A1 – Resultados de momentos fletores e áreas de aço para as lajes.

Análise de resultado das lajes à flexão					Análise de resultado das lajes à flexão				
Lajes	Mdx + (kN.m/m)	Asx + (cm ² /m)	Mdy + (kN.m/m)	Asy + (cm ² /m)	Lajes	Mdx - (kN.m/m)	Asx - (cm ² /m)	Mdy - (kN.m/m)	Asy - (cm ² /m)
L8	8,03	2,07	6,10	1,69	L8	14,40	3,88	14,50	4,24
L9	5,61	1,43	4,40	1,21	L9	13,50	3,58	11,60	3,28
L10	5,71	1,46	4,40	1,21	L10	12,70	3,36	11,80	3,32
L11	5,79	1,48	4,40	1,21	L11	12,70	3,37	11,80	3,33
L12	5,32	1,21	4,20	1,21	L12	15,10	4,04	11,50	3,22
L13	8,69	2,26	8,90	2,56	L13	16,80	4,57	19,00	5,92
L19	5,82	1,49	4,10	1,21	L19	15,50	4,19	11,10	3,14
L25	5,86	1,50	4,10	1,21	L25	15,50	4,19	11,10	3,16
L26	13,16	3,49	11,50	3,34	L26	23,70	6,56	18,80	5,87
L27	5,95	1,52	4,90	1,21	L27	15,60	4,21	13,10	3,74
L28	5,37	1,21	4,30	1,21	L28	14,00	3,72	12,30	3,44
L29	5,75	1,47	4,40	1,21	L29	12,70	3,35	11,80	3,33
L30	5,66	1,44	4,40	1,21	L30	12,70	3,35	11,70	3,31
L31	5,77	1,47	4,40	1,21	L31	12,70	3,36	11,80	3,32
L32	5,30	1,21	4,20	1,21	L32	15,10	4,02	11,50	3,21
L33	8,61	2,22	8,90	2,50	L33	16,70	4,49	18,90	5,66

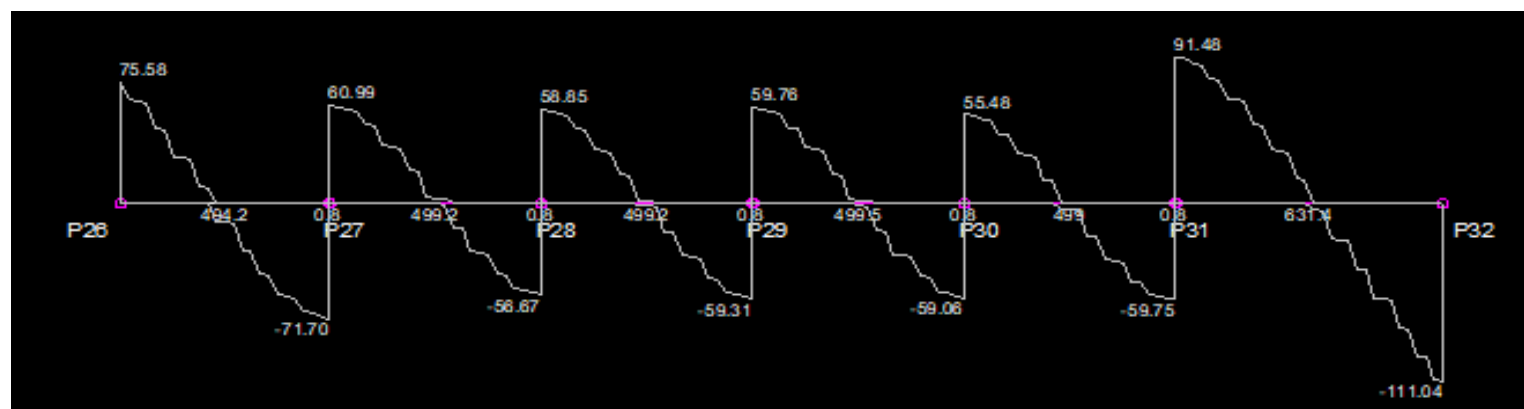
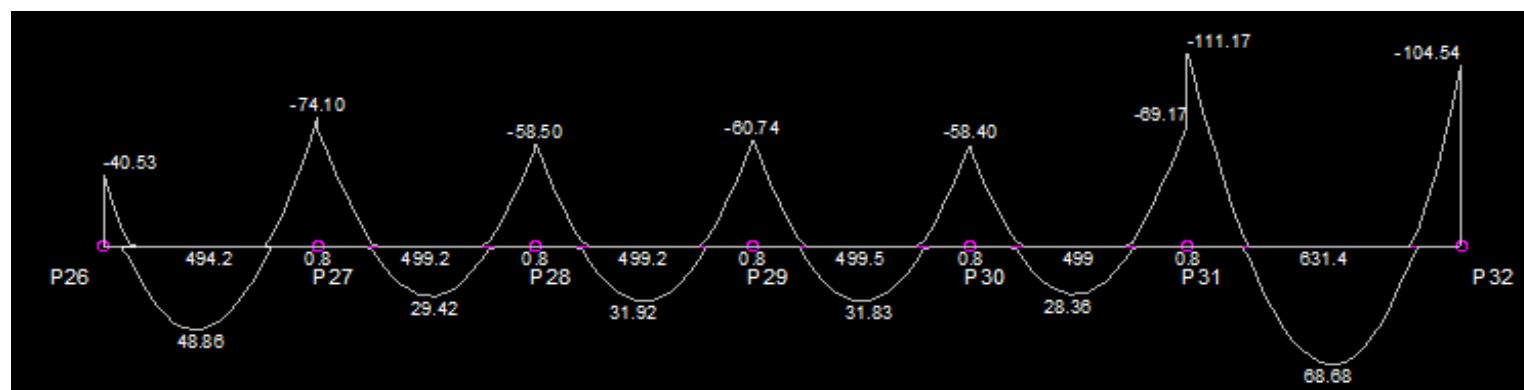
Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura A2 – Resultados de esforços e áreas de aço para as vigas.

Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 3	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 3	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	49,87	2,21	50,55	2,24	Trecho 1	81,97	674,61	0,23	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	31,05	2,14	76,04	3,42	Trecho 2	61,29	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	33,53	2,14	61,25	2,72	Trecho 3	60,86	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	33,55	2,14	63,42	2,82	Trecho 4	61,34	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	29,26	2,14	61,00	2,71	Trecho 5	60,78	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	76,94	3,45	122,14	5,68	Trecho 6	122,48	673,02	0,13	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	116,81	5,42							

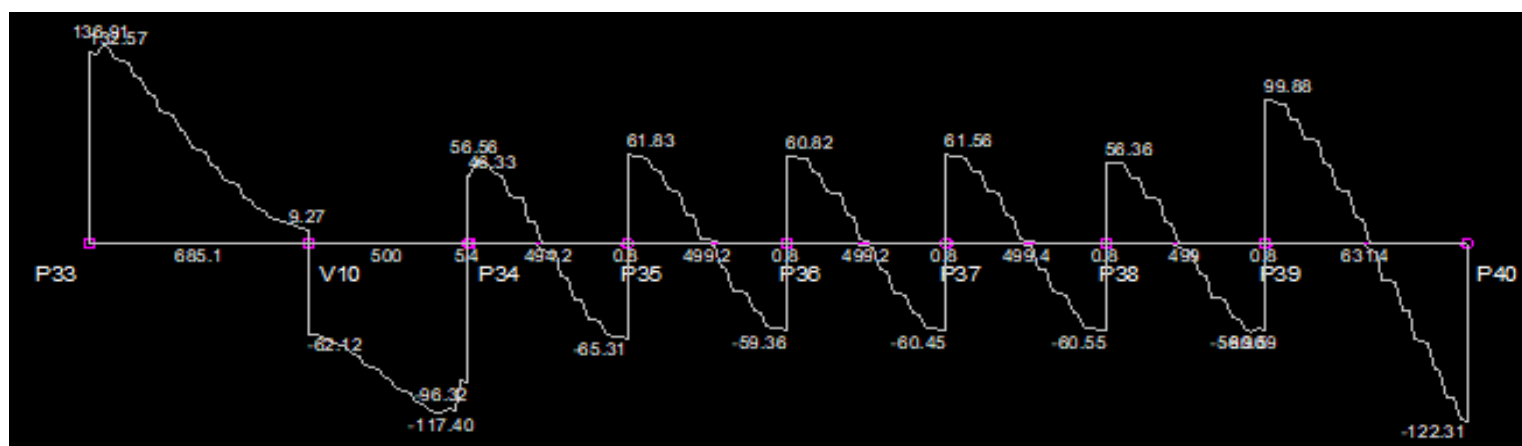
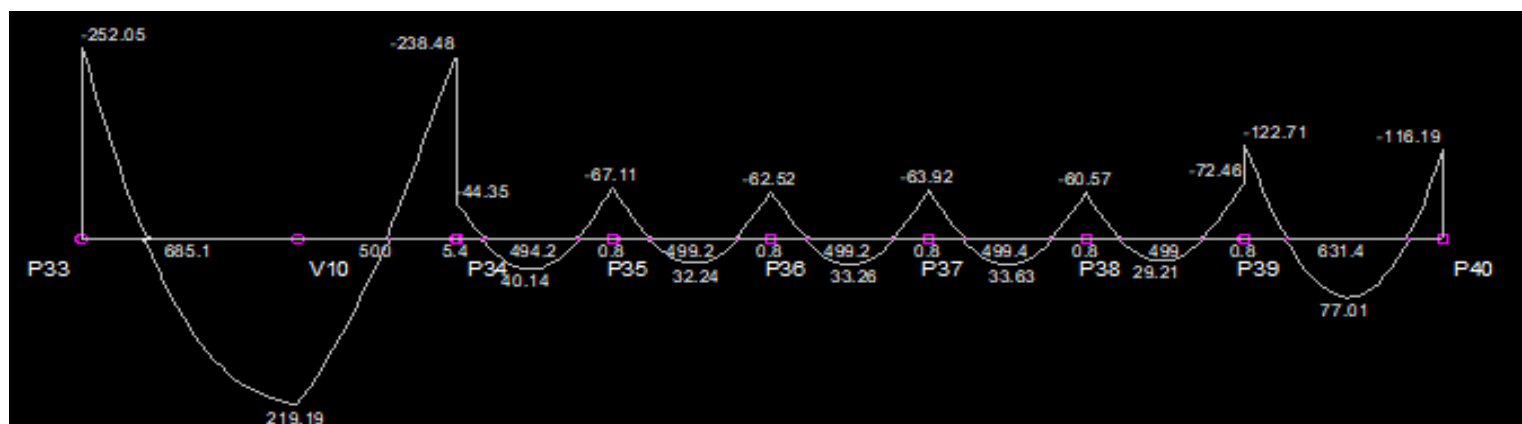


Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 4	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 4	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	48,86	2,16	40,53	2,14	Trecho 1	75,58	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	29,42	2,14	74,10	3,33	Trecho 2	60,99	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	31,92	2,14	58,50	2,59	Trecho 3	59,31	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	31,83	2,14	60,74	2,70	Trecho 4	59,76	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	29,36	2,14	58,40	2,59	Trecho 5	59,75	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	68,68	3,06	111,17	5,07	Trecho 6	111,04	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	104,54	4,75							

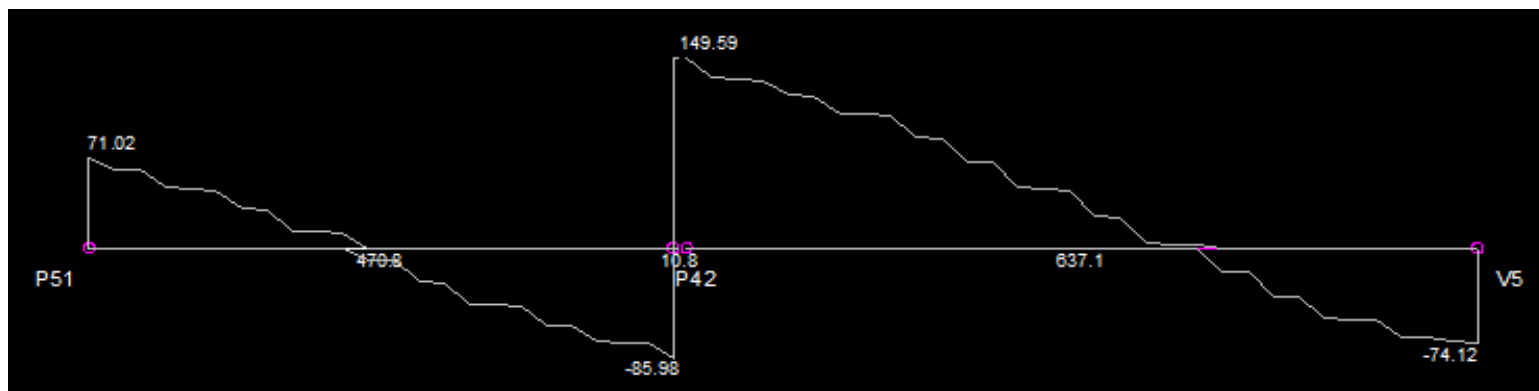
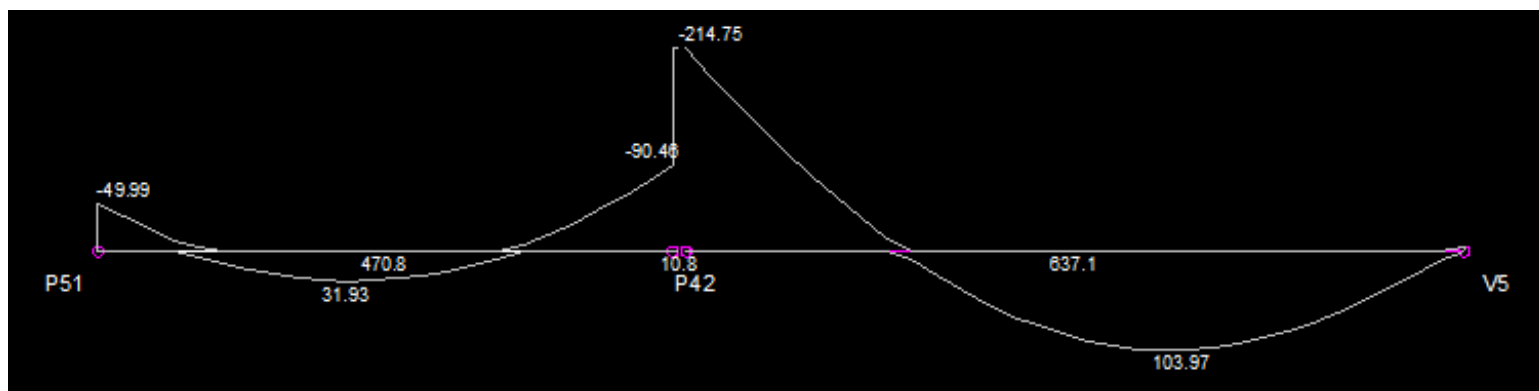


Análise de resultado das vigas à flexão				
Viga 5	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)
Trecho 1	219,19	6,84	252,05	7,89
Trecho 1	-	-	238,48	11,80
Trecho 2	40,14	2,14	67,11	2,99
Trecho 3	32,24	2,14	62,52	2,78
Trecho 4	33,26	2,14	63,92	2,84
Trecho 5	33,63	2,14	60,57	2,69
Trecho 6	29,21	2,14	122,71	5,71
Trecho 7	77,01	3,46	116,19	5,39

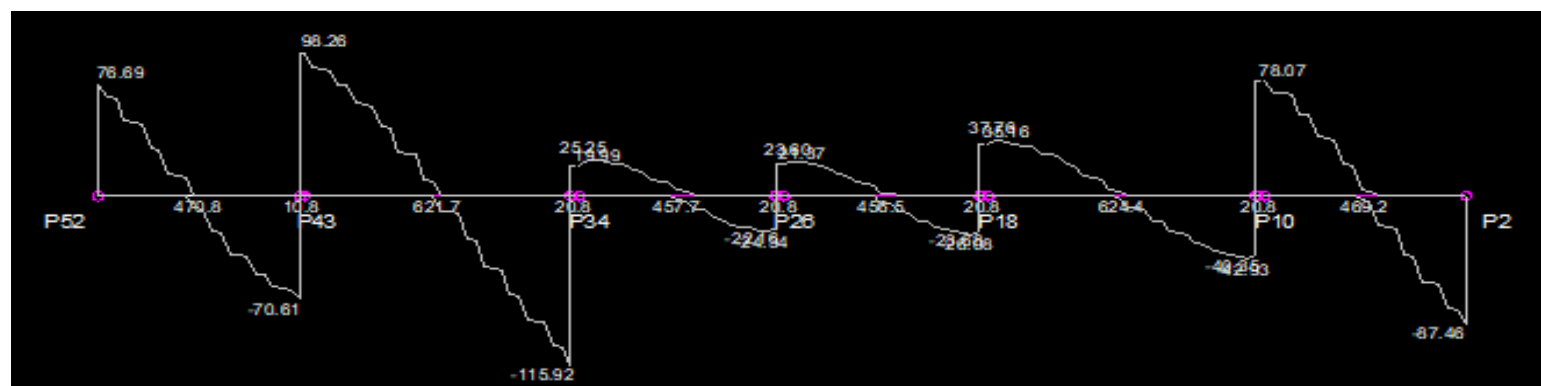
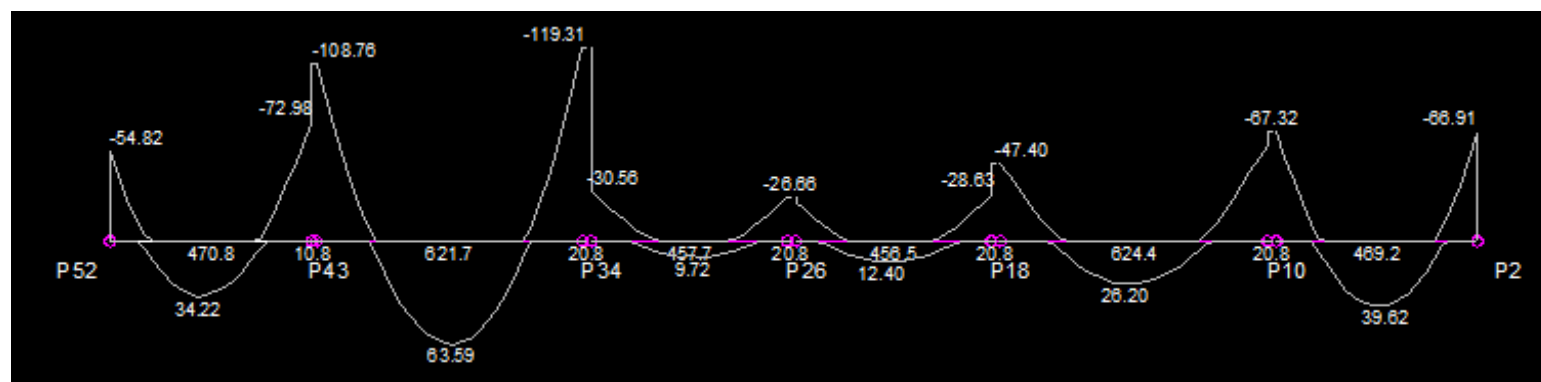
Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 5	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	136,61	980,10	1,37	100,87	2,90	0,00
Trecho 2	65,31	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	61,83	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	60,82	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	61,56	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	60,59	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 7	122,31	673,02	0,13	64,56	2,90	0,00



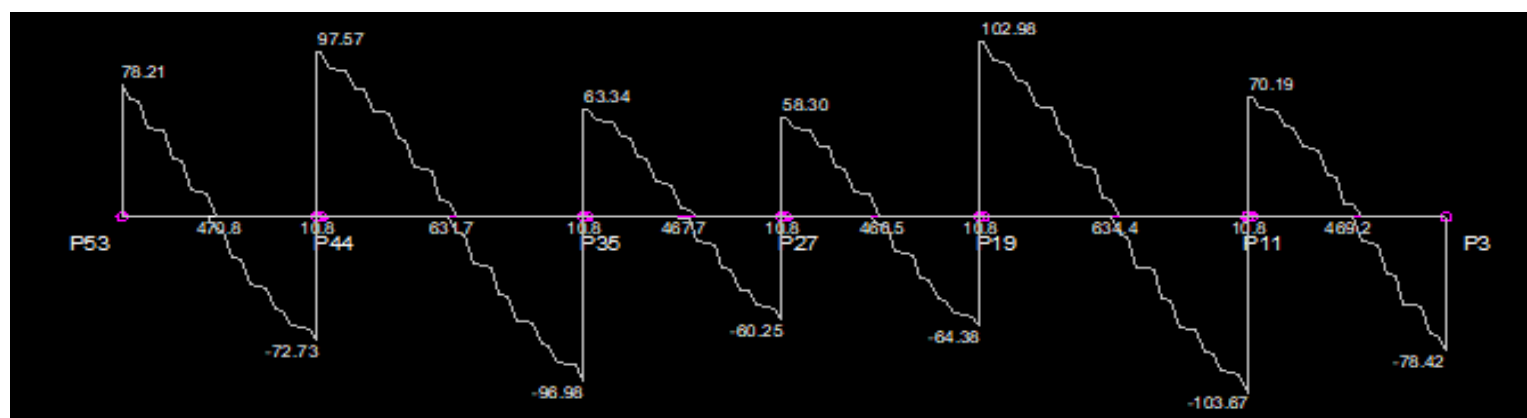
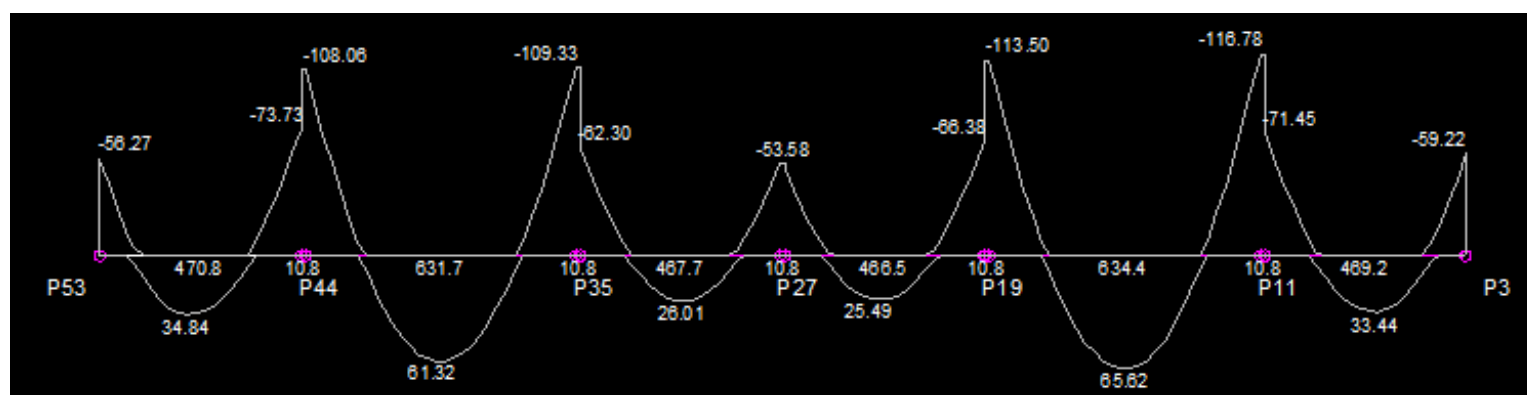
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 10	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 10	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	31,93	2,14	49,99	2,21	Trecho 1	85,98	674,61	0,36	65,56	2,90	0,00
Trecho 2	103,97	4,72	214,75	10,34	Trecho 2	149,59	673,02	0,32	65,56	2,90	0,00



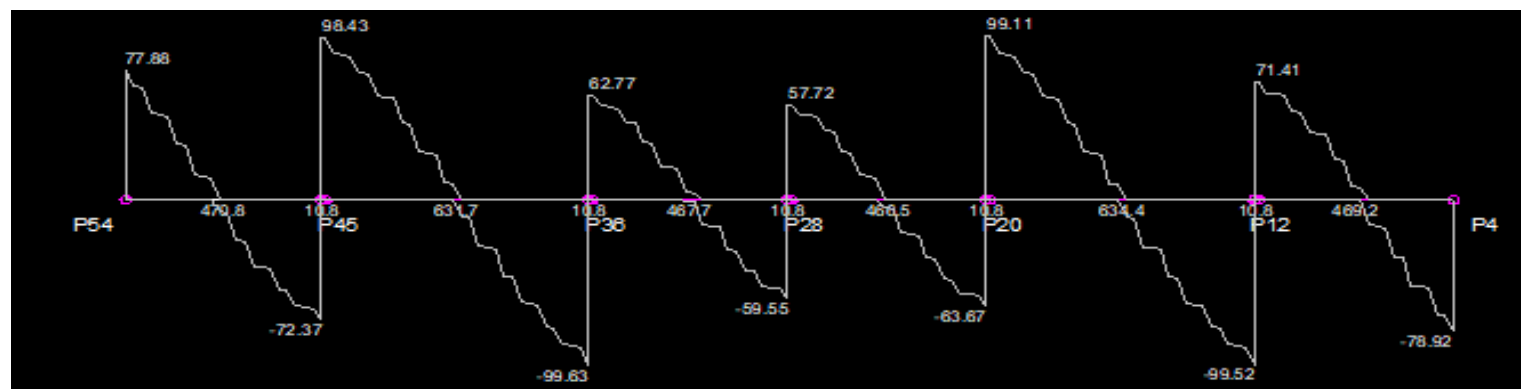
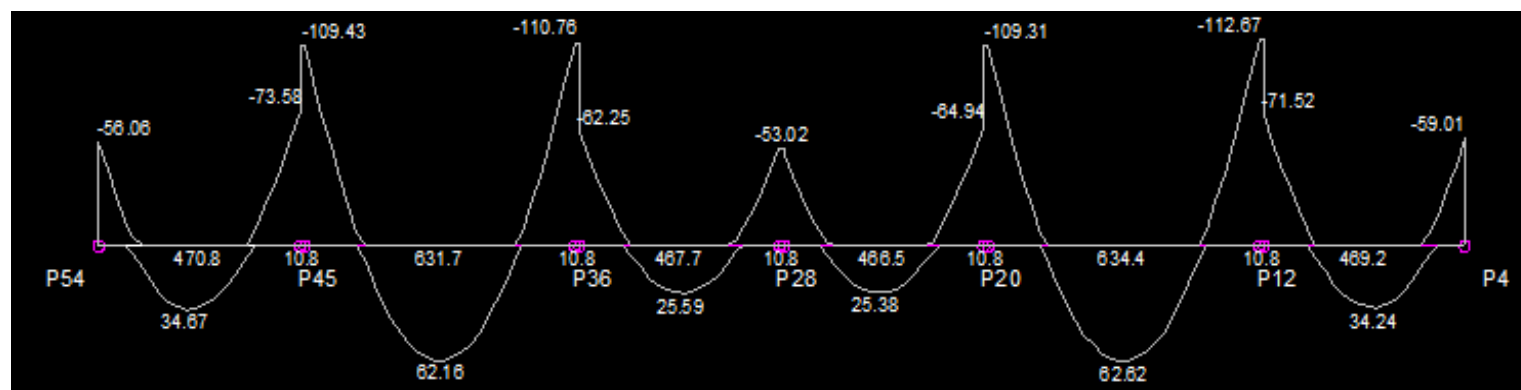
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 11	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 11	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	34,22	2,14	54,82	2,44	Trecho 1	76,69	674,61	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	63,59	2,83	108,76	4,95	Trecho 2	115,92	675,89	0,16	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	9,72	2,14	119,31	5,54	Trecho 3	25,25	674,61	1,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	12,40	2,14	26,66	2,14	Trecho 4	26,08	674,61	0,11	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	26,20	2,14	47,40	2,14	Trecho 5	42,93	674,61	0,46	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	39,62	2,14	67,32	3,00	Trecho 6	87,46	674,61	0,12	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	66,91	2,98							



Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 12	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 12	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	34,84	2,14	56,27	2,50	Trecho 1	78,21	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	61,32	2,72	108,06	4,92	Trecho 2	97,57	675,89	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	26,01	2,14	109,33	4,98	Trecho 3	63,34	674,61	0,15	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	25,49	2,14	53,58	2,38	Trecho 4	64,38	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	65,62	2,92	113,50	5,26	Trecho 5	103,67	675,89	0,11	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	33,44	2,14	116,78	5,42	Trecho 6	78,42	674,61	0,07	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	59,22	2,63							

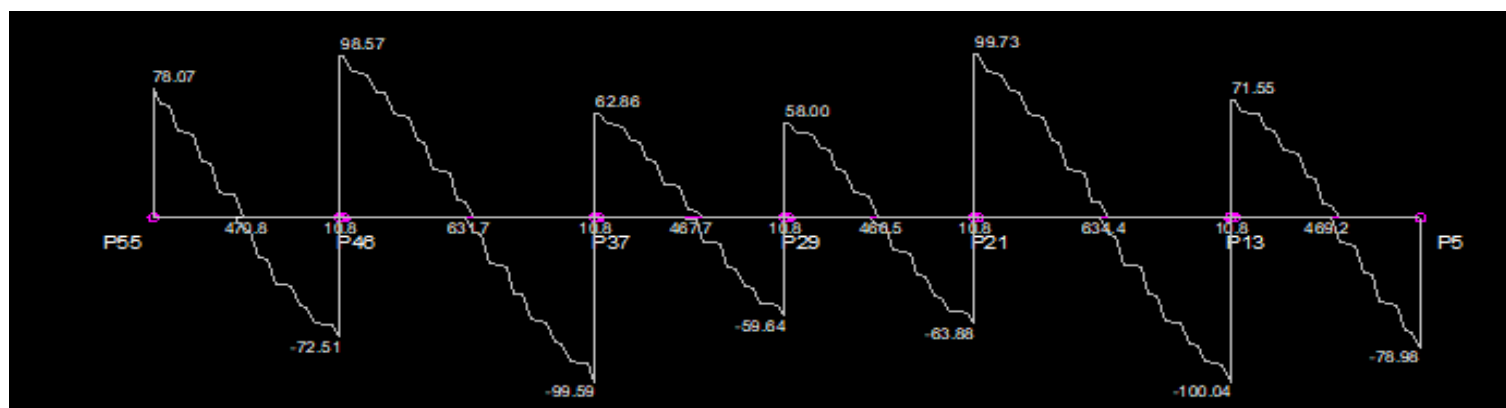
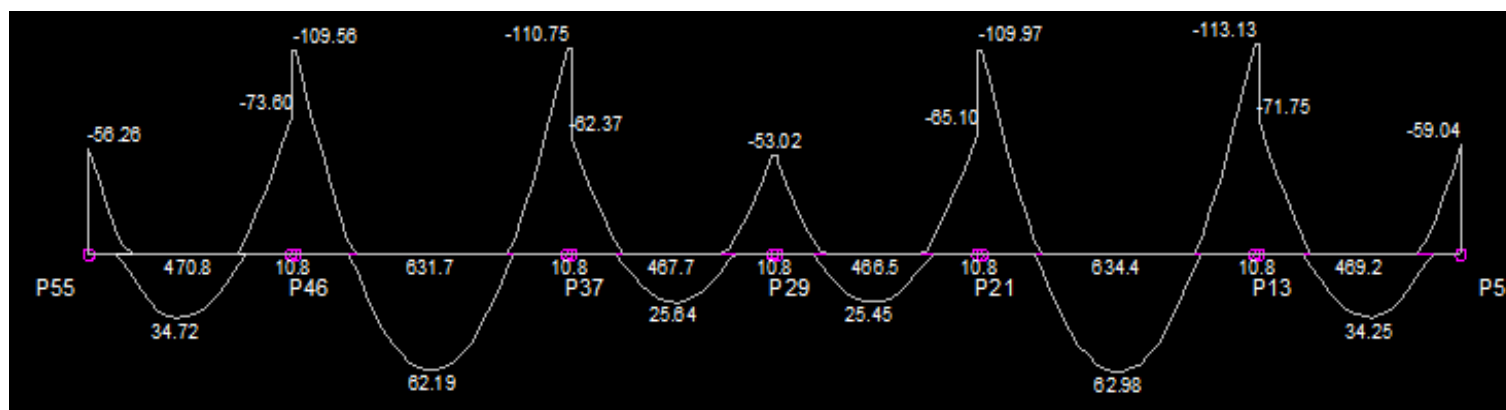


Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 13	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 13	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	34,67	2,14	56,06	2,49	Trecho 1	77,88	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	62,16	2,76	109,43	4,98	Trecho 2	99,63	675,89	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	25,59	2,14	110,76	5,05	Trecho 3	62,77	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	25,38	2,14	53,02	2,36	Trecho 4	63,67	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	62,62	2,78	109,31	4,98	Trecho 5	99,52	675,89	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	34,24	2,14	112,67	5,14	Trecho 6	78,92	674,61	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	59,01	2,62							



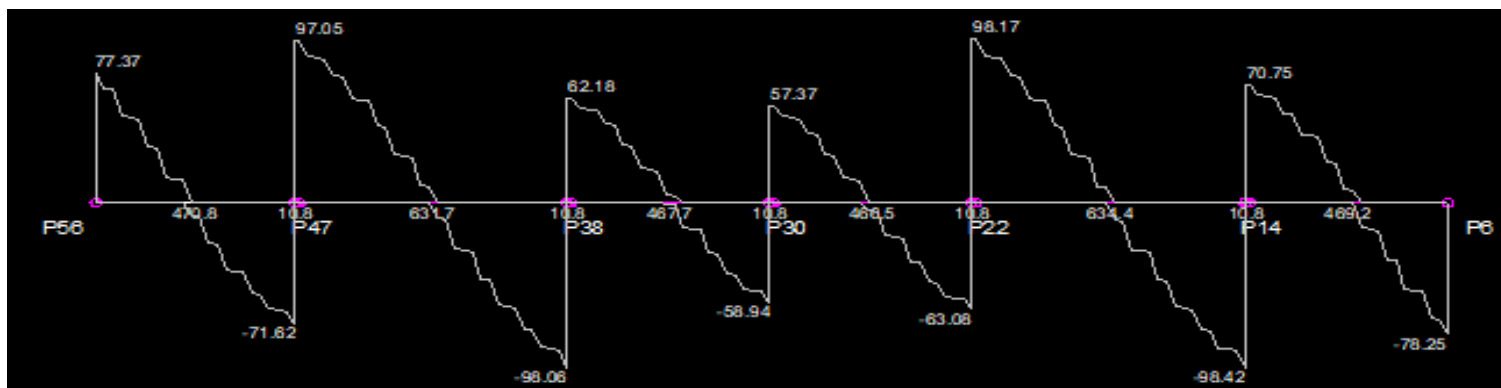
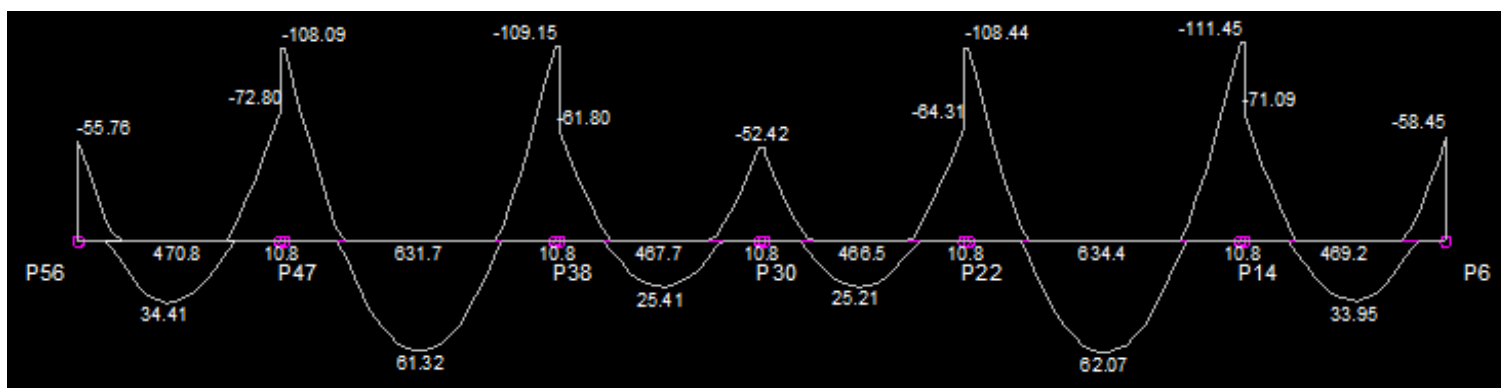
Análise de resultado das vigas à flexão				
Viga 14	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)
Trecho 1	34,72	2,14	56,26	2,50
Trecho 2	62,19	2,76	109,56	4,99
Trecho 3	25,64	2,14	110,75	5,05
Trecho 4	25,45	2,14	53,02	2,36
Trecho 5	62,98	2,80	109,97	5,01
Trecho 6	34,25	2,14	113,13	5,16
Trecho 6	-	-	59,04	2,62

Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 14	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	78,07	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	99,59	675,89	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	62,86	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	63,88	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	100,04	675,89	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	78,98	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00



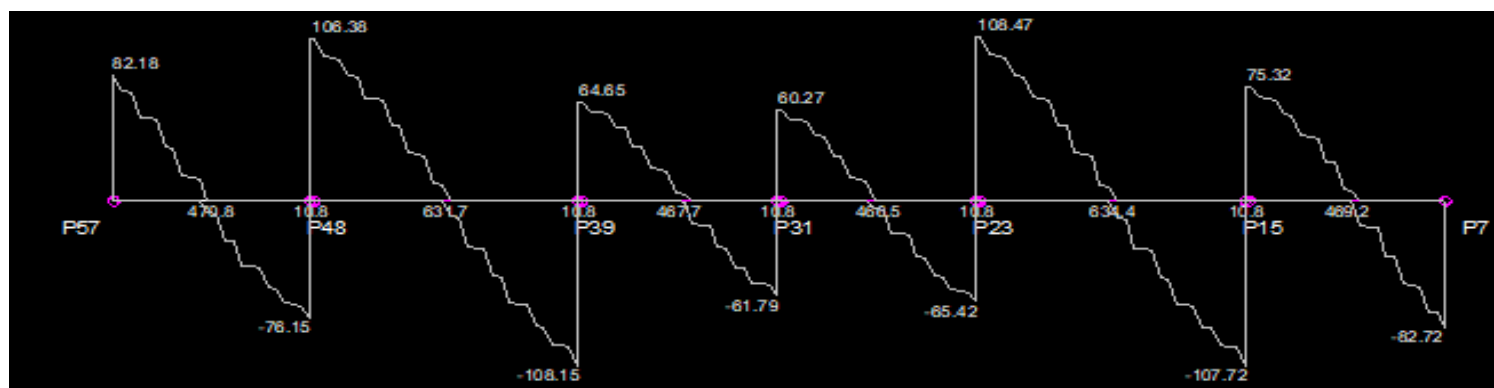
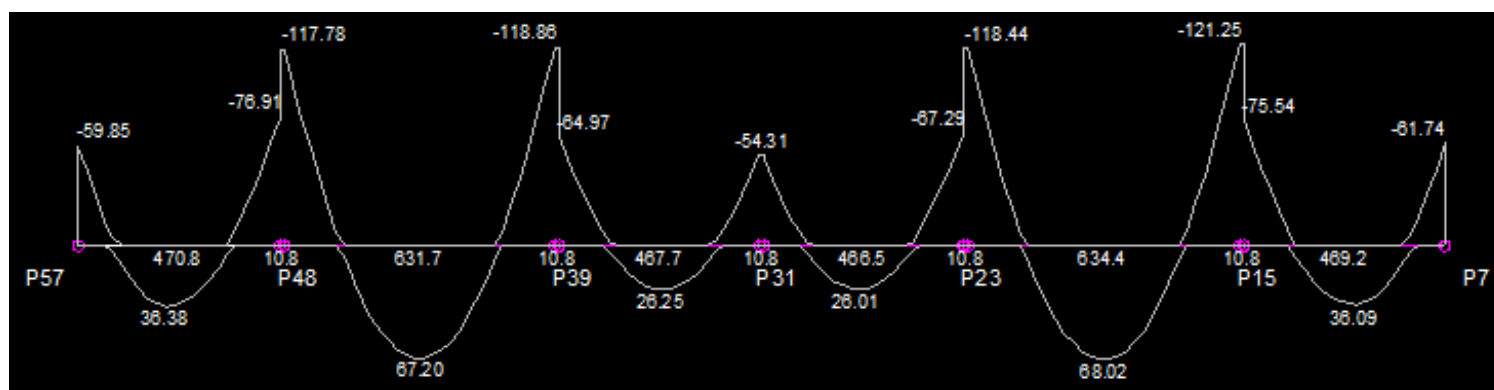
Análise de resultado das vigas à flexão				
Viga 15	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)
Trecho 1	34,41	2,14	55,76	2,48
Trecho 2	61,32	2,72	108,09	4,92
Trecho 3	25,41	2,14	109,15	4,97
Trecho 4	25,21	2,14	52,42	2,33
Trecho 5	62,07	2,76	108,44	4,94
Trecho 6	33,95	2,14	111,45	5,08
Trecho 6	-	-	58,45	2,59

Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 15	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	77,37	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	98,06	675,89	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	62,18	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	63,08	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	98,42	675,89	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	78,25	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00

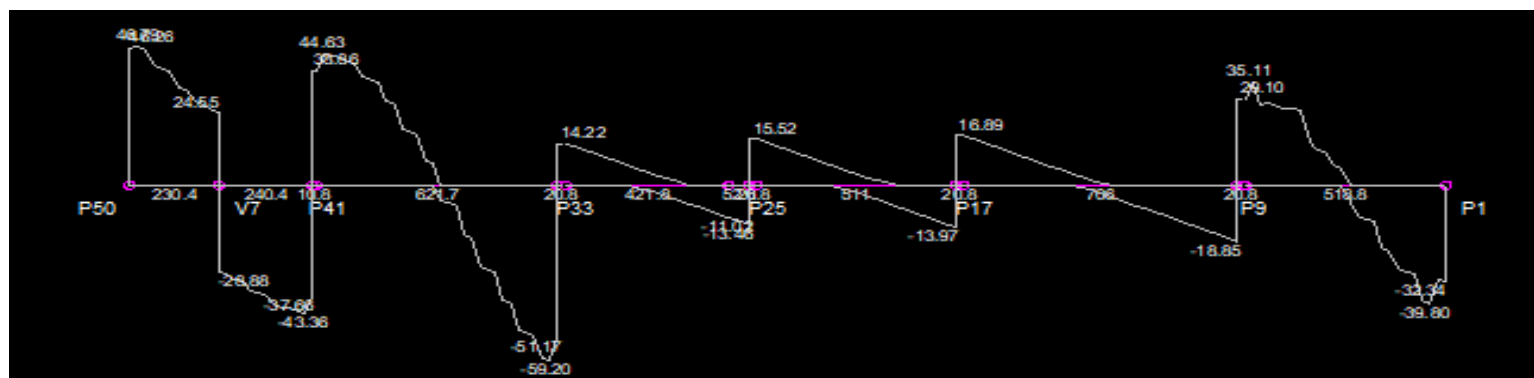
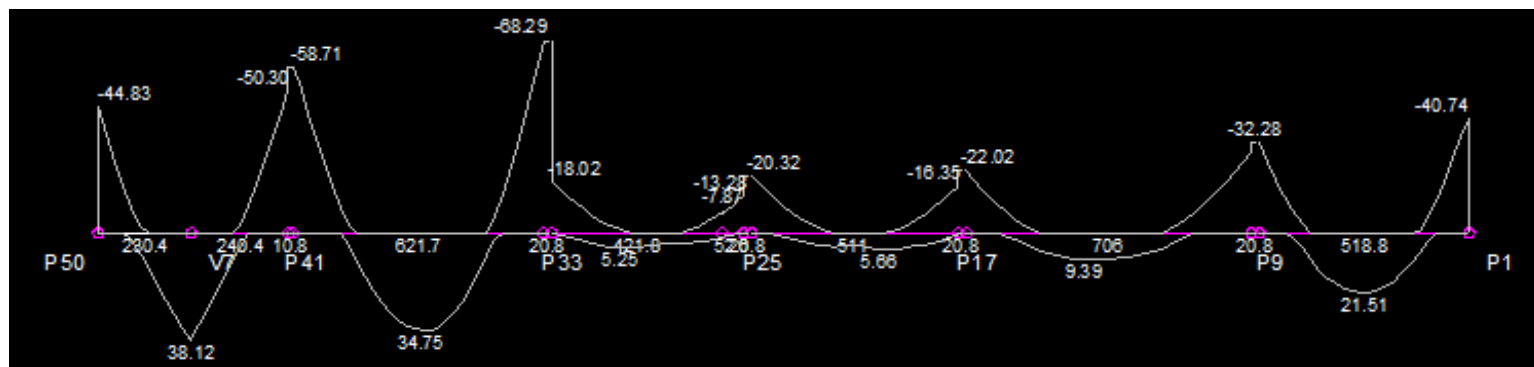


Análise de resultado das vigas à flexão				
Viga 16	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)
Trecho 1	36,38	2,14	59,85	2,66
Trecho 2	67,20	3,00	117,78	5,47
Trecho 3	26,25	2,14	118,86	5,52
Trecho 4	26,01	2,14	54,31	2,41
Trecho 5	68,02	3,03	118,44	5,50
Trecho 6	36,09	2,14	121,25	5,64
Trecho 6	-	-	61,74	2,74

Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 16	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	82,18	674,61	0,28	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	108,15	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	64,65	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	65,42	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	108,47	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	82,72	674,61	0,17	64,56	2,90	0,00



Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 18	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 18	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	38,12	2,14	44,83	2,14	Trecho 1	46,79	674,61	4,95	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	34,75	2,14	58,71	2,60	Trecho 2	59,20	674,61	0,57	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	5,25	2,14	68,29	3,05	Trecho 3	14,22	668,25	3,88	62,92	2,90	0,00
Trecho 4	5,66	2,14	20,32	2,14	Trecho 4	15,52	668,25	0,53	62,92	2,90	0,00
Trecho 5	9,39	2,14	22,02	2,14	Trecho 5	18,85	668,25	0,20	62,92	2,90	0,00
Trecho 6	21,51	2,14	32,28	2,14	Trecho 6	39,80	674,61	0,12	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	40,74	2,14							



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura A3 – Resultados de esforços e áreas de aço para os pilares do subsolo 01.

Análise de resultado dos pilares à compressão e flexão oblíqua								
Pilares	Seção crit.	Nd.max (kN)	Msd _x (kN.m/m)	Msd _y (kN.m/m)	Mrd _x (kN.m/m)	Mrd _y (kN.m/m)	Mrd/Msd	As (cm ²)
P10	Topo	352,17	27,38	53,88	84,96	167,21	3,10	11,00
P11	Topo	297,35	5,61	45,58	13,64	110,89	2,43	7,36
P12	Topo	306,42	0,71	46,52	1,78	116,21	2,50	7,36
P13	Topo	306,31	2,30	46,17	5,73	114,92	2,49	7,36
P14	Topo	295,65	3,95	44,94	9,84	111,89	2,49	7,36
P15	Topo	363,66	53,33	43,02	83,16	67,07	1,56	7,36
P16	Topo	196,76	108,37	19,74	111,65	20,34	1,03	14,14
P18	Topo	484,08	227,74	56,82	229,86	57,34	1,01	18,85
P19	Topo	266,27	16,93	48,31	34,87	99,52	2,06	7,36
P20	Topo	300,48	0,61	48,90	1,44	115,26	2,36	7,36
P21	Topo	295,95	2,94	49,12	6,74	112,86	2,30	7,36
P22	Topo	286,96	3,29	48,27	7,58	111,15	2,30	7,36
P23	Topo	348,95	49,62	50,78	75,78	77,55	1,53	7,36
P24	Topo	189,09	104,78	20,57	110,49	21,69	1,05	14,14
P31	Topo	282,79	44,99	2,08	85,96	3,98	1,91	7,36
P32	Topo	156,81	93,65	1,50	96,55	1,54	1,03	12,06
P33	Topo	338,81	385,70	25,77	384,00	25,65	1,00	41,72
P34	Topo	480,84	285,95	53,66	289,15	54,26	1,01	26,70
P35	Topo	261,97	20,97	51,36	39,78	97,44	1,90	7,36
P36	Topo	299,56	0,12	51,96	0,26	115,54	2,22	7,36
P37	Topo	295,15	3,41	51,76	7,41	112,55	2,17	7,36
P38	Topo	286,13	2,74	50,52	6,04	111,53	2,21	7,36
P39	Topo	348,04	50,09	52,47	74,83	78,39	1,49	7,36
P40	Topo	188,54	104,60	22,29	110,10	23,46	1,05	14,14
P41	Topo	210,92	140,78	11,44	142,09	11,54	1,01	18,85
P42	Topo	432,93	70,52	129,47	71,97	132,14	1,02	12,06
P43	Topo	290,51	6,53	39,17	18,08	108,40	2,77	7,36
P44	Topo	305,19	2,61	39,39	7,57	114,06	2,90	7,36
P45	Topo	305,60	1,97	41,24	5,48	114,85	2,79	7,36
P46	Topo	306,77	2,94	41,25	8,14	114,10	2,77	7,36
P47	Topo	296,24	3,16	40,48	8,76	112,27	2,77	7,36
P48	Topo	363,27	55,58	38,34	84,86	58,54	1,53	7,36
P49	Topo	197,47	109,67	16,55	112,32	16,95	1,02	14,14

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (B)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	6,73	1148,12	0,09	162,26	5,21	0,01
P11	3,62	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P12	1,88	707,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P13	2,49	707,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P14	2,95	707,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P15	31,45	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P16	68,17	710,25	0,04	82,08	4,06	0,00
P18	82,14	1134,12	0,09	162,26	5,21	0,01
P19	7,95	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P20	2,47	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P21	3,58	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P22	3,33	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P23	32,03	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P24	68,56	710,25	0,04	82,08	4,06	0,00
P31	27,94	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P32	61,38	703,38	0,03	82,08	4,06	0,00
P33	218,60	1144,62	0,12	162,26	5,21	0,01
P34	156,93	1148,12	0,12	162,26	5,21	0,01
P35	12,43	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P36	2,43	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P37	3,84	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P38	3,18	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P39	32,27	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P40	68,48	710,25	0,03	82,08	4,06	0,00
P41	92,00	710,25	0,03	82,08	4,06	0,00
P42	45,73	703,38	0,03	82,08	4,06	0,00
P43	6,24	707,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P44	3,72	707,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P45	3,41	707,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P46	3,91	707,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P47	3,24	707,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P48	34,51	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P49	71,80	710,25	0,03	82,08	4,06	0,00

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (H)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	17,07	1168,48	0,09	162,26	5,21	0,01
P11	28,50	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P12	28,14	728,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P13	27,97	728,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P14	27,22	728,39	0,04	82,08	3,60	0,00
P15	30,47	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P16	13,55	730,62	0,04	82,08	4,06	0,00
P18	31,52	1157,03	0,09	162,26	5,21	0,01
P19	30,63	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P20	30,12	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P21	30,36	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P22	29,89	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P23	34,29	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P24	14,31	730,62	0,04	82,08	4,06	0,00
P31	3,99	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P32	2,17	725,27	0,03	82,08	4,06	0,00
P33	19,99	1165,62	0,12	162,26	5,21	0,01
P34	46,94	1168,48	0,12	162,26	5,21	0,01
P35	31,90	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P36	32,21	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P37	32,07	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P38	31,31	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P39	35,28	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P40	15,16	730,62	0,03	82,08	4,06	0,00
P41	7,80	730,62	0,03	82,08	4,06	0,00
P42	83,88	725,27	0,03	82,08	4,06	0,00
P43	24,12	728,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P44	23,76	728,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P45	24,93	728,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P46	24,96	728,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P47	24,55	728,39	0,03	82,08	3,60	0,00
P48	28,05	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P49	11,85	730,62	0,03	82,08	4,06	0,00

Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura A4 – Resultados de esforços e áreas de aço para os pilares do subsolo 02.

Análise de resultado dos pilares à compressão e flexão oblíqua								
Pilares	Seção crit.	Nd.max (kN)	Msdx (kN.m/m)	Msdv (kN.m/m)	Mrdx (kN.m/m)	Mrdv (kN.m/m)	Mrd/Msd	As (cm²)
P10	Topo	599,91	7,53	34,59	45,66	209,72	6,06	11,00
P11	Topo	607,08	13,48	21,98	66,34	108,14	4,92	7,36
P12	Topo	609,16	13,53	19,93	70,53	103,87	5,21	7,36
P13	Topo	611,00	13,57	20,32	69,92	104,69	5,15	7,36
P14	Topo	593,55	13,19	20,36	68,12	105,11	5,16	7,36
P15	Topo	720,07	32,68	9,55	114,62	33,50	3,51	7,36
P16	Topo	396,29	17,54	41,60	40,07	95,02	2,28	7,36
P18	Topo	643,23	74,09	1,65	206,76	4,59	2,79	11,00
P19	Centro	578,12	21,38	12,41	103,07	59,82	4,82	7,36
P20	Centro	592,07	21,76	11,59	105,43	56,16	4,84	7,36
P21	Centro	591,84	21,78	11,65	105,34	56,36	4,84	7,36
P22	Centro	575,10	21,18	11,49	103,90	56,37	4,91	7,36
P23	Centro	692,94	25,70	12,62	113,60	55,79	4,42	7,36
P24	Topo	380,09	34,60	7,64	94,54	20,88	2,73	7,36
P31	Centro	565,36	20,97	5,19	112,14	27,75	5,35	7,36
P32	Topo	318,55	30,97	1,98	90,14	5,77	2,91	7,36
P33	Topo	556,01	45,05	18,94	166,77	70,12	3,70	11,00
P34	Topo	828,85	56,22	24,51	194,76	84,92	3,46	11,00
P35	Centro	553,28	20,36	12,16	100,82	60,22	4,94	7,36
P36	Centro	592,70	21,78	12,69	104,03	60,60	4,78	7,36
P37	Centro	589,85	21,69	12,76	103,68	61,01	4,78	7,36
P38	Centro	573,50	21,10	12,72	102,09	61,51	4,84	7,36
P39	Centro	691,19	25,63	13,92	111,70	60,66	4,36	7,36
P40	Topo	378,84	34,51	10,96	92,54	29,39	2,68	7,36
P41	Topo	437,27	38,16	2,01	104,84	5,51	2,75	7,36
P42	Topo	873,65	35,40	25,19	114,31	81,33	3,23	7,36
P43	Centro	585,06	21,49	10,63	106,01	52,45	4,93	7,36
P44	Centro	608,42	22,37	10,08	109,08	49,17	4,88	7,36
P45	Centro	609,22	22,40	10,26	108,94	49,89	4,86	7,36
P46	Centro	611,15	22,47	10,24	109,17	49,78	4,86	7,36
P47	Centro	592,97	21,82	10,10	107,50	49,75	4,93	7,36
P48	Centro	720,59	26,73	10,96	118,19	48,47	4,42	7,36
P49	Topo	396,33	36,43	5,89	97,52	15,77	2,68	7,36

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (B)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	4,27	1148,12	0,00	162,26	3,60	0,00
P11	4,98	707,39	0,14	82,08	3,60	0,02
P12	6,47	707,39	0,17	82,08	3,60	0,02
P13	6,43	707,39	0,16	82,08	3,60	0,02
P14	6,80	707,39	0,08	82,08	3,60	0,01
P15	13,80	707,39	0,81	82,08	3,60	0,11
P16	23,27	707,39	1,08	82,08	4,06	0,14
P18	15,11	1148,12	0,00	162,26	3,60	0,00
P19	2,45	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P20	1,01	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P21	1,26	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P22	1,43	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P23	2,80	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P24	6,62	707,39	0,57	82,08	4,06	0,07
P31	2,45	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P32	5,76	707,39	0,06	82,08	3,60	0,01
P33	20,16	1148,12	1,78	162,26	3,60	0,15
P34	22,87	1148,12	0,34	162,26	3,60	0,03
P35	1,64	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P36	1,17	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P37	1,28	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P38	1,48	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P39	2,80	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P40	6,42	707,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P41	7,52	707,39	0,28	82,08	3,60	0,04
P42	5,23	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P43	1,06	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P44	1,30	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P45	1,29	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P46	1,28	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P47	1,51	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P48	2,98	707,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P49	7,05	707,39	0,63	82,08	4,06	0,08

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (H)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	6,11	1168,48	0,00	162,26	3,60	0,00
P11	8,56	728,39	0,14	82,08	3,60	0,02
P12	7,69	728,39	0,17	82,08	3,60	0,02
P13	7,85	728,39	0,16	82,08	3,60	0,02
P14	7,89	728,39	0,08	82,08	3,60	0,01
P15	8,30	728,39	0,81	82,08	3,60	0,11
P16	14,16	728,39	1,08	82,08	4,06	0,14
P18	3,50	1168,48	0,00	162,26	3,60	0,00
P19	3,80	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P20	3,57	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P21	3,59	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P22	3,55	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P23	3,81	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P24	12,05	728,39	0,57	82,08	4,06	0,07
P31	2,00	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P32	10,75	728,39	0,06	82,08	3,60	0,01
P33	18,47	1168,48	1,78	162,26	3,60	0,15
P34	9,09	1168,48	0,34	162,26	3,60	0,03
P35	3,81	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P36	3,96	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P37	3,99	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P38	4,00	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P39	4,29	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P40	14,46	728,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P41	9,99	728,39	0,28	82,08	3,60	0,04
P42	6,74	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P43	3,33	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P44	3,16	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P45	3,21	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P46	3,20	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P47	3,17	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P48	3,36	728,39	0,00	82,08	3,60	0,00
P49	11,30	728,39	0,63	82,08	4,06	0,08

Fonte: Elaboração do autor (2021).

APÊNDICE B

RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO CRÍTICO PARA AS LAJES
(MAIORES VALORES ENTRE OS DIMENSIONAMENTOS MII – SI, MII-SII E MII –
SIII)

RESULTADOS DO MODELO DE DIMENSIONAMENTO MII – SI PARA AS
VIGAS E PILARES

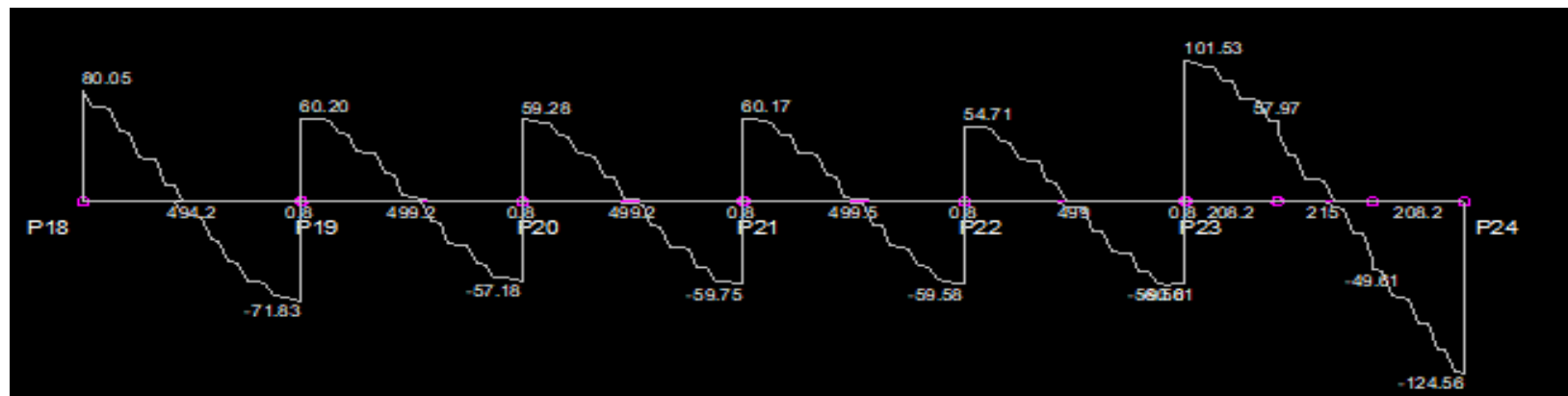
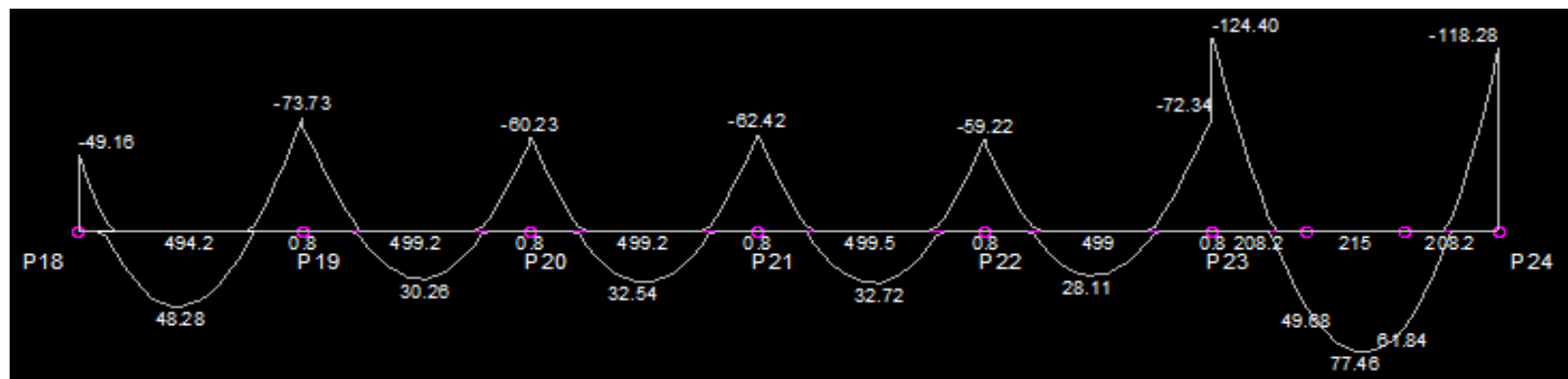
Figura B1 – Resultados de momentos fletores e áreas de aço para as lajes da Situação Crítica gerada.

Análise de resultado das lajes à flexão					Análise de resultado das lajes à flexão				
Lajes	Mdx + (kN.m/m)	Asx + (cm ² /m)	Mdy + (kN.m/m)	Asy + (cm ² /m)	Lajes	Mdx - (kN.m/m)	Asx - (cm ² /m)	Mdy - (kN.m/m)	Asy - (cm ² /m)
L8	8,03	2,07	6,10	1,69	L8	14,40	3,88	14,50	4,24
L9	5,61	1,43	4,40	1,21	L9	13,50	3,58	11,60	3,28
L10	5,86	1,50	4,60	1,21	L10	12,70	3,36	11,80	3,32
L11	5,79	1,48	4,40	1,21	L11	12,70	3,37	11,80	3,33
L12	5,49	1,40	4,50	1,21	L12	15,10	4,04	11,50	3,22
L13	8,69	2,26	8,90	2,56	L13	16,80	4,57	19,00	5,92
L19	6,07	1,55	4,20	1,21	L19	15,50	4,19	11,10	3,14
L25	5,86	1,50	4,10	1,21	L25	15,50	4,19	11,10	3,16
L26	13,16	3,49	11,50	3,34	L26	23,70	6,56	18,80	5,87
L27	6,29	1,61	4,90	1,21	L27	25,10	7,08	13,40	3,81
L28	5,37	1,21	4,30	1,21	L28	15,10	4,03	12,30	3,44
L29	5,86	1,50	4,70	1,21	L29	12,70	3,35	11,80	3,33
L30	5,66	1,44	4,40	1,21	L30	12,70	3,35	11,70	3,31
L31	5,90	1,51	4,70	1,21	L31	12,70	3,36	11,80	3,32
L32	5,30	1,21	4,20	1,21	L32	15,10	4,02	11,50	3,21
L33	8,68	2,26	9,00	2,58	L33	16,70	4,49	18,90	5,66

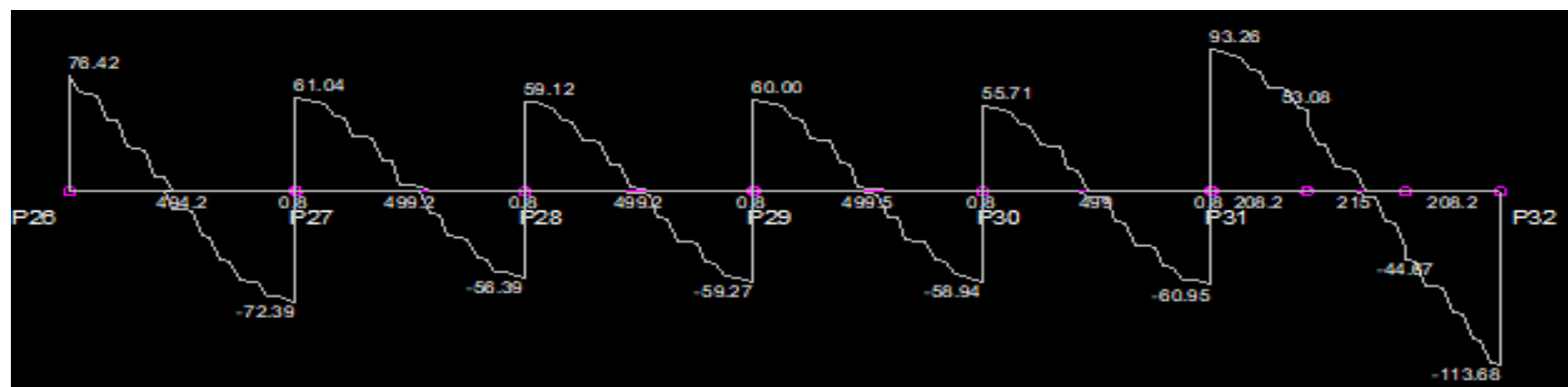
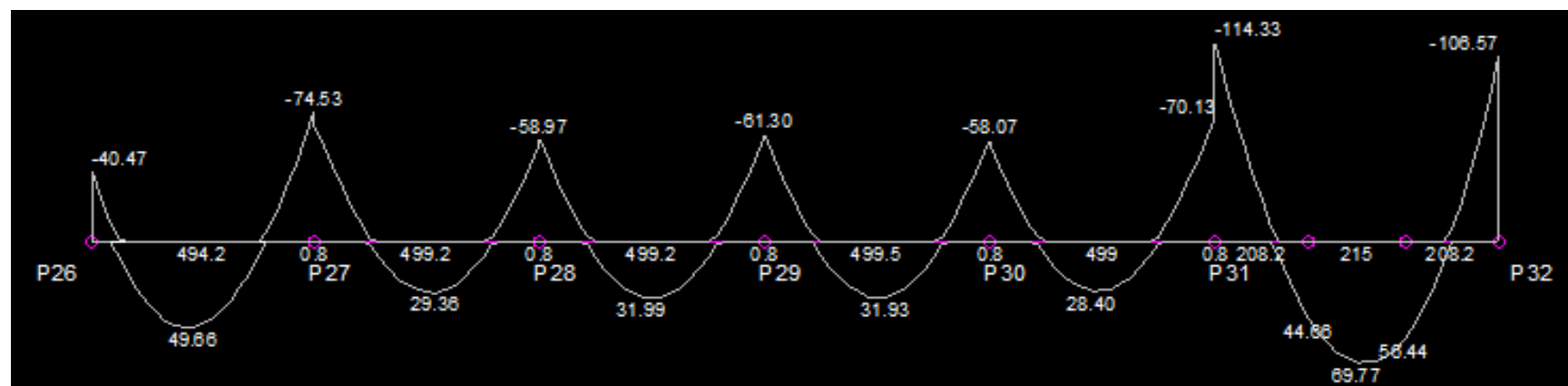
Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura B2 – Resultados de esforços e áreas de aço para as vigas.

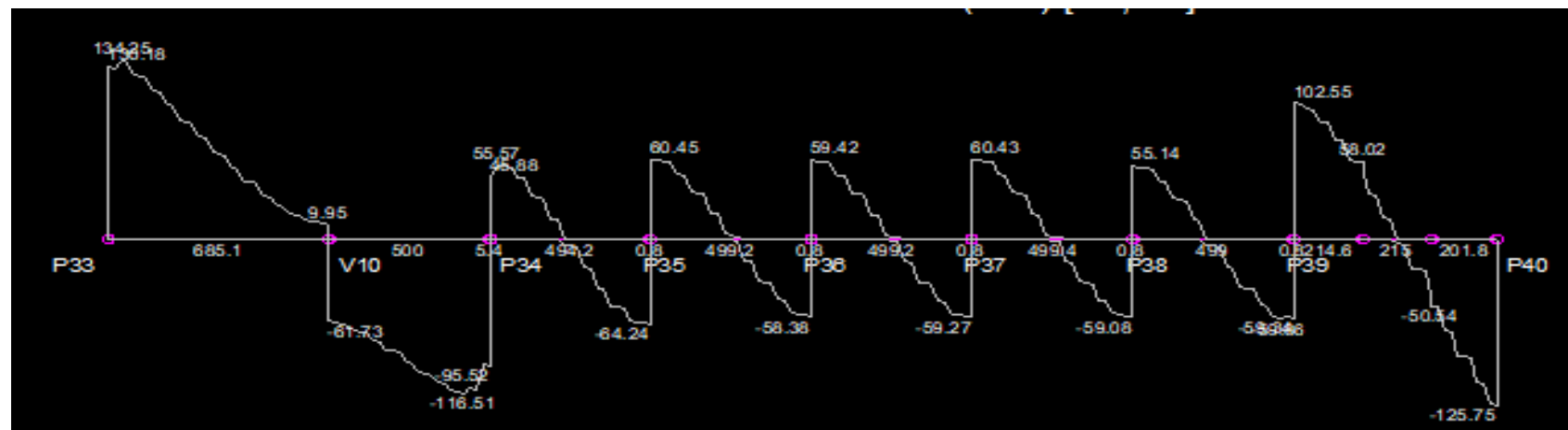
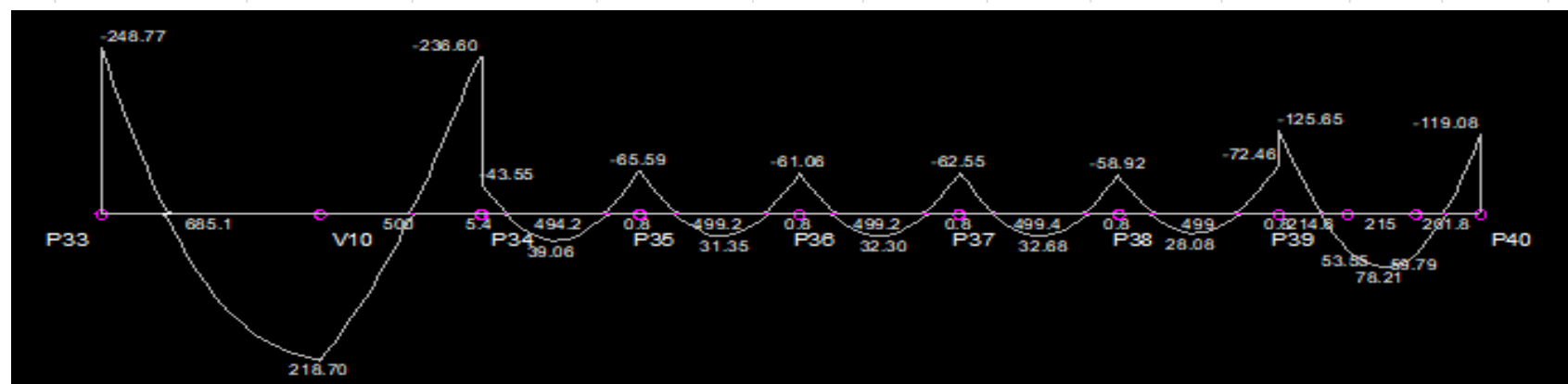
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 3	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 3	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	48,28	2,14	49,16	2,18	Trecho 1	80,05	674,61	0,22	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	30,26	2,14	73,73	3,30	Trecho 2	60,20	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	32,54	2,14	60,23	2,67	Trecho 3	59,75	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	32,72	2,14	62,42	2,77	Trecho 4	60,17	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	28,11	2,14	59,22	2,63	Trecho 5	60,01	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	77,46	3,48	124,40	5,73	Trecho 6	124,56	673,02	0,16	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	118,28	5,49							



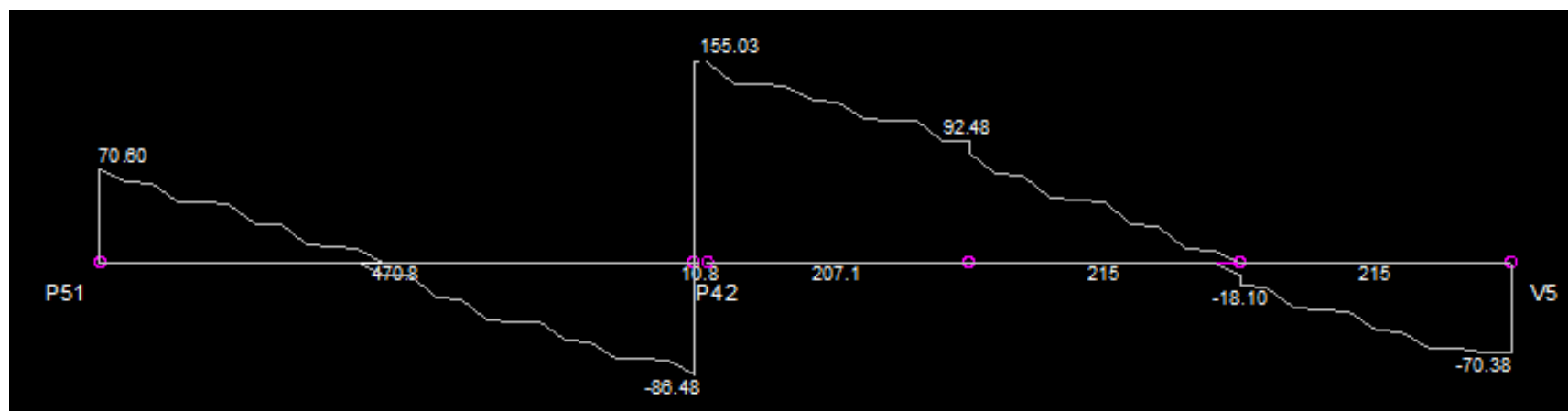
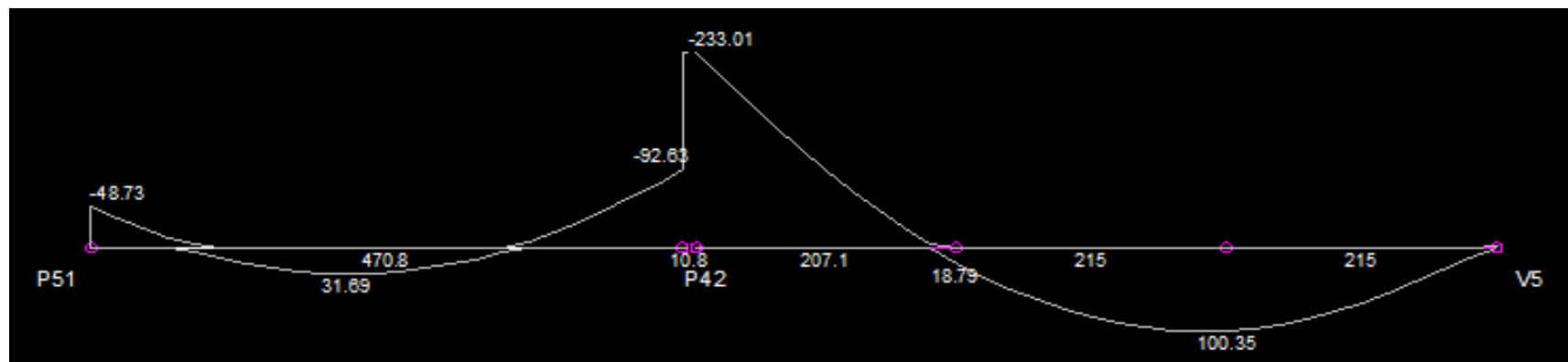
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 4	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 4	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	49,66	2,20	40,47	2,14	Trecho 1	76,42	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	29,36	2,14	74,53	3,35	Trecho 2	61,04	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	31,99	2,14	58,97	2,62	Trecho 3	59,27	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	31,93	2,14	61,30	2,72	Trecho 4	60,00	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	28,40	2,14	58,07	2,57	Trecho 5	60,95	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	69,77	3,12	114,33	5,30	Trecho 6	113,68	674,61	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	106,57	4,85							



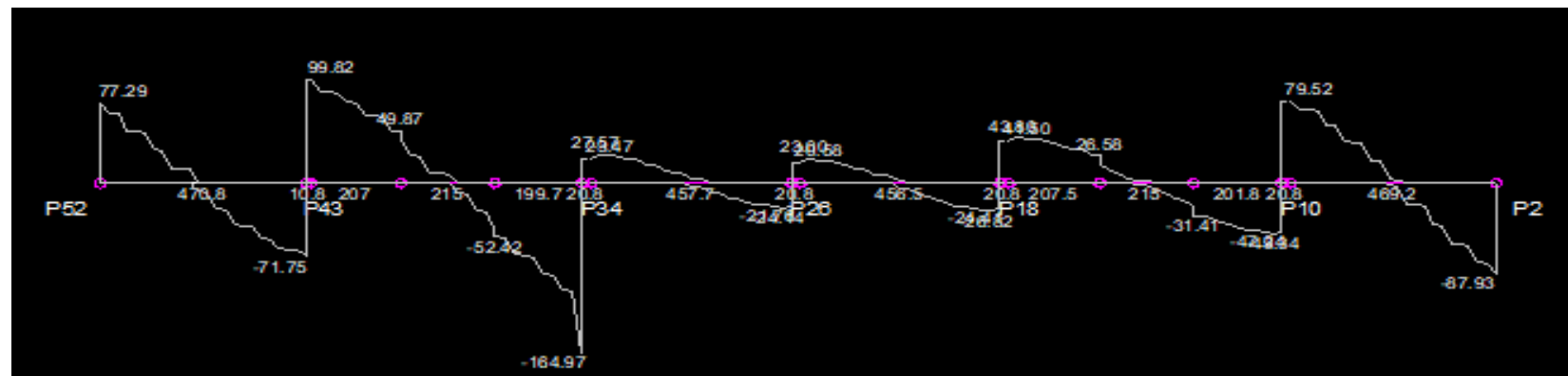
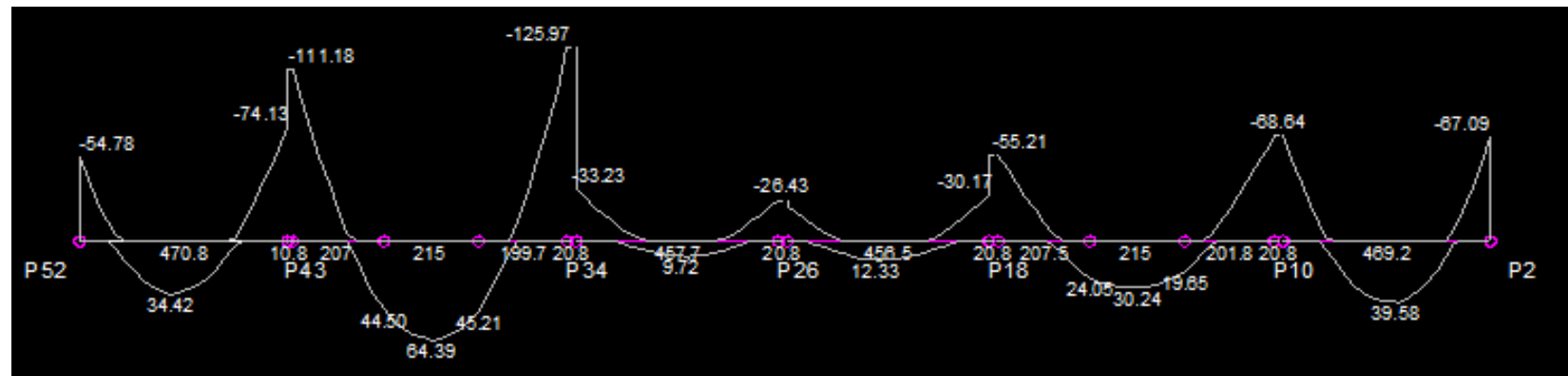
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 5	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 5	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	218,70	6,82	248,77	7,87	Trecho 1	134,25	980,10	1,45	64,56	2,90	0,00
Trecho 1	-	-	236,60	11,70	Trecho 2	64,24	674,61	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	39,06	2,14	65,59	2,92	Trecho 3	60,45	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	31,35	2,14	61,06	2,71	Trecho 4	59,42	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	32,30	2,14	62,55	2,78	Trecho 5	60,43	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	32,68	2,14	58,92	2,61	Trecho 6	59,86	674,61	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	28,08	2,14	125,65	5,79	Trecho 7	125,75	673,02	0,15	64,56	2,90	0,00
Trecho 7	78,21	3,51	119,08	5,53							



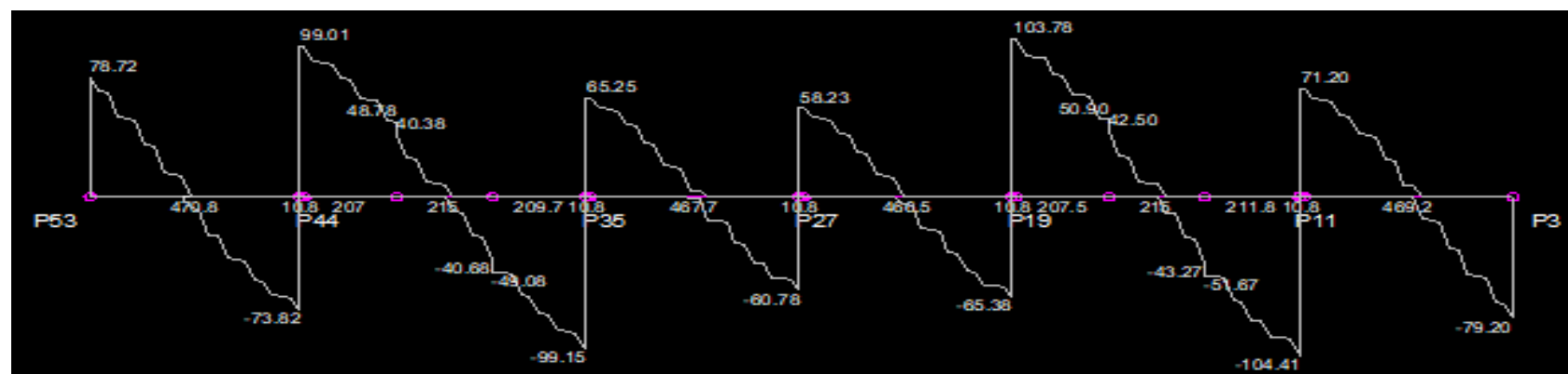
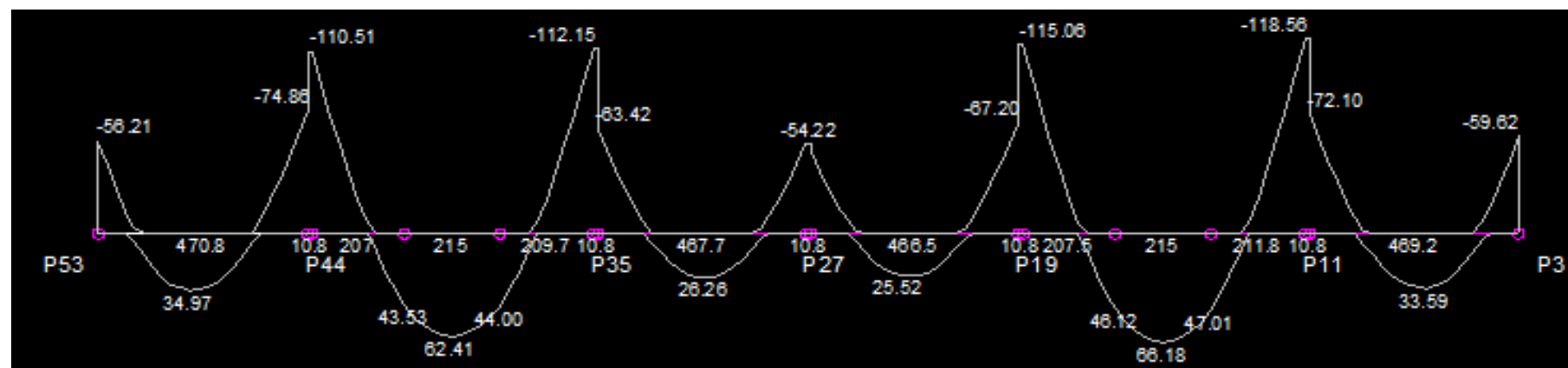
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 10	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 10	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	31,69	2,14	48,73	2,16	Trecho 1	86,48	674,61	0,34	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	100,35	4,54	233,01	12,12	Trecho 2	155,03	674,61	0,47	64,56	2,90	0,00



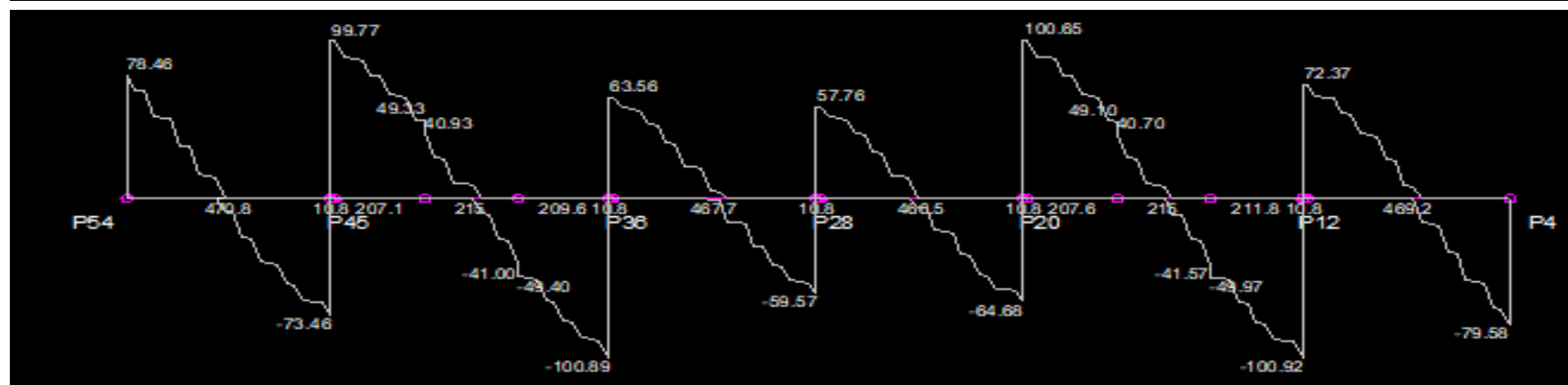
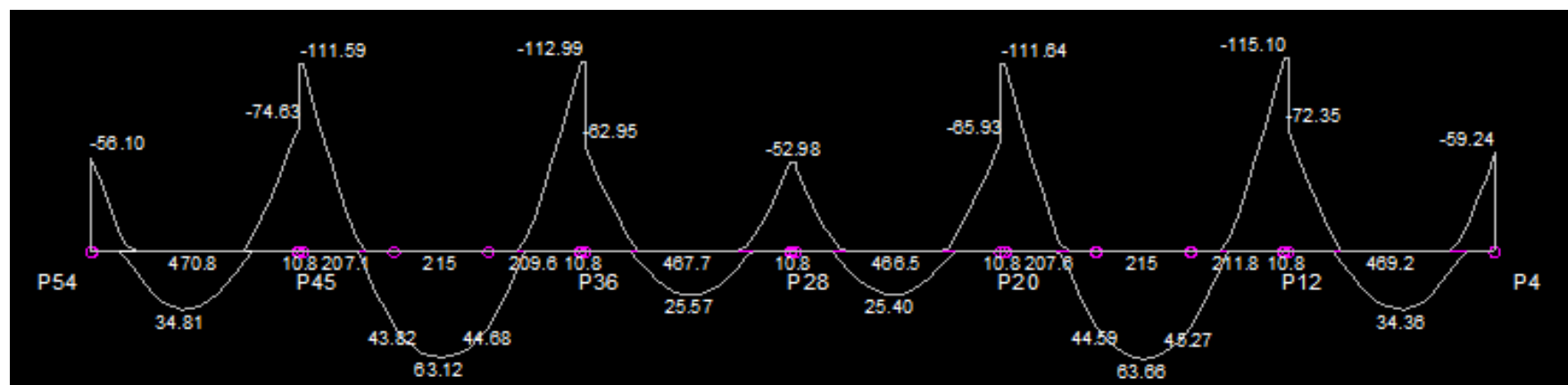
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 11	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 11	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	34,42	2,14	54,78	2,44	Trecho 1	77,29	674,61	0,04	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	64,39	2,86	111,18	5,07	Trecho 2	164,97	675,89	0,19	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	9,72	2,14	125,97	5,80	Trecho 3	27,57	674,61	1,11	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	12,33	2,14	26,43	2,14	Trecho 4	26,82	674,61	0,15	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	30,24	2,14	55,21	2,46	Trecho 5	49,34	674,61	0,46	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	39,58	2,14	68,64	3,06	Trecho 6	87,93	674,61	0,10	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	67,09	2,99							



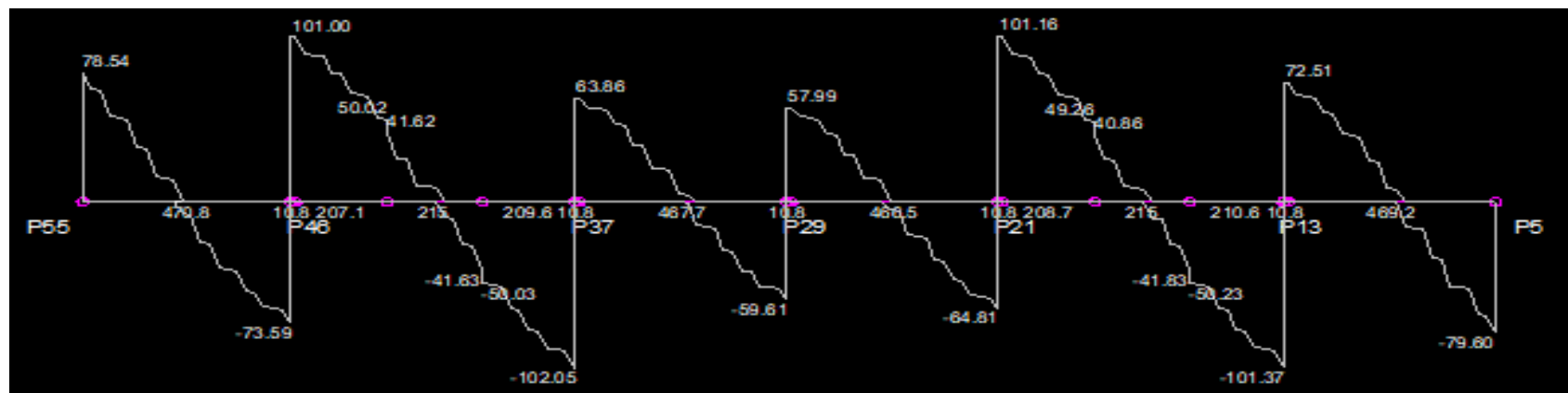
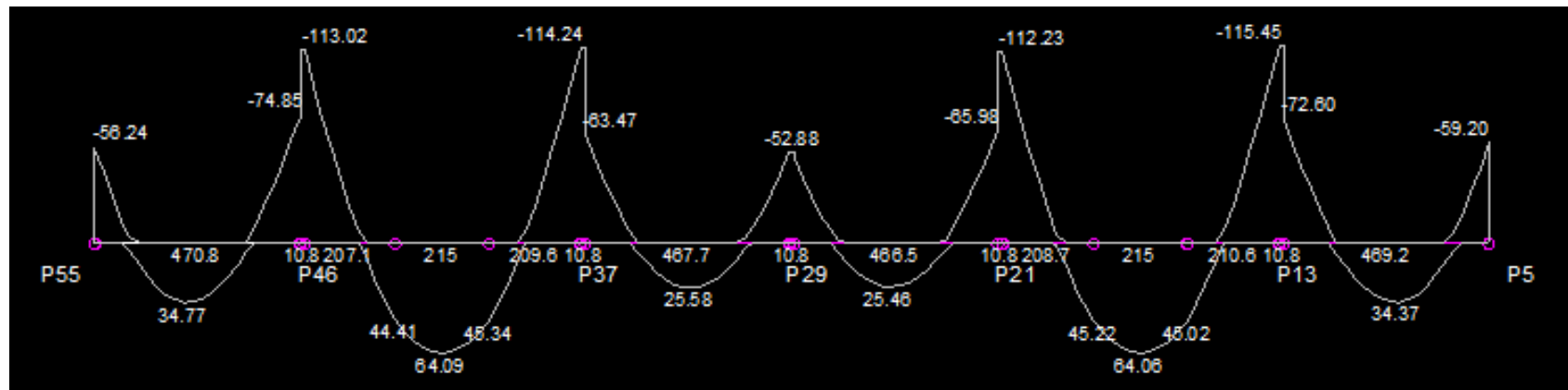
Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 12	Md + (kN.m/m)	As + (cm²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm²)	Viga 12	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²/m)	As tor. (cm²/m)
Trecho 1	34,97	2,14	56,21	2,50	Trecho 1	78,72	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	62,41	2,77	110,51	5,04	Trecho 2	99,15	675,89	0,06	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	26,26	2,14	112,51	5,11	Trecho 3	65,25	674,61	0,13	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	25,52	2,14	54,22	2,41	Trecho 4	65,38	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	66,18	2,95	115,06	5,34	Trecho 5	104,41	675,89	0,11	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	33,59	2,14	118,56	5,51	Trecho 6	79,20	674,61	0,07	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	59,62	2,65							



Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 13	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 13	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	34,81	2,14	56,10	2,50	Trecho 1	78,46	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	63,12	2,80	111,59	5,09	Trecho 2	100,89	675,89	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	25,57	2,14	112,99	5,15	Trecho 3	63,56	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	25,40	2,14	52,98	2,35	Trecho 4	64,68	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	63,66	2,83	111,64	5,09	Trecho 5	100,92	675,89	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	34,36	2,14	115,10	5,34	Trecho 6	79,58	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	59,24	2,63							

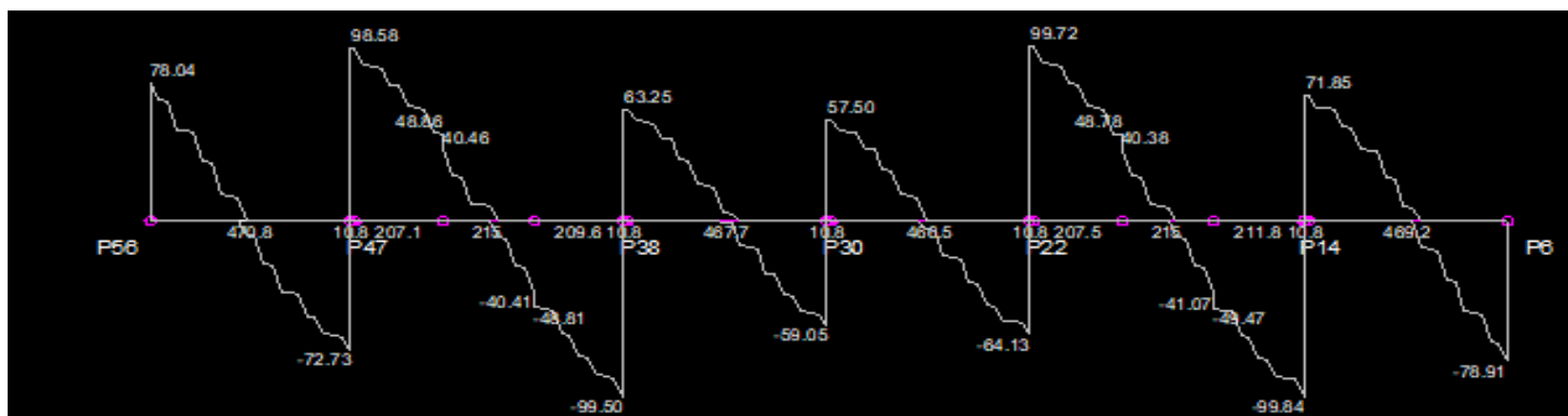
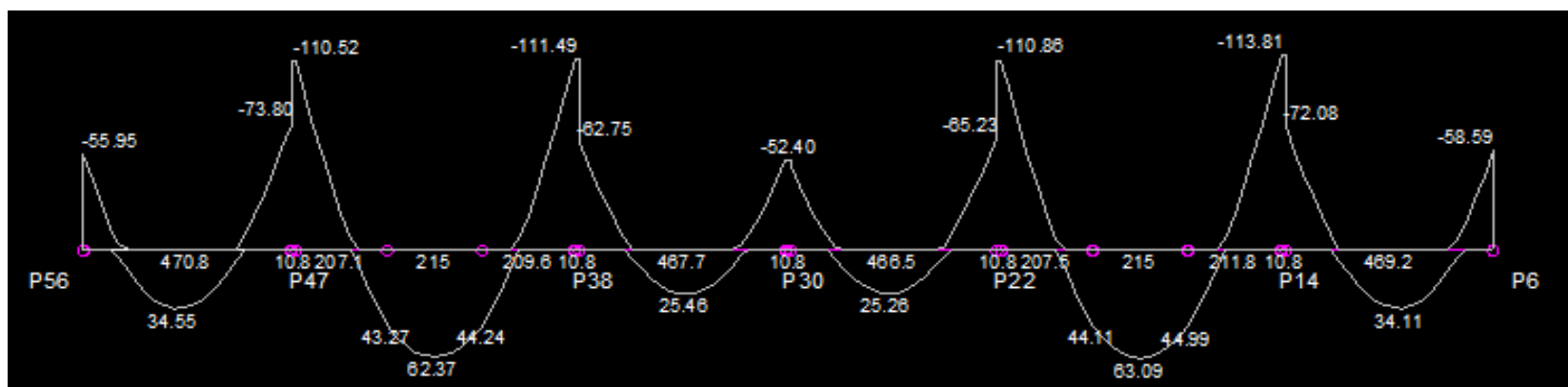


Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 14	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 14	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	34,77	2,14	56,24	2,50	Trecho 1	78,54	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	64,09	2,85	113,02	5,16	Trecho 2	102,05	675,89	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	25,58	2,14	114,24	5,30	Trecho 3	63,86	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	25,46	2,14	52,88	2,35	Trecho 4	64,81	674,61	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	64,06	2,85	112,23	5,12	Trecho 5	101,37	675,89	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	34,37	2,14	115,45	5,35	Trecho 6	79,60	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	59,20	2,63							

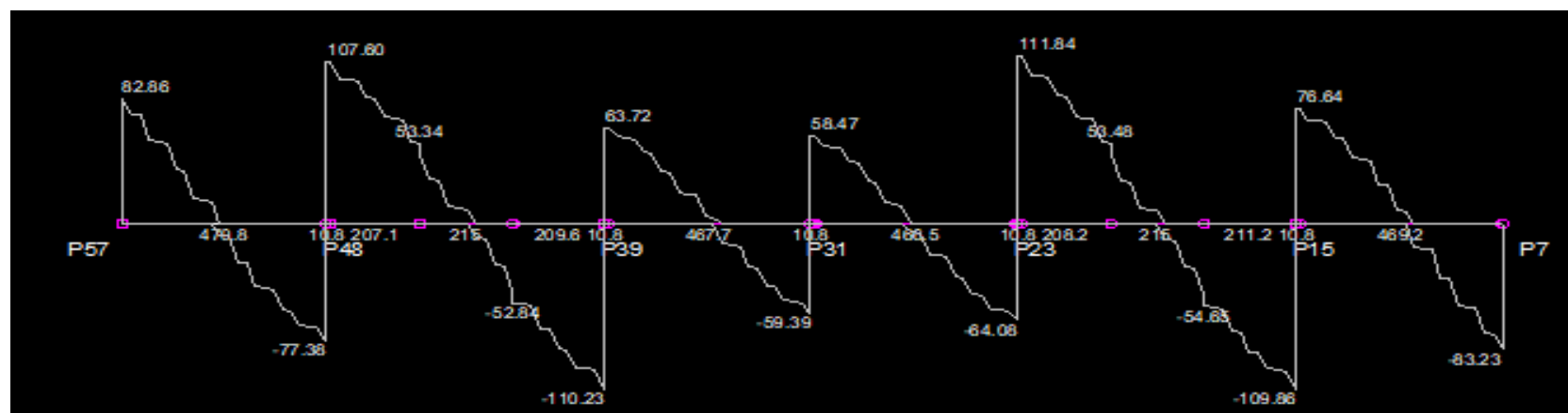
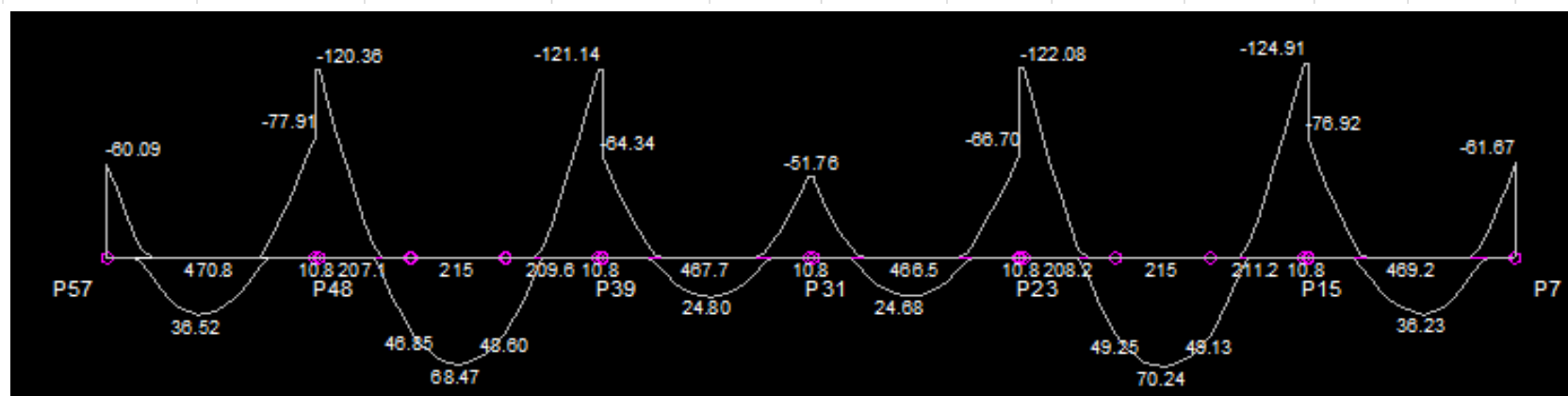


Análise de resultado das vigas à flexão				
Viga 15	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)
Trecho 1	34,55	2,14	55,95	2,49
Trecho 2	62,37	2,77	110,52	5,04
Trecho 3	25,46	2,14	111,49	5,08
Trecho 4	25,26	2,14	52,40	2,32
Trecho 5	63,09	2,80	110,86	5,05
Trecho 6	34,11	2,14	113,81	5,27
Trecho 6	-	-	58,59	2,60

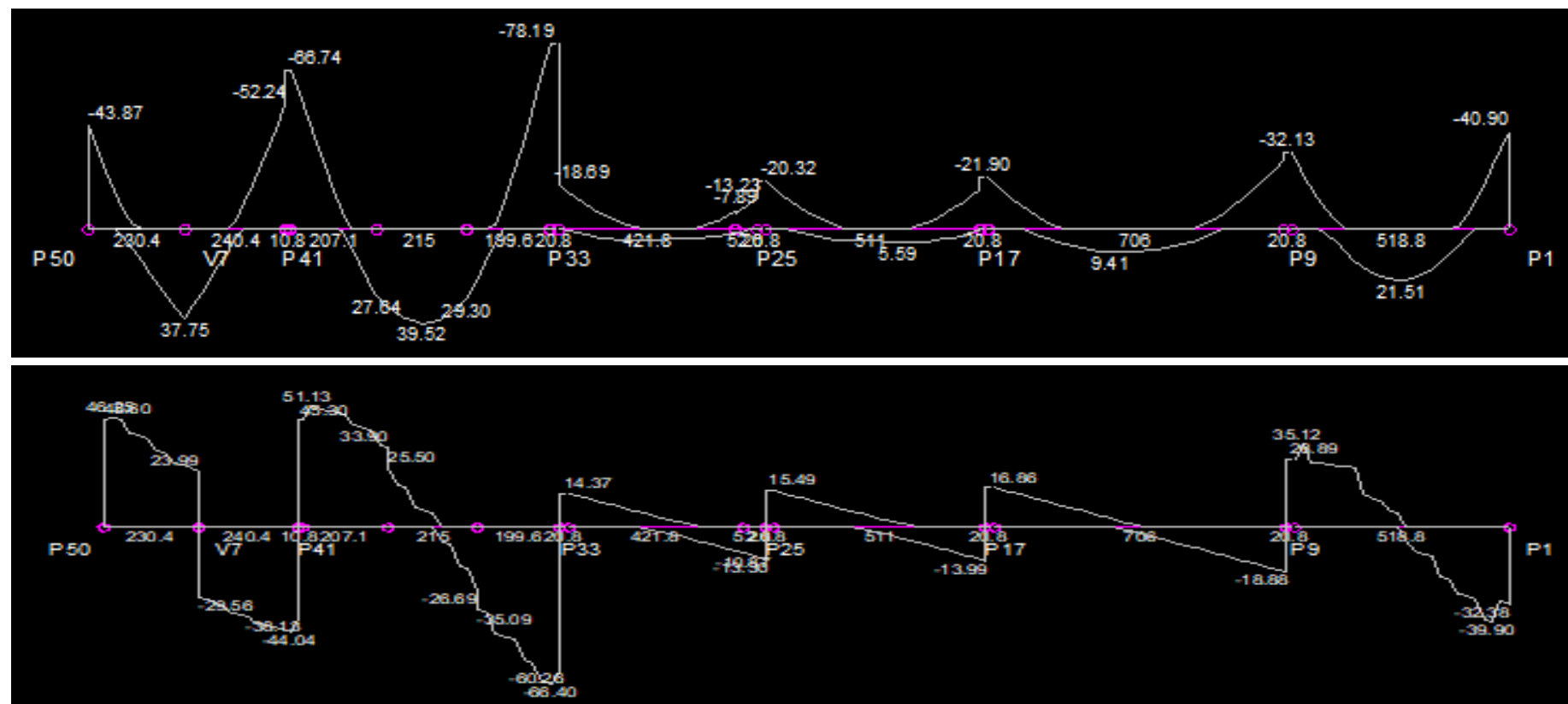
Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 15	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	78,04	674,61	0,05	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	99,50	675,89	0,00	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	63,25	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	64,13	674,61	0,01	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	99,84	675,89	0,02	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	78,91	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00



Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 16	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 16	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	36,52	2,14	60,09	2,67	Trecho 1	82,86	674,61	0,26	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	68,47	3,06	120,36	5,60	Trecho 2	110,23	674,61	0,03	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	24,80	2,14	121,14	5,63	Trecho 3	63,72	674,61	0,07	64,56	2,90	0,00
Trecho 4	24,68	2,14	51,76	2,29	Trecho 4	64,08	674,61	0,06	64,56	2,90	0,00
Trecho 5	70,24	3,14	122,08	5,68	Trecho 5	111,84	674,61	0,08	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	36,23	2,14	124,91	5,75	Trecho 6	83,23	674,61	0,16	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	61,67	2,74							



Análise de resultado das vigas à flexão					Análise de resultado das vigas à cisalhamento e torção						
Viga 18	Md + (kN.m/m)	As + (cm ²)	Md - (kN.m/m)	As - (cm ²)	Viga 18	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm ² /m)	As tor. (cm ² /m)
Trecho 1	37,75	2,14	43,87	2,14	Trecho 1	46,25	674,61	4,96	64,56	2,90	0,00
Trecho 2	39,52	2,14	66,74	2,98	Trecho 2	66,40	674,61	0,57	64,56	2,90	0,00
Trecho 3	5,20	2,14	78,19	7,19	Trecho 3	14,37	668,25	3,87	62,92	2,90	0,00
Trecho 4	5,59	2,14	20,32	2,14	Trecho 4	15,49	668,25	0,55	62,92	2,90	0,00
Trecho 5	9,41	2,14	21,90	2,14	Trecho 5	18,88	668,25	0,20	62,92	2,90	0,00
Trecho 6	21,51	2,14	32,13	2,14	Trecho 6	39,90	674,61	0,12	64,56	2,90	0,00
Trecho 6	-	-	40,90	2,14							



Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura B3 – Resultados de esforços e áreas de aço para os pilares do subsolo 01.

Análise de resultado dos pilares à compressão e flexão oblíqua								
Pilares	Seção crit.	Nd.max (kN)	Msd _x (kN.m/m)	Msd _y (kN.m/m)	Mrd _x (kN.m/m)	Mrd _y (kN.m/m)	Mrd/Msd	As (cm²)
P10	Topo	351,61	37,01	47,24	111,60	142,46	3,02	11,00
P11	Base	297,56	37,79	56,99	58,32	87,95	1,54	7,36
P12	Base	306,51	41,56	50,94	66,31	81,27	1,60	7,36
P13	Base	306,41	42,01	50,61	66,94	80,63	1,59	7,36
P14	Base	295,91	33,57	53,55	56,27	89,77	1,68	7,36
P15	Base	364,05	78,71	53,29	85,12	57,63	1,08	7,36
P16	Topo	196,30	104,78	45,78	104,47	46,54	1,02	14,14
P18	Topo	481,95	233,49	55,54	237,64	56,53	1,00	18,85
P19	Base	267,10	35,72	59,14	53,31	88,26	1,49	7,36
P20	Base	300,55	36,90	57,69	57,05	89,59	1,55	7,36
P21	Base	296,13	36,85	58,31	56,54	89,47	1,53	7,36
P22	Base	287,17	34,75	57,78	54,32	90,31	1,56	7,36
P23	Base	348,24	61,59	45,05	83,09	60,78	1,35	7,36
P24	Topo	187,89	104,18	13,26	111,48	14,19	1,05	14,14
P31	Base	283,03	57,63	29,83	79,62	41,21	1,38	7,36
P32	Topo	156,08	94,38	32,03	95,57	31,75	1,00	12,06
P33	Topo	338,14	382,72	22,70	379,77	22,53	1,00	41,72
P34	Topo	480,57	291,60	52,95	289,50	52,57	1,00	26,70
P35	Base	278,41	37,35	60,19	54,90	88,47	1,47	7,36
P36	Base	297,44	37,23	60,91	55,45	90,73	1,49	7,36
P37	Base	295,61	37,58	60,47	55,92	89,97	1,49	7,36
P38	Base	286,44	33,00	59,19	51,74	92,79	1,57	7,36
P39	Base	347,70	64,63	13,82	91,05	19,47	1,41	7,36
P40	Topo	188,16	103,82	47,40	103,39	47,21	1,00	14,14
P41	Topo	212,80	149,31	10,49	150,81	10,59	1,01	18,85
P42	Base	446,10	99,73	129,95	99,98	130,27	1,00	17,18
P43	Base	291,41	27,63	48,14	50,87	88,62	1,84	7,36
P44	Base	305,28	30,98	46,61	56,43	84,90	1,82	7,36
P45	Base	305,50	34,73	47,10	62,56	84,84	1,80	7,36
P46	Base	306,84	34,08	47,21	61,87	85,72	1,82	7,36
P47	Base	296,40	34,62	50,82	59,17	86,85	1,71	7,36
P48	Base	362,60	65,59	34,59	87,34	46,06	1,33	7,36
P49	Base	196,19	121,68	29,89	126,47	31,07	1,02	17,18

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (B)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	118,85	1148,12	0,08	162,26	5,21	0,01
P11	128,25	707,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P12	126,28	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P13	127,01	707,39	0,04	82,08	4,06	0,01
P14	124,05	707,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P15	156,15	707,39	0,07	82,08	4,06	0,01
P16	129,84	710,25	0,05	82,08	4,06	0,01
P18	102,01	1144,62	0,10	162,26	5,21	0,01
P19	132,25	707,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P20	126,48	707,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P21	127,59	707,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P22	126,58	707,39	0,09	82,08	4,06	0,01
P23	107,75	707,39	0,11	82,08	4,06	0,01
P24	129,53	710,25	0,07	82,08	4,06	0,01
P31	90,29	707,39	0,12	82,08	4,06	0,01
P32	122,33	707,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P33	339,23	1139,72	0,35	162,26	8,30	0,03
P34	176,13	1148,12	0,28	162,26	5,21	0,02
P35	130,47	707,39	0,10	82,08	4,06	0,01
P36	127,13	707,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P37	127,95	707,39	0,07	82,08	4,06	0,01
P38	124,64	707,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P39	94,93	707,39	0,13	82,08	4,06	0,02
P40	129,48	710,25	0,09	82,08	4,06	0,01
P41	111,44	710,25	0,11	82,08	4,06	0,01
P42	168,84	707,39	0,09	82,08	4,06	0,01
P43	122,11	707,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P44	123,59	707,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P45	123,70	707,39	0,05	82,08	4,06	0,01
P46	123,23	707,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P47	126,51	707,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P48	106,52	707,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P49	193,65	707,39	0,04	82,08	5,09	0,00

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (H)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	78,21	1168,48	0,08	162,26	5,21	0,01
P11	90,41	728,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P12	89,94	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P13	89,72	728,39	0,04	82,08	4,06	0,01
P14	89,00	728,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P15	92,27	728,39	0,07	82,08	4,06	0,01
P16	136,91	730,62	0,05	82,08	4,06	0,01
P18	92,40	1165,62	0,10	162,26	5,21	0,01
P19	92,22	728,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P20	91,56	728,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P21	91,81	728,39	0,03	82,08	4,06	0,00
P22	91,65	728,39	0,09	82,08	4,06	0,01
P23	96,31	728,39	0,11	82,08	4,06	0,01
P24	115,84	730,62	0,07	82,08	4,06	0,01
P31	125,36	728,39	0,12	82,08	4,06	0,01
P32	126,01	728,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P33	80,04	1161,61	0,35	162,26	8,30	0,03
P34	108,01	1168,48	0,28	162,26	5,21	0,02
P35	93,97	728,39	0,10	82,08	4,06	0,01
P36	93,92	728,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P37	93,65	728,39	0,07	82,08	4,06	0,01
P38	92,79	728,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P39	106,33	728,39	0,13	82,08	4,06	0,02
P40	138,61	730,62	0,09	82,08	4,06	0,01
P41	70,22	730,62	0,11	82,08	4,06	0,01
P42	158,31	728,39	0,09	82,08	4,06	0,01
P43	86,79	728,39	0,08	82,08	4,06	0,01
P44	85,68	728,39	0,06	82,08	4,06	0,01
P45	84,61	728,39	0,05	82,08	4,06	0,01
P46	86,42	728,39	0,04	82,08	4,06	0,00
P47	85,98	728,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P48	89,50	728,39	0,02	82,08	4,06	0,00
P49	73,68	728,39	0,04	82,08	5,09	0,00

Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura B4 – Resultados de esforços e áreas de aço para os pilares do subsolo 02.

Análise de resultado dos pilares à compressão e flexão oblíqua								
Pilares	Seção crit.	Nd.max (kN)	Msd _x (kN.m/m)	Msd _y (kN.m/m)	Mrd _x (kN.m/m)	Mrd _y (kN.m/m)	Mrd/Msd	As (cm²)
P10	Centro	599,10	130,13	55,15	147,41	62,47	1,13	11,00
P11	Centro	607,54	46,91	35,41	81,99	61,89	1,75	7,36
P12	Centro	610,44	44,46	35,37	81,60	64,92	1,84	7,36
P13	Centro	612,01	43,34	35,26	81,38	66,22	1,88	7,36
P14	Centro	594,79	43,16	35,07	80,65	65,53	1,87	7,36
P15	Centro	721,01	42,59	35,13	85,42	70,46	2,01	7,36
P16	Centro	396,01	51,30	9,62	96,97	18,17	1,89	7,36
P18	Centro	640,30	83,95	118,77	108,29	153,20	1,29	11,00
P19	Centro	579,09	125,03	58,20	124,99	58,18	1,00	15,71
P20	Centro	592,85	123,51	57,91	122,92	57,63	1,00	14,73
P21	Centro	592,58	123,87	57,98	122,90	57,53	1,00	14,73
P22	Centro	576,12	123,81	58,09	124,89	58,59	1,01	15,71
P23	Centro	691,18	123,41	58,68	126,43	60,12	1,02	14,73
P24	Centro	377,57	71,44	39,38	73,69	40,62	1,03	7,36
P31	Centro	566,22	67,52	111,84	70,35	116,53	1,04	12,06
P32	Centro	316,51	69,49	34,85	70,52	35,37	1,01	7,36
P33	Centro	555,28	62,50	123,68	85,08	168,37	1,36	11,00
P34	Centro	826,74	63,22	241,94	63,96	244,78	1,01	15,71
P35	Centro	577,58	122,10	58,91	121,71	58,73	1,00	14,73
P36	Centro	590,59	123,02	58,95	122,50	58,70	1,00	14,73
P37	Centro	590,89	122,86	58,92	122,49	58,74	1,00	14,73
P38	Centro	574,53	122,30	58,95	121,74	58,68	1,00	14,73
P39	Centro	689,99	71,23	108,08	72,31	109,72	1,02	11,00
P40	Centro	376,94	71,82	33,91	74,53	35,19	1,04	7,36
P41	Centro	435,43	138,15	76,01	140,10	77,08	1,01	18,85
P42	Centro	897,27	153,81	238,46	153,25	237,60	1,00	40,21
P43	Centro	588,65	124,52	225,61	123,77	224,25	1,00	36,19
P44	Centro	609,07	124,61	57,84	123,62	57,38	1,00	14,73
P45	Centro	609,66	124,53	57,54	123,72	57,17	1,00	14,73
P46	Centro	611,78	124,48	57,28	123,86	57,00	1,00	14,73
P47	Centro	593,87	124,38	57,08	123,16	56,52	1,00	14,73
P48	Centro	718,84	123,80	57,29	122,71	56,78	1,00	14,14
P49	Centro	392,54	128,13	19,24	126,97	19,06	1,00	16,08

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (B)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	82,88	1148,12	0,00	162,26	5,21	0,00
P11	115,33	707,39	4,34	82,08	4,06	0,57
P12	120,43	707,39	4,37	82,08	4,06	0,56
P13	121,16	707,39	4,40	82,08	4,06	0,56
P14	121,00	707,39	4,33	82,08	4,06	0,56
P15	128,72	707,39	5,23	82,08	4,06	0,68
P16	77,74	707,39	5,51	82,08	4,06	0,72
P18	44,04	1148,12	0,00	162,26	5,21	0,00
P19	85,37	710,25	0,00	82,08	4,06	0,00
P20	86,63	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P21	86,37	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P22	86,19	710,25	0,00	82,08	4,06	0,00
P23	88,29	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P24	38,27	707,39	3,67	82,08	4,06	0,48
P31	42,36	703,38	0,00	82,08	4,06	0,00
P32	38,15	707,39	3,14	82,08	4,06	0,41
P33	112,72	1148,12	12,15	162,26	5,21	1,01
P34	118,06	1148,12	1,20	162,26	5,21	0,10
P35	87,52	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P36	86,95	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P37	87,08	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P38	87,28	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P39	42,07	710,25	0,00	82,08	4,06	0,00
P40	37,99	707,39	2,43	82,08	4,06	0,32
P41	78,43	698,80	4,76	82,08	6,44	0,62
P42	82,38	703,38	0,00	82,08	4,06	0,00
P43	86,14	703,38	0,00	82,08	4,06	0,00
P44	86,20	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P45	86,25	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P46	86,30	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P47	86,10	707,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P48	88,47	710,25	0,00	82,08	4,06	0,00
P49	78,68	703,38	0,65	82,08	4,06	0,09

Análise de resultado dos pilares à cisalhamento e torção (H)						
Pilares	Vd (kN)	VRd2 (kN)	Td (kN.m)	TRd2 (kN.m)	As cis. (cm²)	As tor. (cm²)
P10	47,32	1168,48	0,00	162,26	5,21	0,00
P11	55,30	728,39	4,34	82,08	4,06	0,57
P12	54,50	728,39	4,37	82,08	4,06	0,56
P13	54,99	728,39	4,40	82,08	4,06	0,56
P14	55,48	728,39	4,33	82,08	4,06	0,56
P15	56,35	728,39	5,23	82,08	4,06	0,68
P16	128,30	728,39	5,51	82,08	4,06	0,72
P18	85,15	1168,48	0,00	162,26	5,21	0,00
P19	41,54	730,62	0,00	82,08	4,06	0,00
P20	41,78	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P21	41,74	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P22	41,71	730,62	0,00	82,08	4,06	0,00
P23	41,24	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P24	120,85	728,39	3,67	82,08	4,06	0,48
P31	86,41	725,27	0,00	82,08	4,06	0,00
P32	128,25	728,39	3,14	82,08	4,06	0,41
P33	213,31	1168,48	12,15	162,26	5,21	1,01
P34	172,13	1168,48	1,20	162,26	5,21	0,10
P35	41,39	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P36	41,34	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P37	41,36	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P38	41,38	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P39	88,37	730,62	0,00	82,08	4,06	0,00
P40	131,46	728,39	2,43	82,08	4,06	0,32
P41	240,21	721,71	4,76	82,08	6,44	0,62
P42	164,50	725,27	0,00	82,08	4,06	0,00
P43	168,07	725,27	0,00	82,08	4,06	0,00
P44	41,98	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P45	42,11	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P46	42,24	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P47	42,36	728,39	0,00	82,08	4,06	0,00
P48	42,12	730,62	0,00	82,08	4,06	0,00
P49	67,21	725,27	0,65	82,08	4,06	0,09

Fonte: Elaboração do autor (2021).

APÊNDICE C
AUMENTO DE ESFORÇOS E ÁREAS DE AÇO PARA AS VIGAS ANALISADAS

Figura C1 – Aumento de esforços e áreas de aço para as vigas analisadas.

Viga 3	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)	Viga 3	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 1	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 2	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 3	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 5	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,52	0,03	2,26	0,05	Trecho 6	2,08	0,03	0,00	0,00
Trecho 6	-	-	1,47	0,07					

Viga 4	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)	Viga 4	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,80	0,04	0,00	0,00	Trecho 1	0,84	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	0,00	0,00	0,43	0,02	Trecho 2	0,05	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,07	0,00	0,47	0,03	Trecho 3	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	0,10	0,00	0,56	0,02	Trecho 4	0,24	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 5	1,20	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	1,09	0,06	3,16	0,23	Trecho 6	2,64	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	-	-	2,03	0,10					

Viga 5	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)	Viga 5	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 1	0,00	0,08	0,00	0,00
Trecho 1	-	-	0,00	0,00	Trecho 2	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 3	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 4	0,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 5	0,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 5	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 6	0,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 6	0,00	0,00	2,94	0,08	Trecho 7	3,44	0,02	0,00	0,00
Trecho 7	1,20	0,05	2,89	0,14					

Viga 10	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)	Viga 10	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,00	0,00	0,00	0,00	Trecho 1	0,50	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	0,00	0,00	18,26	1,78	Trecho 2	5,44	0,15	0,00	0,00

Viga 11	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)
Trecho 1	0,20	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	0,80	0,03	2,42	0,12
Trecho 3	0,00	0,00	6,66	0,26
Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	4,04	0,00	7,81	0,32
Trecho 6	0,00	0,00	1,32	0,06
Trecho 6	-	-	0,18	0,01

Viga 11	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
1	0,60	0,00	0,00	0,00
2	49,05	0,03	0,00	0,00
3	2,32	0,06	0,00	0,00
4	0,74	0,04	0,00	0,00
5	6,41	0,00	0,00	0,00
6	0,47	0,00	0,00	0,00

Viga 12	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)
Trecho 1	0,13	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,09	0,05	2,45	0,12
Trecho 3	0,25	0,00	3,18	0,13
Trecho 4	0,03	0,00	0,64	0,03
Trecho 5	0,56	0,03	1,56	0,08
Trecho 6	0,15	0,00	1,78	0,09
Trecho 6	-	-	0,40	0,02

Viga 12	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,51	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,58	0,02	0,00	0,00
Trecho 3	1,91	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	1,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 5	0,74	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,78	0,00	0,00	0,00

Viga 13	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)
Trecho 1	0,14	0,00	0,04	0,01
Trecho 2	0,96	0,04	2,16	0,11
Trecho 3	0,00	0,00	2,23	0,10
Trecho 4	0,02	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	1,04	0,05	2,33	0,11
Trecho 6	0,12	0,00	2,43	0,20
Trecho 6	-	-	0,23	0,01

Viga 13	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,58	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,26	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,79	0,01	0,00	0,00
Trecho 4	1,01	0,01	0,00	0,00
Trecho 5	1,40	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,66	0,00	0,00	0,00

Viga 14	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)
Trecho 1	0,05	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,90	0,09	3,46	0,17
Trecho 3	0,00	0,00	3,49	0,25
Trecho 4	0,01	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	1,08	0,05	2,26	0,11
Trecho 6	0,12	0,00	2,32	0,19
Trecho 6	-	-	0,16	0,01

Viga 14	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,47	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	2,46	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	1,00	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	0,93	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	1,33	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,62	0,00	0,00	0,00

Viga 15	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)		Viga 15	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,14	0,00	0,19	0,01		Trecho 1	0,67	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,05	0,05	2,43	0,12		Trecho 2	1,44	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,05	0,00	2,34	0,11		Trecho 3	1,07	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	0,05	0,00	0,00	0,00		Trecho 4	1,05	0,00	0,00	0,00
Trecho 5	1,02	0,04	2,42	0,11		Trecho 5	1,42	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,16	0,00	2,36	0,19		Trecho 6	0,66	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	-	-	0,14	0,01						

Viga 16	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)		Viga 16	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,14	0,00	0,24	0,01		Trecho 1	0,68	0,00	0,00	0,00
Trecho 2	1,27	0,06	2,58	0,13		Trecho 2	2,08	0,01	0,00	0,00
Trecho 3	0,00	0,00	2,28	0,11		Trecho 3	0,00	0,02	0,00	0,00
Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00		Trecho 4	0,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 5	2,22	0,11	3,64	0,18		Trecho 5	3,37	0,03	0,00	0,00
Trecho 6	0,14	0,00	3,66	0,11		Trecho 6	0,51	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	-	-	0,00	0,00						

Viga 18	Aumento de Md + (kN.m/m)	Aumento de As + (cm²)	Aumento de Md - (kN.m/m)	Aumento de As - (cm²)		Viga 18	Aumento de Vd (kN)	Aumento de Td (kN.m)	Aumento de As cis. (cm²/m)	Aumento de As tor. (cm²/m)
Trecho 1	0,00	0,00	0,00	0,00		Trecho 1	0,00	0,01	0,00	0,00
Trecho 2	4,77	0,00	8,03	0,38		Trecho 2	7,20	0,00	0,00	0,00
Trecho 3	0,00	0,00	9,90	4,14		Trecho 3	0,15	0,00	0,00	0,00
Trecho 4	0,00	0,00	0,00	0,00		Trecho 4	0,00	0,02	0,00	0,00
Trecho 5	0,02	0,00	0,00	0,00		Trecho 5	0,03	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	0,00	0,00	0,00	0,00		Trecho 6	0,10	0,00	0,00	0,00
Trecho 6	-	-	0,16	0,00						

Fonte: Elaboração do autor (2021).

APÊNDICE D
AUMENTO DE ESFORÇOS E ÁREAS DE AÇO PARA OS PILARES

Figura D1 – Redução da relação Mrd/Msd e áreas de aço para os pilares do subsolo 01.

Momento fletor			
Pilares	Seção crit.	Redução Mrd/Msd (%)	Aumento As (cm²)
P10	Topo - Topo	-2,58	0,00
P11	Topo - Base	-36,63	0,00
P12	Topo - Base	-36,00	0,00
P13	Topo - Base	-36,14	0,00
P14	Topo - Base	-32,53	0,00
P15	Topo - Base	-30,77	0,00
P16	Topo - Topo	-0,97	0,00
P18	Topo - Topo	-0,99	0,00
P19	Topo - Base	-27,67	0,00
P20	Topo - Base	-34,32	0,00
P21	Topo - Base	-33,48	0,00
P22	Topo - Base	-32,17	0,00
P23	Topo - Base	-11,76	0,00
P24	Topo - Topo	0,00	0,00
P31	Topo - Base	-27,75	0,00
P32	Topo - Topo	-2,91	0,00
P33	Topo - Topo	0,00	0,00
P34	Topo - Topo	-0,99	0,00
P35	Topo - Base	-22,63	0,00
P36	Topo - Base	-32,88	0,00
P37	Topo - Base	-31,34	0,00
P38	Topo - Base	-28,96	0,00
P39	Topo - Base	-5,37	0,00
P40	Topo - Topo	-4,76	0,00
P41	Topo - Topo	0,00	0,00
P42	Topo - Base	-1,96	5,12
P43	Topo - Base	-33,57	0,00
P44	Topo - Base	-37,24	0,00
P45	Topo - Base	-35,48	0,00
P46	Topo - Base	-34,30	0,00
P47	Topo - Base	-38,27	0,00
P48	Topo - Base	-13,07	0,00
P49	Topo - Base	0,00	3,04

Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura D2 – Aumento de esforços e áreas de aço cisalhante para os pilares do subsolo 01.

Direção B			
Pilares	Aumento Vd (kN)	Aumento As cis. (cm ² /m)	Aumento As tor. (cm ² /m)
P10	112,12	0,00	0,00
P11	124,63	0,00	0,00
P12	124,40	0,46	0,00
P13	124,52	0,46	0,01
P14	121,10	0,46	0,01
P15	124,70	0,00	0,01
P16	61,67	0,00	0,01
P18	19,87	0,00	0,00
P19	124,30	0,00	0,00
P20	124,01	0,00	0,00
P21	124,01	0,00	0,00
P22	123,25	0,00	0,01
P23	75,72	0,00	0,01
P24	60,97	0,00	0,01
P31	62,35	0,00	0,01
P32	60,95	0,00	0,01
P33	120,63	3,09	0,02
P34	19,20	0,00	0,01
P35	118,04	0,00	0,01
P36	124,70	0,00	0,01
P37	124,11	0,00	0,01
P38	121,46	0,00	0,01
P39	62,66	0,00	0,02
P40	61,00	0,00	0,01
P41	19,44	0,00	0,01
P42	123,11	0,00	0,01
P43	115,87	0,46	0,01
P44	119,87	0,46	0,01
P45	120,29	0,46	0,01
P46	119,32	0,46	0,00
P47	123,27	0,46	0,00
P48	72,01	0,00	0,00
P49	121,85	1,03	0,00

Direção H			
Pilares	Aumento Vd (kN)	Aumento As cis. (cm ² /m)	Aumento As tor. (cm ² /m)
10	61,14	0,00	0,00
11	61,91	0,00	0,00
12	61,80	0,46	0,00
13	61,75	0,46	0,01
14	61,78	0,46	0,01
15	61,80	0,00	0,01
16	123,36	0,00	0,01
18	60,88	0,00	0,00
19	61,59	0,00	0,00
20	61,44	0,00	0,00
21	61,45	0,00	0,00
22	61,76	0,00	0,01
23	62,02	0,00	0,01
24	101,53	0,00	0,01
31	121,37	0,00	0,01
32	123,84	0,00	0,01
33	60,05	3,09	0,02
34	61,07	0,00	0,01
35	62,07	0,00	0,01
36	61,71	0,00	0,01
37	61,58	0,00	0,01
38	61,48	0,00	0,01
39	71,05	0,00	0,02
40	123,45	0,00	0,01
41	62,42	0,00	0,01
42	74,43	0,00	0,01
43	62,67	0,46	0,01
44	61,92	0,46	0,01
45	59,68	0,46	0,01
46	61,46	0,46	0,00
47	61,43	0,46	0,00
48	61,45	0,00	0,00
49	61,83	1,03	0,00

Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura D3 – Redução da relação Mrd/Msd e áreas de aço para os pilares do subsolo 02.

Momento fletor			
Pilares	Seção crit.	Redução Mrd/Msd (%)	Aumento As (cm²)
P10	Topo - Centro	-81,35	0,00
P11	Topo - Centro	-64,43	0,00
P12	Topo - Centro	-64,68	0,00
P13	Topo - Centro	-63,50	0,00
P14	Topo - Centro	-63,76	0,00
P15	Topo - Centro	-42,74	0,00
P16	Topo - Centro	-17,11	0,00
P18	Topo - Centro	-53,76	0,00
P19	Centro - Centro	-79,25	8,35
P20	Centro - Centro	-79,34	7,37
P21	Centro - Centro	-79,34	7,37
P22	Centro - Centro	-79,43	8,35
P23	Centro - Centro	-76,92	7,37
P24	Topo - Centro	-62,27	0,00
P31	Centro - Centro	-80,56	4,70
P32	Topo - Centro	-65,29	0,00
P33	Topo - Centro	-63,24	0,00
P34	Topo - Centro	-70,81	4,71
P35	Centro - Centro	-79,76	7,37
P36	Centro - Centro	-79,08	7,37
P37	Centro - Centro	-79,08	7,37
P38	Centro - Centro	-79,34	7,37
P39	Centro - Centro	-76,61	3,64
P40	Topo - Centro	-61,19	0,00
P41	Topo - Centro	-63,27	11,49
P42	Topo - Centro	-69,04	32,85
P43	Centro - Centro	-79,72	28,83
P44	Centro - Centro	-79,51	7,37
P45	Centro - Centro	-79,42	7,37
P46	Centro - Centro	-79,42	7,37
P47	Centro - Centro	-79,72	7,37
P48	Centro - Centro	-77,38	6,78
P49	Topo - Centro	-62,69	8,72

Fonte: Elaboração do autor (2021).

Figura D4 – Aumento de esforços e áreas de aço cisalhante para os pilares do subsolo 02.

Direção B			
Pilares	Aumento Vd (kN)	Aumento As cis. (cm ² /m)	Aumento As tor. (cm ² /m)
P10	78,61	1,61	0,00
P11	110,35	0,46	0,55
P12	113,96	0,46	0,54
P13	114,73	0,46	0,54
P14	114,20	0,46	0,55
P15	114,92	0,46	0,57
P16	54,47	0,00	0,58
P18	28,93	1,61	0,00
P19	82,92	0,46	0,00
P20	85,62	0,46	0,00
P21	85,11	0,46	0,00
P22	84,76	0,46	0,00
P23	85,49	0,46	0,00
P24	31,65	0,00	0,41
P31	39,91	0,46	0,00
P32	32,39	0,46	0,40
P33	92,56	1,61	0,86
P34	95,19	1,61	0,07
P35	85,88	0,46	0,00
P36	85,78	0,46	0,00
P37	85,80	0,46	0,00
P38	85,80	0,46	0,00
P39	39,27	0,46	0,00
P40	31,57	0,00	0,31
P41	70,91	2,84	0,58
P42	77,15	0,46	0,00
P43	85,08	0,46	0,00
P44	84,90	0,46	0,00
P45	84,96	0,46	0,00
P46	85,02	0,46	0,00
P47	84,59	0,46	0,00
P48	85,49	0,46	0,00
P49	71,63	0,00	0,01

Direção H			
Pilares	Aumento Vd (kN)	Aumento As cis. (cm ² /m)	Aumento As tor. (cm ² /m)
10	41,21	1,61	0,00
11	46,74	0,46	0,55
12	46,81	0,46	0,54
13	47,14	0,46	0,54
14	47,59	0,46	0,55
15	48,05	0,46	0,57
16	114,14	0,00	0,58
18	81,65	1,61	0,00
19	37,74	0,46	0,00
20	38,21	0,46	0,00
21	38,15	0,46	0,00
22	38,16	0,46	0,00
23	37,43	0,46	0,00
24	108,80	0,00	0,41
31	84,41	0,46	0,00
32	117,50	0,46	0,40
33	194,84	1,61	0,86
34	163,04	1,61	0,07
35	37,58	0,46	0,00
36	37,38	0,46	0,00
37	37,37	0,46	0,00
38	37,38	0,46	0,00
39	84,08	0,46	0,00
40	117,00	0,00	0,31
41	230,22	2,84	0,58
42	157,76	0,46	0,00
43	164,74	0,46	0,00
44	38,82	0,46	0,00
45	38,90	0,46	0,00
46	39,04	0,46	0,00
47	39,19	0,46	0,00
48	38,76	0,46	0,00
49	55,91	0,00	0,01

Fonte: Elaboração do autor (2021).