

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COECI - COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

LUCAS CARPENEDO RHEINHEIMER

**ANÁLISE DE LAJES NERVURADAS LISAS USANDO O MÉTODO
DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS E MÉTODOS COMPUTACIONAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TOLEDO
2020**

LUCAS CARPENEDO RHEINHEIMER

**ANÁLISE DE LAJES NERVURADAS LISAS USANDO O MÉTODO
DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS E MÉTODOS COMPUTACIONAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye

TOLEDO

2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Civil



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso de Nº 244

ANÁLISE DE LAJES NERVURADAS LISAS USANDO O MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS E MÉTODOS COMPUTACIONAIS

por

Lucas Carpenedo Rheinheimer

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 15h30 do dia **08 de setembro de 2020** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Civil**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Prof.^a Dra. Lucia Bressiani
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
(UTFPR – TD)

Prof. Dr. Rodnny Jesus Mendoza Fakhye
(UTFPR – TD)

Visto da Coordenação
Prof. Dr. Gustavo Savaris

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pelas oportunidades e conquistas nesta caminhada acadêmica, quanto ao longo de minha vida.

Agradeço ao professor Rodnny Jesus Mendoza Fakhye, pela orientação, dedicação e auxílio na realização deste trabalho.

Agradeço a minha família, em especial meus pais Vilson e Margarete, pelo apoio, carinho e por ensinar a importância de sempre persistir na busca de meus sonhos e igualmente ao meu núcleo familiar: Andréia, Matheus, Miguel, Lisane, Elaine e Lili.

Agradeço também as amigadas encontradas nesta trajetória acadêmica. Em especial aos amigos: Yudi, Samuel, Kevin, Raynier, Willian e Mario. E, aos meus amigos: Gabriel, Souza e Benka pelo companheirismo, e principalmente, a amizade ao longo destes anos.

Por fim, agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Toledo, pelos conhecimentos adquiridos através dos professores, que serviram de base, para minha formação como profissional e ser humano.

RESUMO

RHEINHEIMER, Lucas C. **Análise de lajes nervuradas lisas usando o método dos pórticos múltiplos e métodos computacionais**. 2020. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2020.

O sistema estrutural de lajes nervuradas lisas é constituído por lajes apoiadas exclusivamente em pilares, com a ausência de vigas, sendo a ligação pilar e laje realizada através de uma região maciça. Ainda, a laje é constituída de nervuras, sendo que parte do concreto abaixo da linha neutra é eliminado e substituído por vazios ou materiais de enchimento, possibilitando redução do peso da estrutura. O objetivo deste trabalho foi a comparação entre momentos fletores, esforços cortantes e de puncionamento, através do emprego do método de Pórticos Múltiplos, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) e os métodos computacionais (software Eberick). Notou-se diferenças de valores, sendo que, nos momentos fletores e esforços de cisalhamento o método dos Pórticos Múltiplos apresentou solicitações inferiores. Já no caso do puncionamento, os resultados apresentaram maior concordância entre si, embora haja diferenças, mostrando que, a modelagem da laje à flexão em ambos os métodos foi o motivo de haver maiores divergências nos resultados.

Palavras-chave: Laje nervurada lisa; Método dos Pórticos Múltiplos; Métodos Computacionais.

ABSTRACT

RHEINHEIMER, Lucas C. **Analysis of ribbed flat slabs using the multiple portico method and computational methods.** 2020. 70 f. Course Conclusion Paper (Graduation in Civil Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2020.

The structural system of ribbed flat slabs consists of slabs supported exclusively on pillars, with no beams, and the connection between pillar and slab is made through a solid region. Also, the slab is made up of ribs, and part of the concrete below the neutral line is eliminated and replaced by voids or filling materials, causing a reduction in the weight of the structure. The purpose of this work was to compare bending moments, shear and punching stress, by using the Multiple Portico method, according to NBR 6118 (ABNT, 2014) and computational methods (Eberick software). There was a discrepancy in values, and at bending moments, reinforcement and shear stress the Multiple Portico method presented lower demands. In the case of punching, the results showed greater agreement among themselves, although there are differences, showing that the modeling of the slab flexion was the reason for greater differences in results.

Keywords: Ribbed flat slab; Multiple Portico Method; Computational Methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comportamento de placa de uma laje	15
Figura 2 – Comportamento de chapa de uma laje.....	15
Figura 3 – Puncionamento em lajes	18
Figura 4 – Laje nervurada lisa.....	19
Figura 5 – Aparência da laje nervurada lisa bidirecional concretada usando cubetas plásticas.....	19
Figura 6 – Escoramento de lajes nervuradas com cubetas plásticas	20
Figura 7 – Pórticos Múltiplos	23
Figura 8 – Seção transversal da laje nervurada bidirecional	25
Figura 9 – Projeto Arquitetônico	26
Figura 10 – Vista inferior laje nervurada lisa bidirecional – dimensões da cubeta plástica	27
Figura 11 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espessura da nervura	27
Figura 12 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espessura da mesa....	28
Figura 13 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espaçamento entre os eixos das nervuras e a largura da nervura	28
Figura 14 – Delimitação dos pórticos múltiplos	29
Figura 15 – Faixas de distribuição de esforços no pórtico múltiplo.....	29
Figura 16 – Modelo de pórtico desenvolvido no software Ftool	30
Figura 17 – Delimitação dos pórticos múltiplos	31
Figura 18 – Pórticos múltiplos na direção X	32
Figura 19 – Pórticos múltiplos na direção Y	32
Figura 20 – Modelo 3D de pórtico múltiplo – eixo X analisado	34
Figura 21 – Modelo 3D de pórticos múltiplos na direção X.....	35
Figura 22 – Modelo 3D de pórticos múltiplos na direção Y.....	35
Figura 23 – Seções utilizadas no software Ftool para modelagem dos pórticos múltiplos	37
Figura 24 – Perímetro crítico em pilares internos	39
Figura 25 – Perímetro crítico em pilares de borda.....	39
Figura 26 – Perímetro crítico em pilares de canto	39
Figura 27 – Modelagem da laje em estudo pelo software Eberick.....	41
Figura 28 – Perspectiva geral da laje nervurada lisa bidirecional	41

Figura 29 – Perspectiva das seções maciça e nervurada da laje em estudo.....	42
Figura 30 – Resultados de momentos fletores calculados em um pavimento sem vigas pelo met. Pórticos Múltiplos, ACI e A. de Grelha	52

APÊNDICES

Figura A.1 – Perspectiva da fachada frontal da universidade.....	60
Figura A.2 – Perspectiva da fachada posterior da universidade.....	60
Figura B.1 – Pórtico múltiplo 01	61
Figura B.2 – Pórtico múltiplo 02	61
Figura B.3 – Pórtico múltiplo 04	61
Figura B.4 – Pórtico múltiplo 06	62
Figura C.1 – Modelo estrutural do pórtico	63
Figura C.2 – Esforço cortante (kN/m).....	63
Figura C.3 – Momento fletor (kN.m/m)	63
Figura D.1 – Modelo estrutural do pórtico	64
Figura D.2 – Esforço cortante (kN/m).....	64
Figura D.3 – Momento fletor (kN.m/m)	64
Figura E.1 – Modelo estrutural do pórtico.....	65
Figura E.2 – Esforço cortante (kN/m)	65
Figura E.3 – Momento fletor (kN.m/m)	65
Figura F.1 – Modelo estrutural do pórtico.....	66
Figura F.2 – Esforço Cortante (kN/m)	66
Figura F.3 – Momento Fletor (kN.m/m)	66
Figura G.1 – Momentos atuantes nos pórticos na direção X (kN.m/m).....	67
Figura G.2 – Momentos atuantes nos pórticos na direção Y (kN.m/m).....	68
Figura H.1 – Momentos atuantes nos pórticos na direção X (kN.m/m).....	69
Figura H.2 – Momentos atuantes nos pórticos na direção Y (kN.m/m).....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cargas atuantes nos pórticos múltiplos nas direções X e Y	36
Tabela 2 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 01	43
Tabela 3 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 02	43
Tabela 4 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 04	43
Tabela 5 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 06	44
Tabela 6 – Verificação ao esforço cortante – Vrd1	44
Tabela 7 – Verificação ao esforço cortante – Vrd2 e Vrd3	45
Tabela 8 – Cálculo de Puncionamento no pilar P14	47
Tabela 9 – Cálculo de Puncionamento no pilar P19	47
Tabela 10 – Cálculo de Puncionamento no pilar P20	48
Tabela 11 – Cálculo de Puncionamento no pilar P20	48
Tabela 12 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 01	49
Tabela 13 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 02	49
Tabela 14 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 04	49
Tabela 15 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 06	49
Tabela 16 – Verificação ao esforço cortante – Vrd1, Vrd2 e Vrd3	50
Tabela 17 – Verificação ao efeito de puncionamento – P14, P19 e P20	50
Tabela 18 – Comparativo entre os momentos fletores - pórtico 01	51
Tabela 19 – Comparativo entre os momentos fletores - pórtico 04	51
Tabela 20 – Comparativo entre esforços de cisalhamento - direção X	53
Tabela 21 – Comparativo entre esforços de cisalhamento - direção Y	53
Tabela 22 – Comparativo entre os esforços de punção nas superfícies críticas	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVO GERAL.....	13
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO.....	14
2.2 FUNÇÕES ESTRUTURAIS DAS LAJES.....	14
2.3 LAJES NERVURADAS LISAS.....	16
2.4 PUNÇIONAMENTO EM LAJES NERVURADAS LISAS.....	17
2.5 SISTEMA DE LAJE NERVURADA LISA BIDIRECIONAL.....	19
2.5.1 Laje nervurada bidirecional com cubeta plástica.....	19
2.6 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	20
2.6.1 Métodos numéricos de análise.....	21
2.6.1.1 Analogia de Grelha.....	21
2.6.1.2 Método dos Elementos Finitos (MEF).....	22
2.7 MÉTODO MANUAL DE ANÁLISE.....	22
2.7.1 Método dos Pórticos Múltiplos.....	22
2.8 SOFTWARE EBERICK.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO.....	25
3.2 O MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS SEGUNDO A NBR 6118.....	28
3.3 DEFINIÇÃO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS NAS DIREÇÕES X E Y.....	30
3.4 CARGAS ATUANTES NA LAJE.....	33
3.4.1 Cálculo das cargas atuantes na estrutura.....	33
3.5 MODELAGEM NO SOFTWARE FTOOL.....	36
3.6 VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO.....	38
3.7 VERIFICAÇÃO AO PUNÇIONAMENTO.....	38
3.8 MODELAGEM DA LAJE NO SOFTWARE EBERICK.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS.....	43
4.1.1 Momentos fletores.....	43
4.1.2 Verificação ao cisalhamento.....	44

4.1.3 Verificação ao puncionamento.....	45
4.2 ANÁLISE PELO SOFTWARE EBERICK.....	48
4.2.1 Momentos fletores	48
4.2.2 Verificação ao cisalhamento	50
4.2.3 Verificação ao puncionamento.....	50
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.3.1 Momentos fletores	51
4.3.2 Esforço de cisalhamento	53
4.3.3 Esforço de puncionamento	54
5 CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A – PERSPECTIVA DA FACHADA DA UNIVERSIDADE – FRONTAL E POSTERIOR.....	60
APÊNDICE B – PÓRTICOS MÚLTIPLOS 01, 02, 04 E 06 – SEÇÕES TRANSVERSAIS E CARREGAMENTOS DISTRIBUÍDOS.....	61
APÊNDICE C – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E ESFORÇO CORTANTE – PÓRTICO MÚLTIPLO 01	63
APÊNDICE D – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E ESFORÇO CORTANTE – PÓRTICO MÚLTIPLO 02	64
APÊNDICE E – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E ESFORÇO CORTANTE – PÓRTICO MÚLTIPLO 04	65
APÊNDICE F – DIAGRAMA DE MOMENTO FLETOR E ESFORÇO CORTANTE – PÓRTICO MÚLTIPLO 06	66
APÊNDICE G – DISTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS ATUANTES NAS DIREÇÕES X E Y NO PAVIMENTO EM ESTUDO – MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS.....	67
APÊNDICE H – DISTRIBUIÇÃO DOS MOMENTOS ATUANTES NAS DIREÇÕES X E Y NO PAVIMENTO EM ESTUDO – MÉTODOS COMPUTACIONAIS ..	69

1 INTRODUÇÃO

Lajes são elementos bidimensionais, cujas dimensões de largura e comprimento apresentam equivalência de ordem de grandeza, sendo maiores que a terceira dimensão, sua espessura. Outrossim, as lajes são responsáveis por receber a maior parte das ações aplicadas numa edificação (BASTOS, 2015).

A construção civil no Brasil, no início do século XX, apresentava grande parte das edificações com lajes maciças apoiadas em vigas, como modelo de construção predominante. Contudo, a partir da década de 80, este modelo, passou a ser substituído pela utilização de lajes nervuradas em busca da maior autonomia de vãos. A partir dos anos 90, as lajes nervuradas se estabeleceram no setor construtivo e a utilização de sistemas estruturais sem vigas, isto é, lisos, se popularizaram (SILVA; PRATA; ALBUQUERQUE, 2018).

Ainda, os autores elucidam que, todo este progresso constante teve como gatilho a exigência de vencer vãos cada vez maiores, com poucos recortes, isto é, poucas vigas internas, tornando a execução mais fácil e possibilitando leiautes mais flexíveis.

No entanto, os sistemas de lajes maciças lisas se tornam antieconômicos, sobretudo em função de necessitar elevadas espessuras para vencer os esforços que nela são submetidos, muito destes, decorrentes do seu peso próprio. Diante disso, a opção de se utilizar lajes lisas nervuradas, se torna atraente, visto que, o sistema estrutural é constituído por lajes apoiadas exclusivamente em pilares, com a ausência de vigas, sendo a ligação pilar e laje realizada através de uma região maciça. Ainda, a laje é constituída de nervuras, sendo que parte do concreto abaixo da linha neutra é eliminado e substituído por vazios ou materiais de enchimento, possibilitando redução do peso da estrutura (SOUZA; OLIVEIRA, 2011).

Para a análise estrutural de lajes lisas, a NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2014) especifica o emprego de procedimentos numéricos, como diferenças finitas por exemplo, utilizado em softwares. Entretanto, em casos específicos, permite a utilização de um processo elástico aproximado, denominado de método dos Pórticos Múltiplos.

O método dos Pórticos Múltiplos apresenta limitações quanto a disposição de pilares e os seus respectivos vãos por ser simplificado, entretanto, permite o dimensionamento da estrutura de forma manual e prática. Em contrapartida, os

softwares não apresentam limitações e são aptos a dimensionar estruturas com soluções precisas.

O software Eberick, aplicado no estudo, permite analisar e dimensionar projetos de estruturas de concreto armado seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014). Ademais, para o dimensionamento das lajes nervuradas lisas, o software utiliza-se o método de Analogia de Grelha, sendo este, amplamente estudado e atestado sua eficácia.

Este estudo, analisa os resultados do dimensionamento de uma laje lisa pelo método dos Pórticos Múltiplos e por métodos computacionais (software Eberick).

1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o sistema construtivo tradicional se baseia na laje apoiando-se sobre vigas e estas, nos pilares. Em função da sua simplicidade, explica-se sua vasta utilização nos escritórios de projetos estruturais. Entretanto, a maioria dos procedimentos utilizados para análise estrutural deste sistema construtivo não se aplicam para lajes lisas.

Deve-se ter um conhecimento aprofundado sobre o comportamento à punção e a resistência ao cisalhamento de lajes lisas para garantir a sua estabilidade.

Por este motivo, a NBR 6118 (ABNT, 2014) aponta o emprego de procedimentos numéricos, para a análise estrutural de lajes lisas, a fim de, garantir soluções se não exatas, aproximadas.

Contudo, existe a possibilidade de calcular lajes lisas utilizando-se processo elástico aproximado, denominado de método dos Pórticos Múltiplos. Este, devido a sua simplicidade, apresenta restrições quanto ao seu uso na estrutura com o propósito de garantir maior eficácia nos resultados, possibilitando o cálculo de momentos fletores atuantes na estrutura, e também, extração de esforços cortantes e de punção da estrutura.

Ainda, respaldado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), foram feitas verificações quanto a esforços cortantes e de punção na laje nervurada lisa.

Assim, busca-se quantificar a eficiência do método de Pórticos Múltiplos através de comparativos de esforços com métodos computacionais.

1.2 OBJETIVO GERAL

Analisar a eficiência do método de Pórticos Múltiplos quando comparado com métodos computacionais, realizando uma análise comparativa dos esforços obtidos por cada método.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar lajes nervuradas lisas bidirecionais.
- Descrever o método de Pórticos Múltiplos segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), para o cálculo de lajes nervuradas lisas.
- Analisar um pavimento em laje nervurada lisa bidirecional por duas metodologias: método dos Pórticos Múltiplos e métodos computacionais (software Eberick).
- Avaliar a resistência ao cisalhamento e ao puncionamento de acordo com critérios da NBR 6118 (ABNT, 2014). Bem como, comparar e analisar os resultados obtidos pelo método de Pórticos Múltiplos e métodos computacionais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LAJES DE CONCRETO ARMADO

Segundo Montoya, Meseguer e Cabre (2000), o concreto trabalha de forma eficiente a compressão, no entanto, apresenta resultados insatisfatórios quanto este, está sob esforços de flexão em função da baixa resistência a tração. Assim, reforçam a necessidade e importância da adição de armaduras na zona tracionada, convertendo o concreto em concreto armado, capaz de suportar inúmeros esforços nas construções.

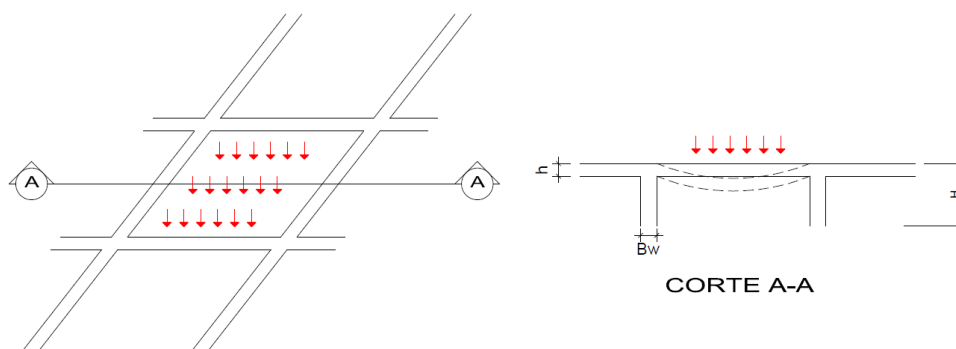
Para Donin (2007), as lajes de concreto armado são elementos estruturais de superfície plana. Bastos (2015), classifica-as como sendo elementos bidimensionais, cujas dimensões de largura e comprimento apresentam equivalência de ordem de grandeza, sendo maiores que a terceira dimensão, sua espessura.

Ademais, o autor elucida as lajes como sendo responsáveis por receber a maior parte das ações aplicadas numa edificação, usualmente em razão de pessoas, móveis, pisos, paredes ou quaisquer tipos de carga que possam existir na construção de acordo com a finalidade arquitetônica. Estas ações podem ser distribuídas linearmente ou por forças concentradas na superfície da laje.

2.2 FUNÇÕES ESTRUTURAIS DAS LAJES

Segundo Araújo (2010), a função básica estrutural da laje consiste em suportar as cargas advindas da utilização das edificações. Primeiramente, as cargas são aplicadas nos pisos e transferidas para as vigas, que por sua vez as conduzem para os pilares e a partir destes, são repassadas para as fundações. Pinheiro e Razente (2003), ressaltam que, esta função é responsável por conferir a laje o comportamento de placa, demonstrado na Figura 1.

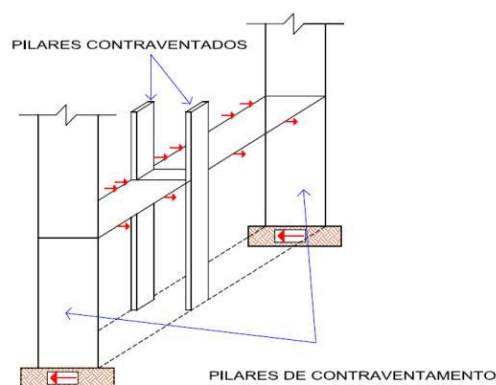
Figura 1 – Comportamento de placa de uma laje



Fonte: Franca e Fusco, 1997. Adaptado pelo autor.

Franca e Fusco (1997), destacam o funcionamento das lajes como sendo de chapas, haja visto que, constituem-se em diafragmas rígidos horizontais. Validando, Buzo (2017), caracteriza o diafragma rígido como sendo um componente da estrutura com uma grande rigidez, muito maior que os demais elementos, logo, pode ser considerado com rigidez infinita no seu plano. Franca e Fusco (1997), salientam que, de acordo com o funcionamento de chapa, a laje consegue distribuir para todos os pilares da edificação as forças horizontais atuantes. Portanto, de maneira geral, as lajes apresentam dupla função estrutural: placa e chapa. Estes autores ainda afirmam que, em edifícios elevados, é essencial que as lajes se comportem como uma estrutura de chapa à medida que ela garante o contraventamento da construção por meio da transmissão dos esforços horizontais, garantindo assim aos pilares contraventados sustentarem-se nos pilares de contraventamento, assegurando a estabilidade global da estrutura, como ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Comportamento de chapa de uma laje



Fonte: Franca e Fusco, 1997. Adaptado pelo autor.

Caso haja comprometimento da funcionalidade de chapa da estrutura, a segurança da edificação ficará em risco em virtude de um provável colapso global devido a incapacidade de resistir aos esforços horizontais (FRANCA; FUSCO, 1997).

2.3 LAJES NERVURADAS LISAS

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 97): “Lajes nervuradas são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte”. Ainda, a norma elucida lajes lisas como sendo lajes apoiadas nos pilares, sem a presença de capitéis.

Isto posto, Souza e Oliveira (2011) definem lajes nervuradas lisas como sendo sistemas estruturais de lajes apoiadas diretamente nos pilares, isto é, com a ausência de vigas, através do maciçamento da região circundante aos pilares.

Segundo Avilla Junior (2009), as lajes nervuradas são evoluídas a partir das lajes maciças. Constata-se que em regiões tracionadas dos elementos de concreto armado submetidos a esforços de flexão, desenvolvem-se fissuras por causa da baixa resistência que o concreto apresenta a tração. Ainda, Selistre (2000), destaca que nas teorias de concreto armado a resistência do concreto a tração é desprezada.

No entanto, o autor evidencia as atribuições do concreto, sendo elas: proteção da armadura, resistência a compressão e participação nos mecanismos de resistência aos esforços cortantes e torsões. Com isso, todo o concreto que não é rigorosamente necessário para desempenhar estas finalidades, pode ser considerado dispensável, limitando o volume de concreto ao menor possível, com a objetividade de reduzir o peso próprio da estrutura e minorar os custos.

Segundo Schwetz, Gastal e Silva Filho (2009), o sistema nervurado promove a redução da seção transversal do concreto abaixo da linha neutra, permitindo a atenuação no volume de concreto total da laje devido a formação de vazios de mesmas dimensões. Dessa forma, o sistema proporciona a redução do peso próprio da estrutura bem como um aproveitamento mais eficaz dos materiais, aço e concreto.

Souza e Oliveira (2011), ressaltam a eficiência, quando comparados vão equivalentes, do sistema estrutural de lajes nervuradas lisas em relação ao sistema convencional de lajes maciças, isto é, sistema estrutural usual composto por lajes, vigas e pilares. Salientam que, este sistema estrutural possibilita uma redução da

quantidade de fôrmas, do consumo de material e conseqüentemente, de mão de obra em função da ausência de vigas. Ainda, apontam a atenuação do peso da estrutura, fomentando alívio na fundação, bem como, a flexibilidade quanto ao projeto arquitetônico em função da ausência de vigas.

Apesar de todos estes benefícios este sistema apresenta empecilhos. Donin (2007), reforça a importância do maciçamento da região circundante aos pilares em virtude da existência de momentos negativos, que causam esforços de compressão nas nervuras. Assim, a face inferior que está sendo comprimida, é preenchida por um maciço, cuja função é resistir ao momento fletor negativo e as forças cortantes, originadas do punçãoamento.

Ainda, o sistema nervurado pode ser classificado em dois tipos, de acordo com a disposição das nervuras em planta, podendo ser: nervuradas armadas em uma direção (unidirecional) e nervuradas armadas em duas direções (bidirecional). Normalmente, as lajes nervuradas unidirecionais apresentam nervuras no sentido do seu menor vão, enquanto que, as bidirecionais, apresentam armaduras em ambas as direções, formando uma malha (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Avilla Junior (2009), ressalta que, uma laje nervurada é caracterizada como bidirecional quando a sua relação entre o lado maior e o menor for igual ou menor que dois.

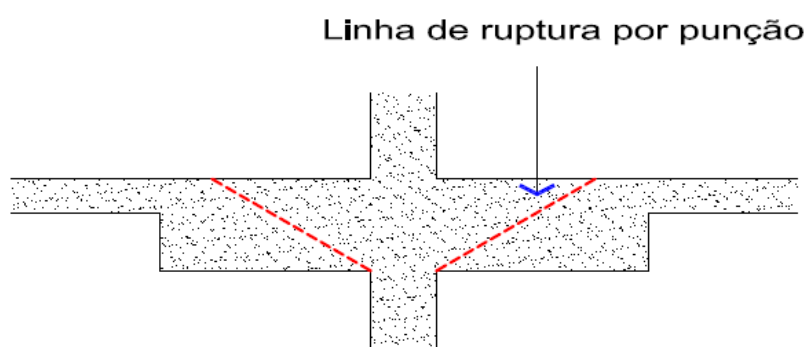
2.4 PUNÇÃOAMENTO EM LAJES NERVURADAS LISAS

De modo geral, os sistemas construtivos tradicionais se fundamentam na laje apoiando-se sobre vigas e estas, nos pilares. Assim, as cargas são aplicadas na laje, que por sua vez a transmitem as vigas, e conseqüentemente, aos pilares. Quando as vigas são eliminadas desse processo, as ações aplicadas nas lajes são propagadas diretamente aos pilares, portanto, nesta ligação de pilar e laje existe uma força cortante elevada, gerando altas tensões cisalhantes, fenômeno este denominado de punçãoamento, podendo causar o colapso da laje (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

A punção é um fenômeno que deve ser verificado nas lajes nervuradas lisas (DIAS, 2003). É caracterizada pela atuação de forças concentradas em áreas de elementos estruturais planos (lajes e elementos de fundação), ocasionando elevadas tensões cisalhantes (DONIN, 2007).

Ademais, o autor reforça que, a região de ligação de pilar e laje é complexa devido a possibilidade de ocorrer ruína por punção, indicado na Figura 3. Esse problema se dá pela formação de uma superfície tronco-piramidal, com arestas com inclinação de 25° a 30° em relação ao plano da laje, podendo ter uma configuração de superfície diferente devido a posição do pilar e da presença de armaduras de cisalhamento. São fatores a se levar em conta na ruptura por punção: a resistência do concreto, espessura da laje, taxa de armadura à flexão, existência de armadura de cisalhamento, ancoragem adequada nos níveis superiores e inferiores da armadura de punção e entre outros fatores.

Figura 3 – Puncionamento em lajes



Fonte: Dias, 2003. Adaptador pelo autor.

O autor ainda evidencia que a ruína é caracterizada por ocorrer repentinamente, sem fornecer aviso prévio, falhando antes mesmo da armadura de flexão atingir a tensão de escoamento. Além disso, Carvalho e Pinheiro (2009), ressaltam que, a situação ainda pode ser agravada em pilares de borda e de canto, devido a ocorrência de momentos não equilibrados da laje para os pilares.

Tendo isso em vista, Dias (2003), ressalta a importância da região que envolve os pilares resistir aos esforços de puncionamento tal como os momentos fletores negativos, devendo ser fortificada por maciços, que substituem os materiais inertes ou vazios, ilustrado na Figura 4. Ainda, destaca que, caso o maciçamento da região circundante aos pilares não suportar o efeito de puncionamento, deve-se amparar o maciço com a distribuição de armaduras de punção radialmente ao pilar.

Figura 4 – Laje nervurada lisa



Fonte: Atex Brasil, 2019.

2.5 SISTEMA DE LAJE NERVURADA LISA BIDIRECIONAL

2.5.1 Laje nervurada bidirecional com cubeta plástica

O sistema construtivo é definido pela confecção de nervuras nas duas direções, possibilitando vencer grandes vãos, utilizando-se cubetas plásticas reaproveitáveis (Figura 5). As cubetas apresentam resistência satisfatória para sustentar o peso do concreto fresco, servindo como fôrma (CARVALHO, 2012).

Figura 5 – Aparência da laje nervurada lisa bidirecional concretada usando cubetas plásticas



Fonte: Atex Brasil, 2020.

Vizotto e Sartori (2010), salientam que, as cubetas podem ser colocadas sobre um tablado de madeira, sendo este tablado sustentado por vigas e escoras metálicas

ou apoiar diretamente as cubas nas vigas metálicas, desprezando o tablado (Figura 6).

Figura 6 – Escoramento de lajes nervuradas com cubetas plásticas



Fonte: A autoria própria, 2019.

A utilização deste modelo construtivo proporciona estruturas mais leves, à medida que, as fôrmas não incorporam peso a laje (SILVA, 2005). Vizotto e Sartori (2010), evidenciam o bom desempenho da estrutura perante a redistribuição dos esforços bem como a viabilidade de reaproveitamento das cubetas.

Silva (2002) cita, a variabilidade de projetos que as fôrmas atendem devido a diversidade de dimensões e alturas, a facilidade de manuseio das cubetas nas obras e, a simplicidade de desformá-las manualmente. Avilla Junior (2009), ressalta a velocidade de execução deste tipo de laje.

Contudo, este modelo construtivo apresenta desvantagens. Segundo Carvalho e Pinheiro (2009), a aparência final do teto é uma delas, visto que, as nervuras ficam evidentes, sendo a colocação de forro em gesso uma solução para transformar a superfície inferior em lisa. Avilla Junior (2009), aponta como consequência da utilização de forros, a necessidade de pé direitos maiores, onerando custos da edificação.

2.6 MÉTODOS DE ANÁLISE

A análise estrutural de edifícios utilizando métodos numéricos tornou-se rotineira em escritórios de projeto efetivamente em função da necessidade de se

calcular e detalhar rapidamente projetos estruturais devido ao ritmo exigido pelos clientes e a busca por diversas possibilidades, em vista da melhor viabilidade econômica, maior rapidez e versatilidade, sendo assim, o uso de programas computacionais tornou-se inevitável (DIAS, 2003).

2.6.1 Métodos numéricos de análise

Os métodos numéricos e os softwares estão gradualmente refinando-se em função do aumento da capacidade de processamento dos computadores, fornecendo soluções com métodos cada vez mais sofisticados e com maior precisão. De acordo com Schwetz, Gastal e Silva Filho (2009), dentre os diversos softwares disponíveis para o cálculo de estruturas complexas como por exemplo lajes nervuradas, os mais utilizados são os que conceituam as lajes como grelhas usando análise matricial ou o Método dos Elementos Finitos (MEF).

2.6.1.1 Analogia de Grelha

Segundo Silva (2005), a Analogia de Grelha fundamenta-se em substituir a placa, ou seja, a laje, por uma malha correspondente de vigas em duas direções (grelha equivalente), a fim de que, no cálculo esta possa representar a placa. Ainda, salienta que, as cargas atuantes na laje se segmentam entre os elementos da grelha equivalente conforme a área de influência de cada elemento. As ações ainda se dividem de acordo com a sua distribuição, podendo ser uniformemente distribuídas ao longo da malha, ou, concentrada nos nós.

Albuquerque (1999), detalha que, a constituição da laje nervurada é por si só um conjunto de vigas, portanto, uma malha própria equivalente, com vigas de seção "T". As rigidezes à torção e à flexão da placa nas duas direções são analisadas como concentradas nas vigas. Por fim, evidencia que, quando a placa e a malha equivalente são sujeitas a carregamentos iguais, estas devem apresentar deformações e esforços internos semelhantes.

2.6.1.2 Método dos Elementos Finitos (MEF)

O Método dos Elementos Finitos consiste na divisão, do domínio do problema, em subdomínios com dimensões finitas, sendo denominados de elementos finitos, sendo a soma de todos os subdomínios, igual ao domínio original. Em cada um destes subdomínios, emprega-se um comportamento aproximado local, em função das incógnitas do problema. Este comportamento é caracterizado com a utilização de funções simples (ALVES, 2007).

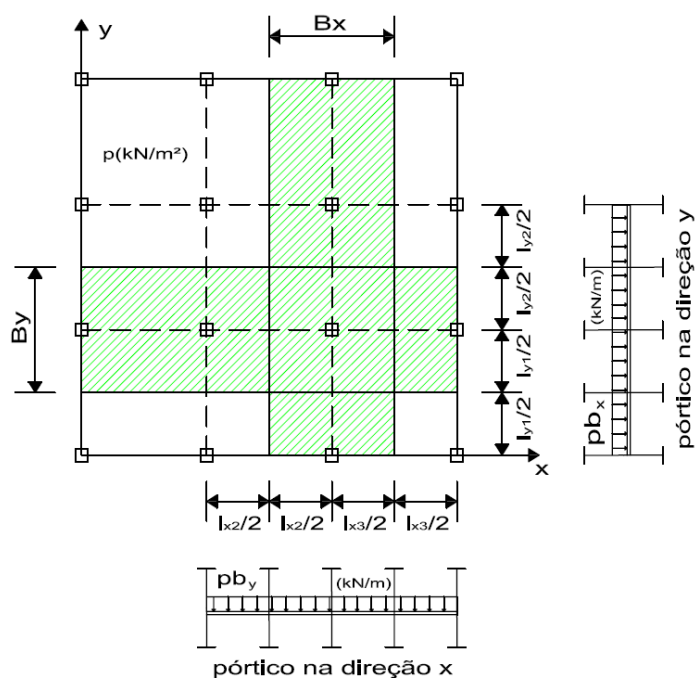
Ainda, o autor afirma que, os elementos finitos são determinados em função de sua forma geométrica, pelas funções de aproximação empregadas e de acordo com o tipo de problema envolvido. Estes, possuem pontos nodais, que podem ser internos ou externos, sendo que, os externos fazem ligação com os elementos vizinhos. Definida a malha dos elementos finitos, a partir das equações de cada elemento, é possível agrupá-las e formar um sistema global de equações, sendo o resultado desta, os valores das incógnitas nos pontos nodais. Para a obtenção de respostas cada vez mais precisas, é necessário ampliar o número de subdomínios, o que se consegue refinando a malha.

2.7 MÉTODO MANUAL DE ANÁLISE

2.7.1 Método dos Pórticos Múltiplos

A NBR 6118 (ABNT, 2014), orienta a utilização de procedimentos numéricos adequados, como Diferenças Finitas, ou Elementos Finitos para a análise estrutural de lajes lisas e cogumelo. Entretanto, em situações específicas, em que exista regularidade na disposição dos pilares (filas ortogonais), com vãos pouco diferentes, a norma autoriza a utilização de um método elástico aproximado em lajes de concreto armado, denominado de método dos Pórticos Múltiplos. Este método consiste na criação de pórticos múltiplos em cada uma das direções, considerando-se a carga total atuante na laje, de acordo com a Figura 7.

Figura 7 – Pórticos Múltiplos



Fonte: Araújo, 2010. Adaptado pelo autor.

Ainda, a NBR 6118 (ABNT, 2014) recomenda que, deve-se ter cuidado com as ligações da laje com os pilares, em especial, casos de assimetria de forma ou de carregamento da laje, sendo obrigatório, a consideração dos momentos de ligação entre a laje e pilares extremos.

2.8 SOFTWARE EBERICK

O Eberick é um software utilizado para análise e dimensionamento de projetos estruturais em concreto armado, apresentando recursos que contemplam todas as etapas do projeto. Entre seus benefícios, destaca-se: modelagem de pilares, vigas, lajes, escadas, fundações, reservatórios, muros e elementos de outros materiais em seu próprio CAD, desenvolvimento de pranchas finais dos detalhamentos estruturais com suas armaduras e plantas de fôrmas, geração automatizada de memorial de cálculo e critérios de projetos, relatando verificações referentes a análise global, esforços e dimensionamento dos elementos e cargas nas fundações, podendo criar relatórios com critérios adotados no projeto. Ainda, este software, segue a ABNT-NBR (Norma Brasileira), para o dimensionamento de estruturas, bem como, realiza

relatórios apresentando os resumos de materiais utilizados na edificação (EBERICK, 2020).

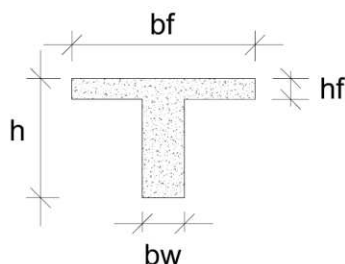
Para o dimensionamento de lajes, o software utiliza a Analogia de Grelha, enfatizando que, este método se fundamenta em simular uma laje mediante a elementos de barras perpendiculares entre si, que estão unidos por meio de nós, sujeitas a carregamentos perpendiculares ao seu plano (EBERICK, 2020).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho objetiva realizar o dimensionamento estrutural de lajes lisas, do tipo nervurada bidirecional, utilizando-se duas metodologias: método dos Pórticos Múltiplos e métodos computacionais (Software Eberick), com o intuito de, realizar um comparativo entre eles, ambos amparados pela NBR 6118 (ABNT, 2014). Ainda, busca-se verificar o cisalhamento e o puncionamento na laje em estudo, seguindo a NBR 6118 (ABNT, 2014) comparando os resultados determinados manualmente a partir da extração dos esforços obtidos pelo método dos Pórticos Múltiplos, com os obtidos através de métodos computacionais.

Em ambas as metodologias de cálculo, adotou-se a seção transversal da laje nervurada conforme a Figura 8, sendo o formato da seção transversal da nervura, retangular.

Figura 8 – Seção transversal da laje nervurada bidirecional



Fonte: Autoria própria, 2020.

Sendo:

- bf = distância entre os eixos das nervuras;
- bw = largura da nervura;
- hf = altura da mesa;
- h = altura total da laje.

3.1 DESCRIÇÃO DA EDIFICAÇÃO

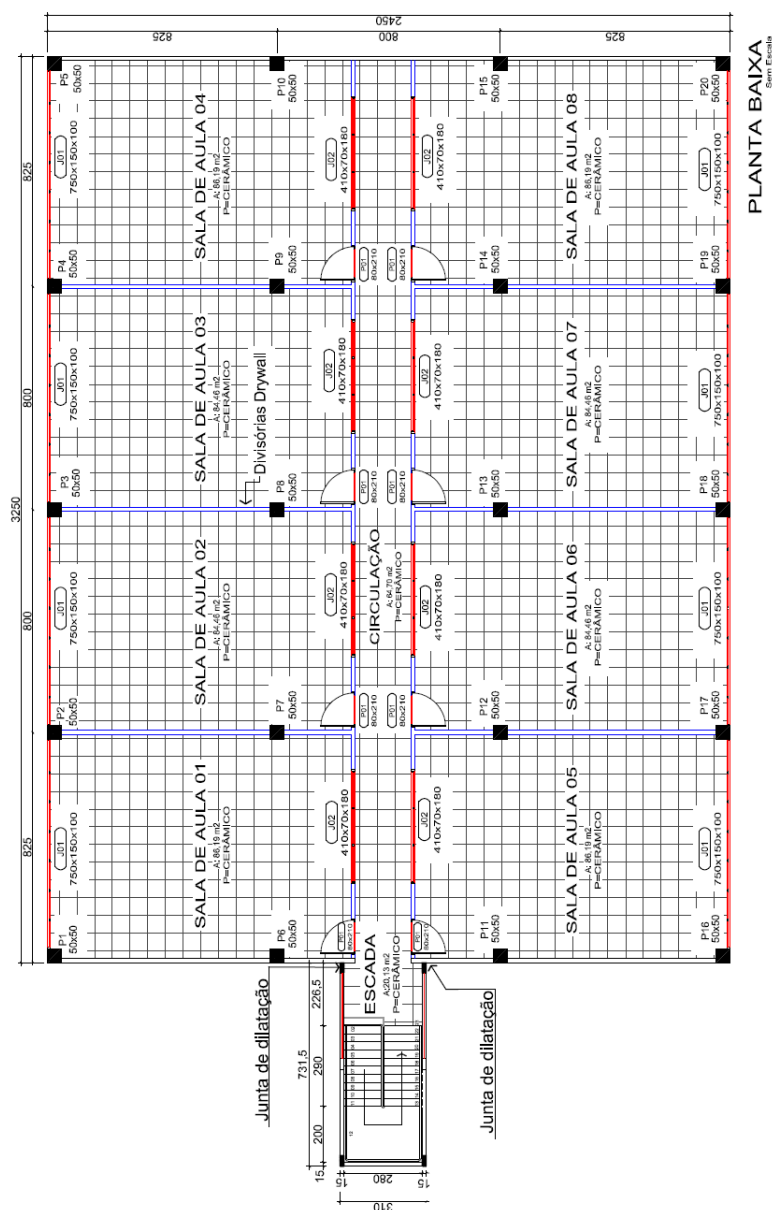
O projeto a ser dimensionado refere-se a laje de um prédio de uma universidade, cuja finalidade é atender oito salas de aula por andar. A construção é constituída por pavimento térreo e primeiro andar. A laje a ser dimensionada pertence

ao primeiro andar, sendo esta nervurada lisa, com cubetas reaproveitáveis e sem a presença de vigas de bordo.

A edificação é formada por alvenaria de vedação de blocos cerâmicos vazados que contornam o perímetro da construção. Para a delimitação interna das salas de aula, utilizou-se divisórias de gesso acartonado, sendo o revestimento, piso cerâmico.

O projeto foi desenvolvido pelo autor para fins desta pesquisa, conforme a Figura 9, com o intuito de facilitar o entendimento sobre o dimensionamento, bem como, criar um projeto que atenda as limitações prescritas pelo método dos Pórticos Múltiplos.

Figura 9 – Projeto Arquitetônico



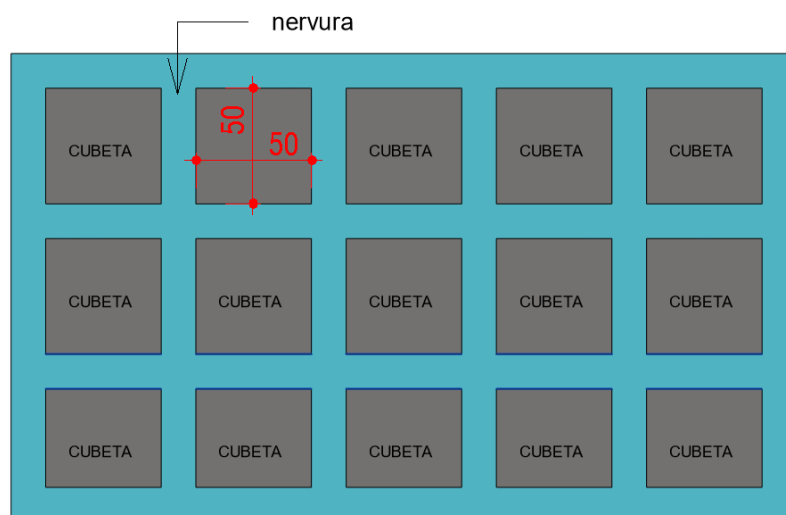
Fonte: Autoria própria, 2019.

Ademais, as Figuras A.1 e A.2, do Apêndice A, ilustram a perspectiva da fachada frontal e posterior da universidade cuja laje está sendo dimensionada.

As características consideradas para o projeto são:

- Pé-direito de 3 metros;
- F_{ck} utilizado de 40 Mpa;
- Aço CA 50;
- Os pilares possuem seção transversal quadrada de 50 x 50 centímetros;
- A classe de agressividade ambiental considerada é a II;
- A laje nervurada lisa bidirecional projetada para ser concretada usando cubetas plásticas, com dimensões de 50x50 centímetros, exemplificado na Figura 10;

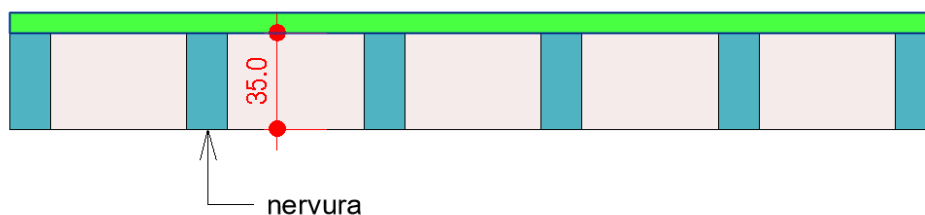
Figura 10 – Vista inferior laje nervurada lisa bidirecional – dimensões da cubeta plástica



Fonte: Autoria própria, 2020.

- A espessura da nervura é de 35 centímetros, ilustrado na Figura 11;

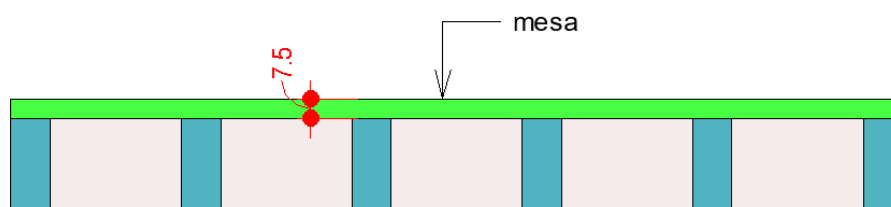
Figura 11 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espessura da nervura



Fonte: Autoria própria, 2020.

h) A espessura da mesa é de 7,5 centímetros, detalhado na Figura 12;

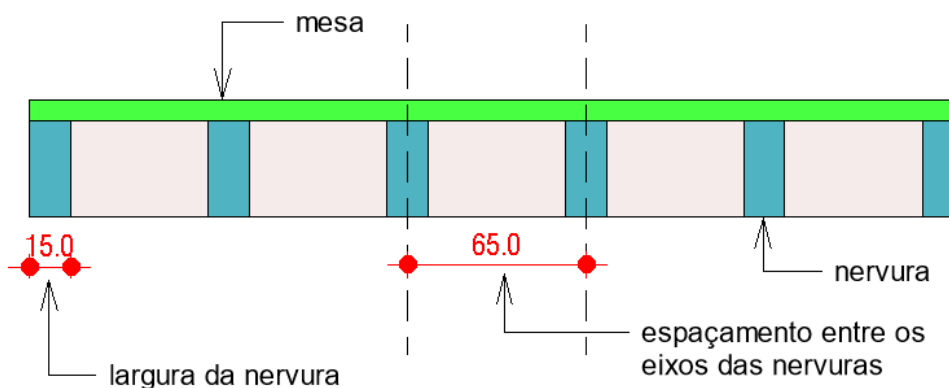
Figura 12 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espessura da mesa



Fonte: Autoria própria, 2020.

i) O espaçamento entre os eixos das nervuras é de 65 centímetros sendo a largura das nervuras de 15 centímetros, demonstrado na Figura 13;

Figura 13 – Vista frontal da laje nervurada lisa bidirecional - espaçamento entre os eixos das nervuras e a largura da nervura



Fonte: Autoria própria, 2020.

j) Entre a escada e a edificação pertencente as salas de aulas, existe junta de dilatação.

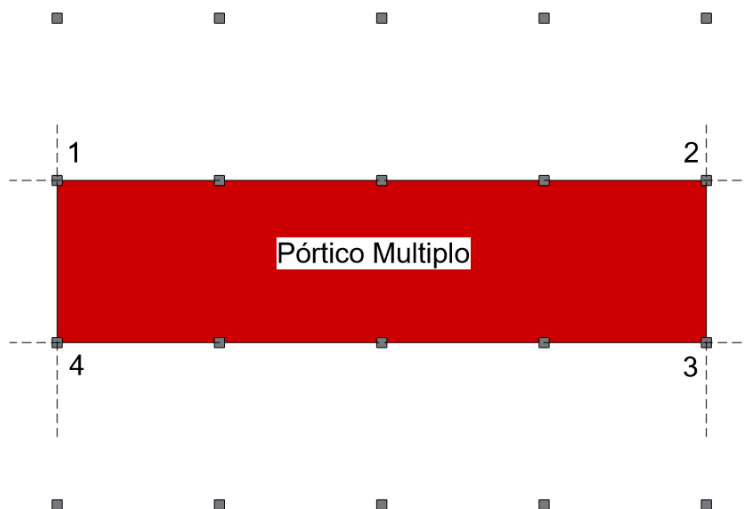
3.2 O MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS SEGUNDO A NBR 6118

O método elástico aproximado de cálculo de lajes lisas descrito na NBR 6118 (ABNT, 2014), baseia-se na criação de pórticos múltiplos em cada uma das direções da laje, considerando-se a carga total atuante na mesma.

Para a confecção dos pórticos múltiplos, a laje deve ser dividida em regiões, estas geralmente retangulares, delimitada por um conjunto de quatro pilares, sendo

que, cada pilar está localizado na extremidade do pórtico, conforme ilustrado na Figura 14.

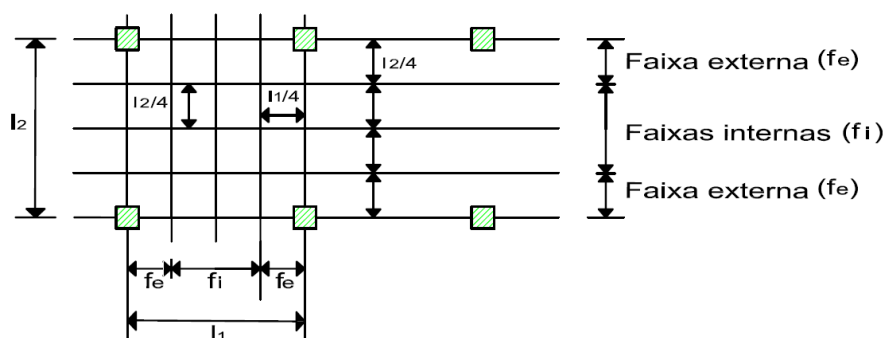
Figura 14 – Delimitação dos pórticos múltiplos



Fonte: A autoria própria, 2020.

Posteriormente, a região delimitada será dividida em quatro faixas, com equivalência de largura, cada uma representando 25% da largura total do pórtico múltiplo, conforme a Figura 15, sendo estas: duas faixas internas e duas externas.

Figura 15 – Faixas de distribuição de esforços no pórtico múltiplo



Fonte: ABNT, 2014. Adaptado pelo autor.

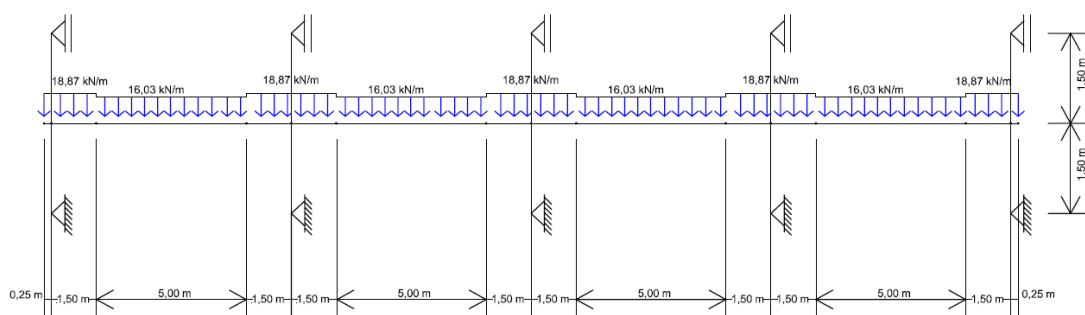
Posteriormente a confecção dos pórticos múltiplos e determinação dos momentos fletores resultantes, deve-se atribuir porcentagens específicas aos momentos obtidos para cada faixa, sendo:

- 45% dos momentos positivos para as duas faixas internas;
- 27,5% dos momentos positivos para cada uma das faixas externas;
- 25% dos momentos negativos para as duas faixas internas;

- d) 37,5% dos momentos negativos para cada uma das faixas externas (ABNT, 2014).

Ainda, Pereira (2016), salienta a necessidade de aferir a influência da absorção dos momentos negativos da laje pelos pilares no modelo do pórtico múltiplo. Portanto, a NBR 6118 (ABNT, 2014) sugere a utilização de pilares simplesmente rotulados nas extremidades, com o seu comprimento reduzido pela metade, conforme demonstrado na Figura 16. Pereira (2016), evidencia que, desta maneira, a rigidez à flexão destes elementos seja atribuída ao pórtico analisado.

Figura 16 – Modelo de pórtico desenvolvido no software Ftool



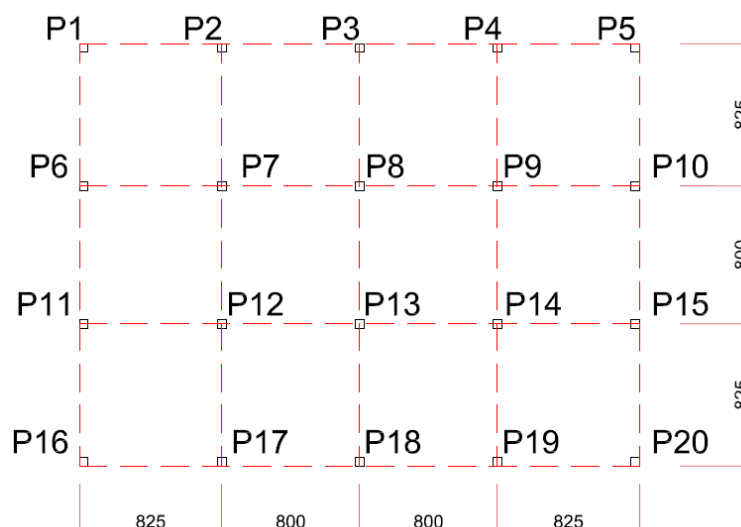
Fonte: Autoria própria, 2020.

Para a determinação das forças axiais nos pilares, Vanderbilt e Corley (1983), recomendam que, se utilize a média das forças adquiridas em função de um mesmo pilar estar sendo carregado duplamente, devido à análise dos pórticos ser em duas direções.

3.3 DEFINIÇÃO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS NAS DIREÇÕES X E Y

Inicialmente, traçou-se retas com base no eixo dos pilares, com exceção dos pilares localizados nas bordas e cantos da edificação. Neste caso, traçou-se retas que contornavam o perímetro da edificação, conforme Figura 17.

Figura 17 – Delimitação dos pórticos múltiplos



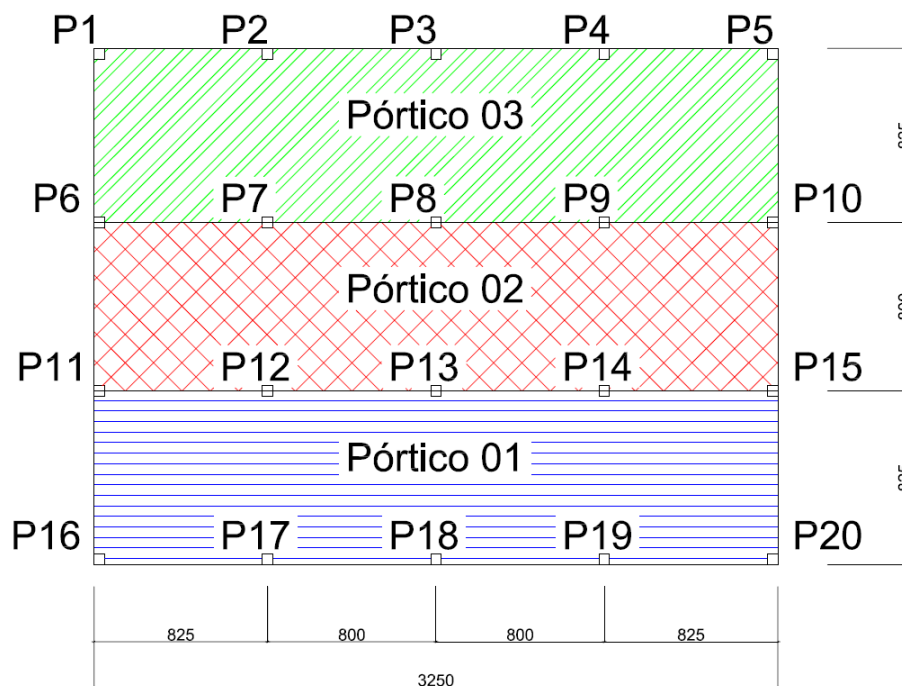
Fonte: Autoria própria, 2020.

A posteriori, delimitou-se os pórticos múltiplos através das linhas que unem os centros dos pilares, conforme Figura 17. Estas, são o comprimento do pórtico múltiplo, considerando a direção do eixo analisado, sendo a largura, a distância entre as linhas centrais de pilares adjacentes (CARVALHO; PINHEIRO,2009).

Ressalta-se que, os pilares que contornam a edificação, isto é, os de canto e de borda, são unidos por linhas que contornam o perímetro da laje analisada. Deste modo, confeccionou-se pórticos que atendem a totalidade da laje em estudo.

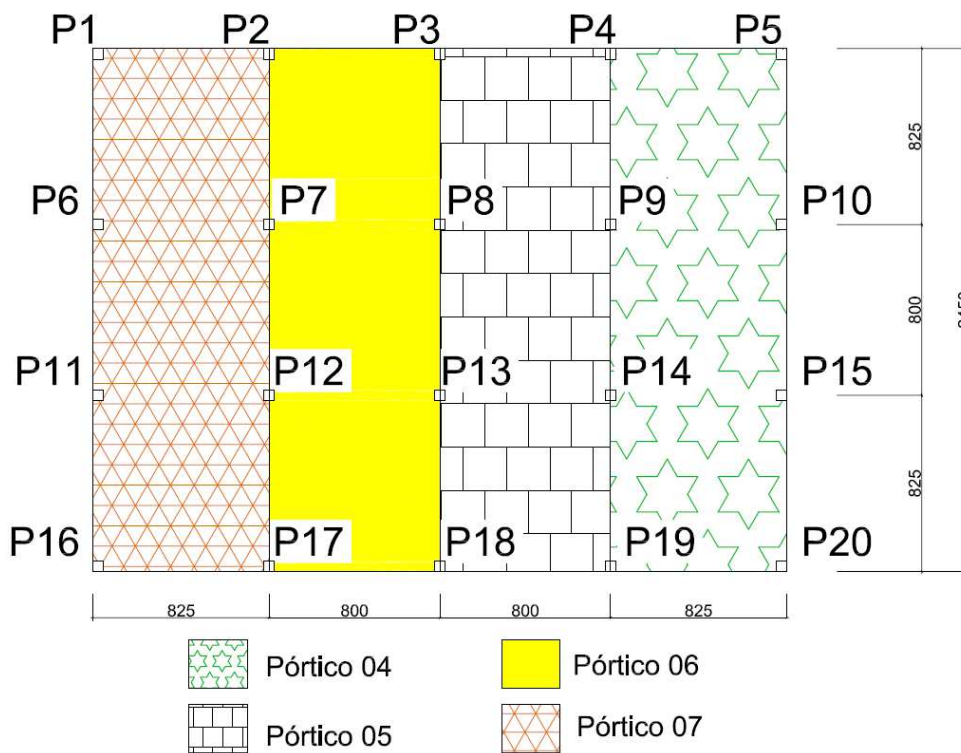
Em síntese, pode-se considerar que, os pórticos são delimitados por quatro pilares, cada qual na extremidade da estrutura, conforme ilustrado na Figura 14. Assim, elaborou-se os pórticos múltiplos nas direções X e Y, demonstrados nas Figuras 18 e 19, respectivamente.

Figura 18 – Pórticos múltiplos na direção X



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 19 – Pórticos múltiplos na direção Y



Fonte: Autoria própria, 2020.

3.4 CARGAS ATUANTES NA LAJE

As cargas atuantes em uma edificação segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014) podem ser permanentes, acidentais e excepcionais.

As ações permanentes são constantes durante toda vida da construção, como peso próprio da estrutura, peso de elementos construtivos fixos e instalações permanentes. As ações acidentais são previstas para o uso da construção (pessoas, móveis e veículos, entre outros) e as ações excepcionais são de curta duração e com baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção (ABNT, 2004).

Ademais, as cargas que atuam na estrutura, denominadas de valores característicos, devem ser majoradas por combinações de cargas (combinações de ações que tem probabilidade não nula de atuar simultaneamente na estrutura) para se tornarem valores de cálculo (ABNT, 2014).

As cargas da laje (maciços e nervuras), paredes de alvenaria e revestimento da edificação, foram determinadas de acordo com a NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações (ABNT, 2019). Os carregamentos das divisórias de *drywall*, foram extraídos da empresa GYPSUM (2012) do manual: Guia de Especificações – Sistemas Gypsum *Drywall* Escolas e Universidades.

3.4.1 Cálculo das cargas atuantes na estrutura

O carregamento distribuído atuante nos pórticos múltiplos é determinado pela Equação 1:

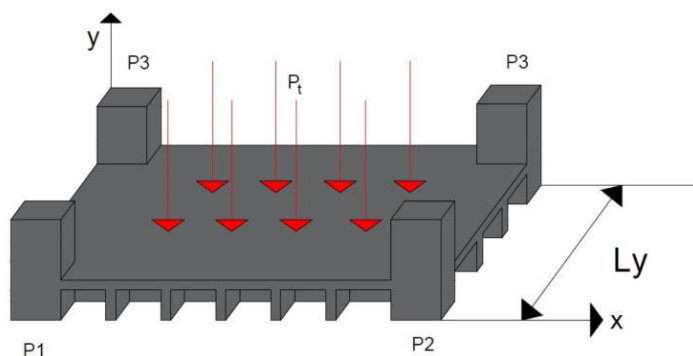
$$C_t = P_t * L \quad (1)$$

Sendo:

- C_t = Carregamento distribuído atuante no pórtico múltiplo (kN/m);
- P_t = Carga atuante no pórtico (kN/m²);
- L = Dimensão transversal do pórtico múltiplo, considerando a direção do pórtico analisado (m).

Portanto, para pórticos na direção X, deve-se considerar a dimensão do vão no eixo Y, conforme ilustrado na Figura 20, para o cálculo do carregamento distribuído. De forma análoga, o cálculo é realizado para pórticos na direção Y.

Figura 20 – Modelo 3D de pórtico múltiplo – eixo X analisado



Fonte: Autoria própria, 2020.

Para o cálculo do pavimento em estudo, considerou-se as cargas atuantes em todos os pórticos com o mesmo valor.

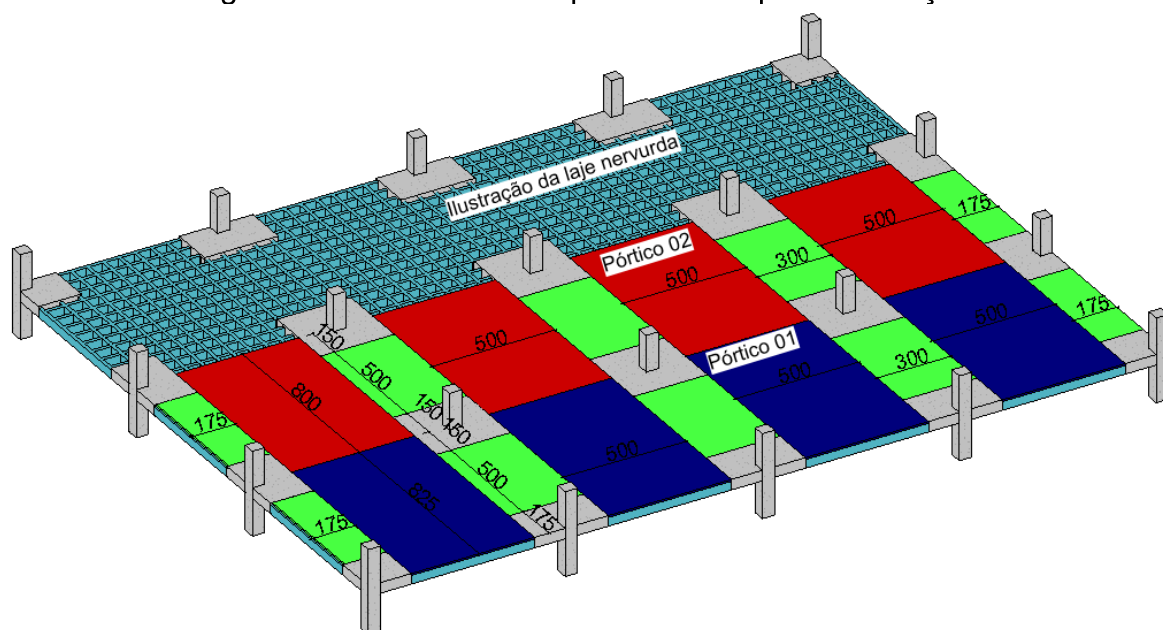
Isto posto, de acordo com as Figuras 18 e 19, os pórticos 01, 03, 04 e 07, possuem vãos iguais, estes, com valor de 8,25 metros e, portanto, dispõem do mesmo valor de carregamento distribuído atuante nos pórticos. De forma análoga, os pórticos 02, 05 e 06 apresentam vãos equivalentes, de 8,00 metros, conseqüentemente, carregamentos distribuídos iguais.

À vista disso, para simplificação de cálculos, apenas calculou-se os pórticos 01 e 02 para a direção X, e os pórticos 04 e 06 para a direção Y, em função dos mesmos englobarem todos os demais pórticos.

Com a finalidade de assegurar maior exatidão no dimensionamento, levou-se em consideração a existência de dois carregamentos distribuídos distintos em ambas as direções dos pórticos múltiplos.

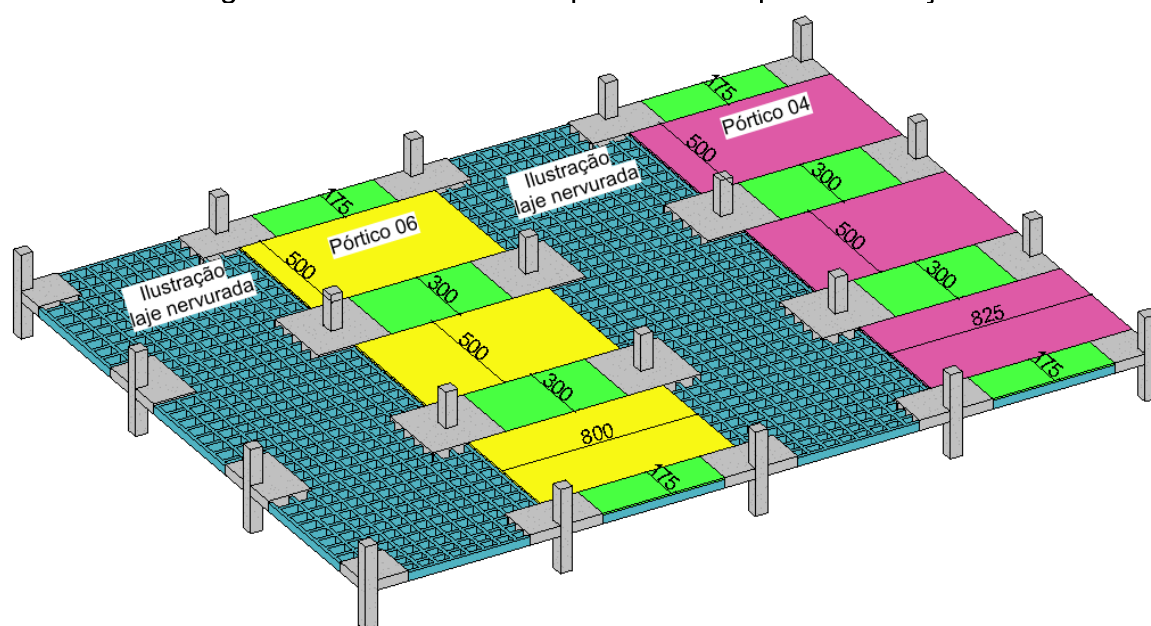
Os vãos nos pórticos múltiplos localizados entre as regiões maciças, ilustrados nas Figuras 21 e 22, com a coloração vermelha, azul, roxa e amarela, contêm apenas nervuras em sua totalidade de extensão, portanto, para este carregamento, foi contabilizado na carga da laje apenas as nervuras. Ademais, considerou-se a carga de revestimento, das divisórias de *drywall*, a alvenaria de vedação e a carga acidental.

Figura 21 – Modelo 3D de pórticos múltiplos na direção X



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 22 – Modelo 3D de pórticos múltiplos na direção Y



Fonte: Autoria própria, 2020.

Contudo, os vãos localizados nas regiões no entorno dos pilares, apresentam maciços na laje, além das nervuras, conforme as Figuras 21 e 22, com coloração verde. Portanto, deve-se considerar além da carga das nervuras para estes vãos, o peso do maciço. Assim, efetuou-se uma média ponderada entre as cargas do maciço de concreto e da nervura, pelo respectivo comprimento que estes ocupam no vão,

garantindo assim, maior precisão no cálculo da carga da laje. Logo, além do peso das nervuras, para este carregamento distribuído, foi ponderado o peso dos maciços, do revestimento, das divisórias de *drywall*, a alvenaria de vedação e a carga acidental.

Posteriormente, realizou-se combinação última normal de acordo com o item 11.8.2.4 da NBR 6118 (ABNT, 2014), para todos os carregamentos distribuídos. Isto posto, a Tabela 1 consta o resumo dos carregamentos atuantes na estrutura, assim como, o carregamento total majorado.

Tabela 1 – Cargas atuantes nos pórticos múltiplos nas direções X e Y

Cargas Permanentes nos Pórticos Múltiplos nos Eixo X e Y			
	Peso específico (kN/m ³)	Espessura (m)	Carga (kN/m ²)
Revestimento	20	0,05	1,0
Divisórias <i>drywall</i>	-	-	0,5
Paredes de Alvenaria – Vedação	-	-	1,5
Peso da laje apenas com nervuras nos pórticos 01, 02, 04 e 06	-	-	5,45
Peso da laje com nervuras e maciço nos pórticos 02 e 06	-	-	7,39
Peso da laje com nervuras e maciço nos pórticos 01 e 04	-	-	7,49
Carga Acidental nos Pórticos Múltiplos nos Eixo X e Y			
Escolas, Instituições de ensino - Corredor e Sala de Aula	-	-	3
Carregamento Total Majorado nos Pórticos Múltiplos Eixo X e Y			
Carregamento total atuante nos pórticos 02 e 06 Vão apenas com nervura	-	-	16,03
Carregamento total atuante nos pórticos 02 e 06 Vão com nervuras e maciço	-	-	18,75
Carregamento total atuante nos pórticos 01 e 04 Vão apenas com nervura	-	-	16,03
Carregamento total atuante nos pórticos 01 e 04 Vão com nervuras e maciço	-	-	18,87

Fonte: Autoria própria, 2020.

No Apêndice B as Figuras B.1, B.2, B.3 e B.4, ilustram os pórticos 01, 02, 04 e 06, respectivamente, concomitante com seus respectivos carregamentos distribuídos e dimensões transversais.

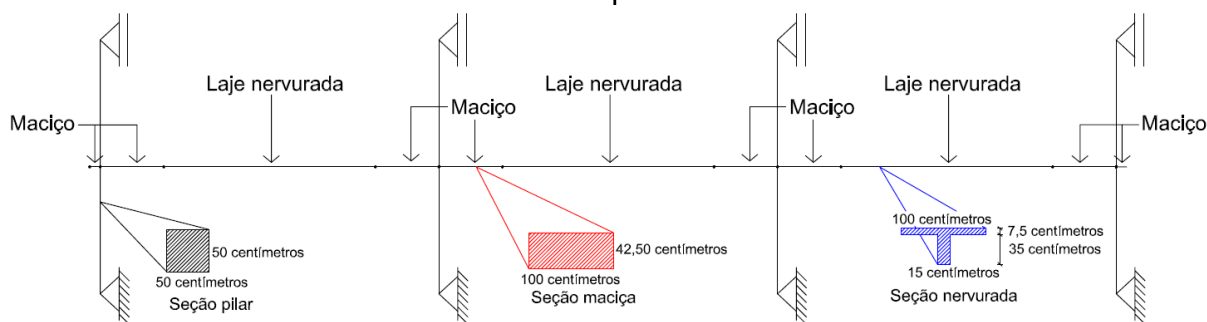
3.5 MODELAGEM NO SOFTWARE FTOOL

Com o intuito de calcular os momentos dos pórticos múltiplos, optou-se pela utilização do programa Ftool, sendo este software de fácil manuseio e ótima eficiência.

A metodologia de lançamento da estrutura no software Ftool pode ser dividido conforme as seguintes etapas:

- Modelagem dos pórticos conforme as dimensões ilustradas nas Figuras B.1, B.2, B.3 e B.4 (Apêndice B), utilizando o comando “Barra”, sendo que, os pilares e as vigas do pórtico modelado pelo Ftool representam os pilares e a laje nervurada da edificação, respectivamente;
- Incorporação de apoios rotulados nas extremidades dos pilares;
- Aplicação de carregamentos distribuídos nos pórticos;
- Definição das seções transversais das barras nos pórticos, sendo que, foi utilizado para os maciços e pilares, seções maciças retangulares e quadradas respectivamente, e seção em forma de “T” para a laje nervurada, conforme Figura 23.

Figura 23 – Seções utilizadas no software Ftool para modelagem dos pórticos múltiplos



Fonte: Autoria própria, 2020.

- Definição do concreto como material nos pórticos. Ademais, adicionou-se o módulo de Elasticidade Secante do concreto (E_{cs}) calculado de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), e o coeficiente de Poisson (ν), sendo de 31875,75 MPa e 0,2, respectivamente os valores utilizados.

Além disso, para o dimensionamento dos momentos fletores pelo software Ftool, considerou-se comprimento unitário nos pórticos analisados, conforme ilustrado pela Figura 23. Portanto, para o cálculo do momento solicitante total atuante no pórtico em estudo, necessitou-se multiplicar o momento fletor obtido pelo software Ftool pela dimensão do vão do pórtico múltiplo em análise.

Os resultados dos pórticos múltiplos 01, 02, 04 e 06 estão contidos nas Figuras dos Apêndices C, D, E e F respectivamente, acompanhados com seus diagramas de momento fletor e esforço cortante.

3.6 VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

A NBR 6118 (ABNT, 2014), prevê duas hipóteses para a verificação de cisalhamento da nervura em lajes nervuradas, segundo o item 13.2.4.2.

Para nervuras com espaçamento entre os eixos inferior ou igual a 65 centímetros, deve-se verificar o cisalhamento da nervura com critérios de laje. Quando o espaçamento for maior que 65 centímetros e inferior ou igual a 110 centímetros, deve-se verificar a força cortante conforme vigas. Contudo, caso o espaçamento entre os eixos de nervuras for menor ou igual a 90 centímetros e a largura média das nervuras for maior que 12 centímetros, permite-se verificar a força cortante de forma análoga a laje.

3.7 VERIFICAÇÃO AO PUNÇIONAMENTO

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 160) a análise estrutural de punçionamento se baseia em: “O modelo de cálculo corresponde à verificação do cisalhamento em duas ou mais superfícies críticas definidas no entorno de forças concentradas”.

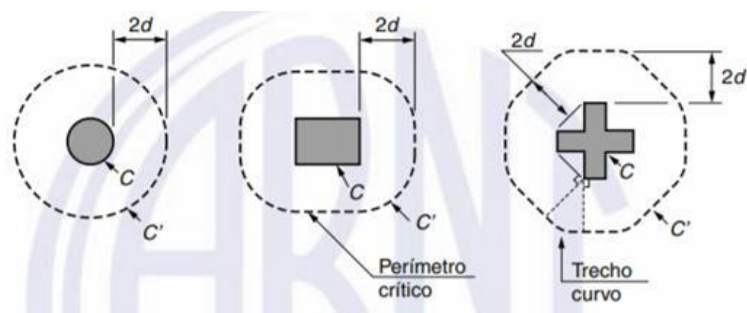
A primeira superfície crítica, denominada de contorno C, verifica-se a tensão de compressão diagonal do concreto por meio da tensão de cisalhamento.

A segunda superfície crítica (contorno C'), verifica-se a resistência a punção, através da tensão de cisalhamento. Caso a tensão cisalhante solicitante seja maior que a resistida no contorno C', é necessário que, a região analisada seja amparada por uma armadura transversal e verificada a tensão solicitante no contorno C''.

Neste caso, a armadura transversal deverá ser estendida do contorno C' até C'' com a finalidade de, ao chegar no contorno C'', não seja necessária mais armadura, ou seja, a tensão solicitante cisalhante é menor que a tensão resistida.

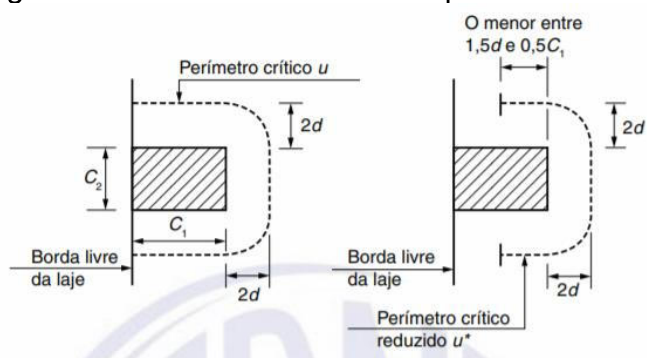
Ademais, as superfícies críticas apresentam contornos específicos segundo a localização do pilar na edificação. Assim, as superfícies críticas para pilares internos, de borda e de canto, estão ilustradas nas Figuras 24, 25 e 26, respectivamente.

Figura 24 – Perímetro crítico em pilares internos



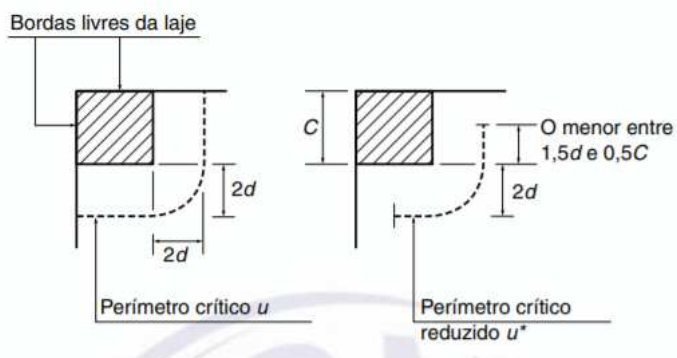
Fonte: ABNT, 2014.

Figura 25 – Perímetro crítico em pilares de borda



Fonte: ABNT, 2014.

Figura 26 – Perímetro crítico em pilares de canto



Fonte: ABNT, 2014.

3.8 MODELAGEM DA LAJE NO SOFTWARE EBERICK

O software empregado neste trabalho, foi disponibilizado pelo escritório Solution Engenharia Civil, localizado na cidade de Marechal Cândido Rondon/PR.

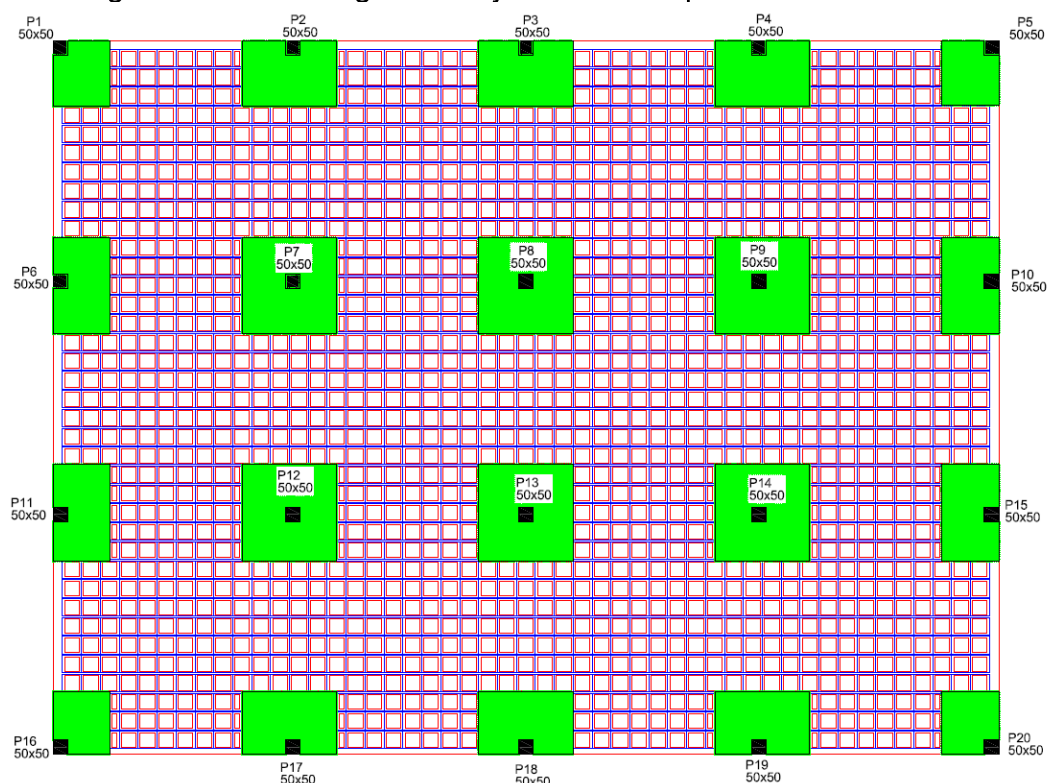
O processo de lançamento da estrutura no software Eberick pode ser dividido conforme os seguintes passos:

- a) Importação do dwg do projeto arquitetônico (desenvolvido no software Arqui 3D) para o software Eberick;
- b) Definição de configurações de projeto, como: Resistência característica do concreto à compressão (F_{ck}), cobertura mínimo e a isenção da atuação do vento na estrutura;
- c) Lançamento dos pilares;
- d) Delimitação do perímetro da laje;
- e) Determinação das características da laje, como: dimensões da cubeta e dos maciços;
- f) Lançamento da laje;
- g) Aplicação das cargas sobre a estrutura;
- h) Geração e análise de resultados.

Inicialmente, delimitou-se os níveis do projeto arquitetônico, sendo, zero metros e três metros, o pavimento térreo e o primeiro pavimento, respectivamente. Assim, realizou-se o lançamento dos pilares de seção quadrada com dimensões de 50x50 centímetros na estrutura, esta, com pé direito de três metros, equivalendo a altura dos pilares. Posteriormente, efetuou-se a delimitação do perímetro da laje no primeiro pavimento, utilizando o comando de “barra”.

A seguir, modelou-se a laje nervurada, adicionando-se as medidas da seção transversal da laje e inclui-se a opção de inserir meias cubetas quando não for possível inserir uma fôrma inteira para o maciço não se estender, e posteriormente, adicionou-se os maciços no entorno dos pilares. Ademais, introduziu-se a carga accidental de uso e ocupação de corredores e salas de aula e também as cargas permanentes respectivas ao revestimento, paredes de alvenaria e *drywall*, visto que, o peso próprio da laje é estimado pelo software. A Figura 27 ilustra a modelagem da laje nervurada lisa bidirecional desenvolvida pelo software Eberick.

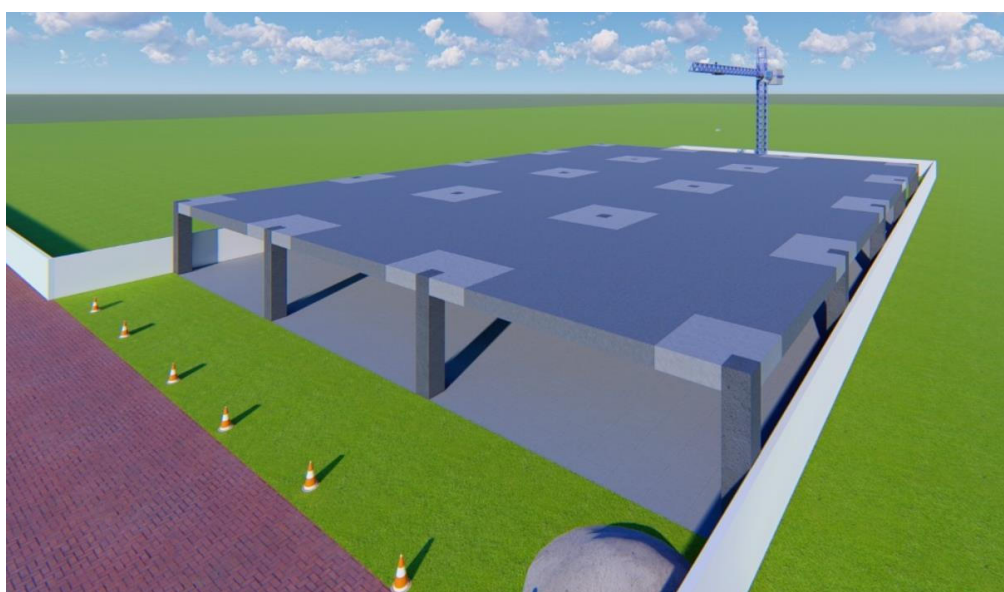
Figura 27 – Modelagem da laje em estudo pelo software Eberick



Fonte: Autoria própria, 2020.

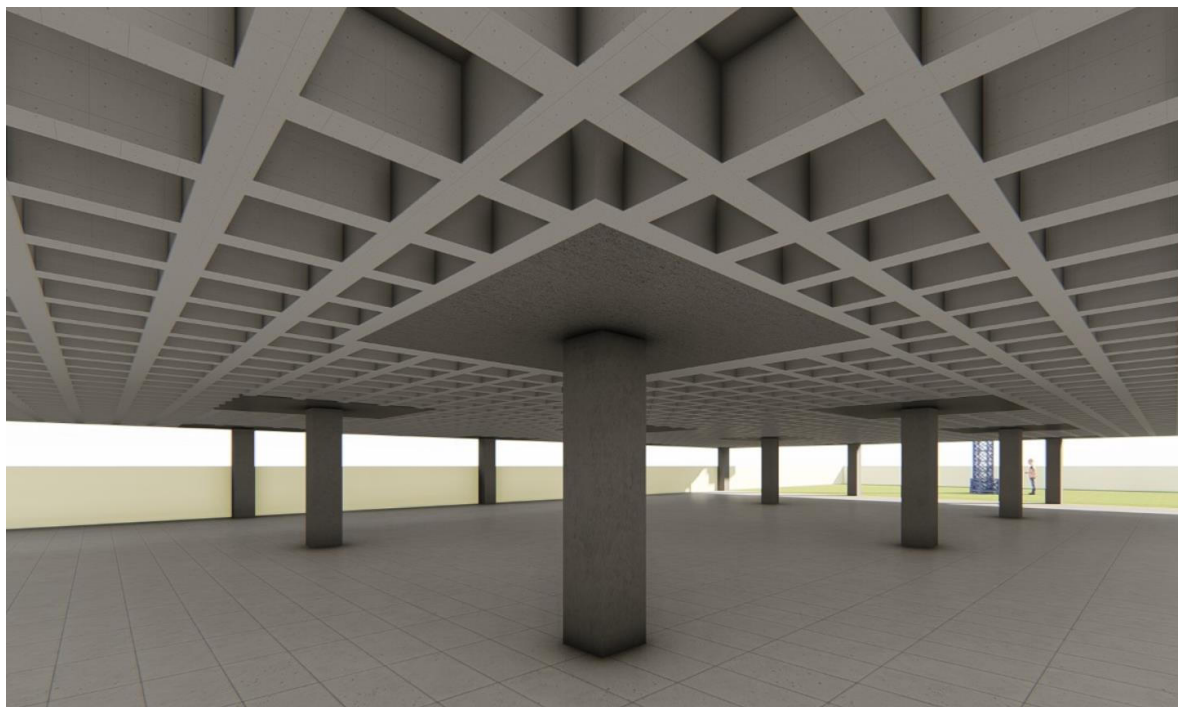
A Figura 28 ilustra a perspectiva geral da laje nervurada lisa bidirecional e a Figura 29 representa a perspectiva das seções maciça e nervurada da laje em estudo, geradas a partir do 3D confeccionado pelo software Eberick.

Figura 28 – Perspectiva geral da laje nervurada lisa bidirecional



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 29 – Perspectiva das seções maciça e nervurada da laje em estudo



Fonte: Autoria própria, 2020.

Para a análise comparativa entre os métodos computacionais (software Eberick) e método de Pórticos Múltiplos ser fiel, partiu-se de mesmos parâmetros em ambas metodologias para o dimensionamento da laje em estudo, sendo estes:

- a) Cargas atuantes no pavimento analisado conforme a Tabela 1;
- b) Resistência característica do concreto à compressão (F_{ck}) e CA do aço;
- c) Cobrimento mínimo da armadura;
- d) Exclusão da atuação de ventos na estrutura;
- e) Dimensões da laje nervurada lisa bidirecional e dos pilares.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MÉTODO DOS PÓRTICOS MÚLTIPLOS

4.1.1 Momentos fletores

A partir dos diagramas de momentos fletores nas Figuras C.3, D.3, E.3 e F.3, dos Apêndices C, D, E e F, realizou-se a multiplicação dos momentos solicitantes pela largura de cada pórtico múltiplo obtendo-se a totalidade dos momentos atuantes.

Posteriormente, realizou-se a distribuição dos momentos fletores em cada faixa dos pórticos segundo critérios da NBR 6118 (ABNT, 2014). Ainda, obteve-se os momentos atuantes em cada faixa por comprimento unitário.

Os momentos atuantes nas faixas internas e externas por comprimento unitário dos pórticos 01, 02, 04 e 06, encontram-se nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Tabela 2 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 01

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01 = 05	-95,60	8,25	-788,70	-49,29	-147,88
01-02 = 04-05	29,30	8,25	241,73	27,19	33,24
02 = 04	-108,70	8,25	-896,78	-56,05	-168,15
02-03 = 03-04	27,60	8,25	227,70	25,62	31,31
03	-103,50	8,25	-853,88	-53,37	-160,1

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 3 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 02

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01 = 05	-95,50	8,00	-764,00	-47,75	-143,25
01-02 = 04-05	29,30	8,00	234,40	26,37	32,23
02 = 04	-108,60	8,00	-868,80	-54,30	-162,90
02-03 = 03-04	27,60	8,00	220,80	24,84	30,36
03	-103,40	8,00	-827,20	-51,7	-155,10

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 4 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 04

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01 = 04	-95,60	8,25	-788,70	-49,29	-147,88
01-02 = 03-04	29,40	8,25	242,55	27,29	33,35
02 = 03	-108,70	8,25	-896,78	-56,05	-168,15
02-03	27,50	8,25	226,88	25,52	31,20

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 5 – Momentos fletores atuantes - Pórtico 06

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01 = 04	-95,50	8,00	-764,00	-47,75	-143,25
01-02 = 03-04	29,30	8,00	234,40	26,37	32,23
02 = 03	-108,60	8,00	-868,80	-54,30	-162,90
02-03	27,50	8,00	220,00	24,75	30,25

Fonte: Autoria própria, 2020.

A partir dos momentos atuantes em cada faixa por comprimento unitário dos pórticos analisados, foram confeccionadas as Figuras G.1 e G.2, no Apêndice G, englobando todos os momentos solicitantes atuantes no pavimento em estudo, determinados pelo método de Pórticos Múltiplos, nas direções X e Y, respectivamente.

4.1.2 Verificação ao cisalhamento

Inicialmente, verificou-se o cisalhamento nas nervuras com critérios de laje em função do espaçamento entre os eixos das nervuras ser igual à 65 centímetros, conforme a Figura 13, de acordo com o item 13.2.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014). Para este cálculo, considerou-se o maior esforço cortante, extraído dos Apêndices C e D, conforme Figuras C.2 e D.2, para o eixo X, e as Figuras E.2 e F.2, dos Apêndices E e F para o eixo Y. Ainda, ressalta-se que, para dimensionar o esforço cortante atuante nas nervuras, multiplicou-se o valor da cortante pela distância entre os eixos das nervuras. A Tabela 6 resume os valores calculados para esta verificação.

Tabela 6 – Verificação ao esforço cortante – Vrd1

Eixos	Vsd (kN/m)	Vsd (kN/Nerv)	Fctd (kN/cm ²)	τ_{Rd} (kN/cm ²)	k	p	Vrd1	Verificação
								Vrd1 \geq Vsd
Eixo X	70	45,5	0,175	0,044	1,215	0,0035	41,21	não ok
Eixo Y	70	45,5	0,175	0,044	1,215	0,0035	41,21	não ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

Em função da força cortante solicitante de cálculo nas nervuras (Vsd) ser superior a força cortante resistente de cálculo (Vrd1), necessitou-se verificar as nervuras com critérios de vigas, segundo o item 17.4.2 da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Deste modo, verificou-se a compressão diagonal e a tração diagonal do concreto, Vrd2 e Vrd3 respectivamente, para posteriormente, dimensionar a armadura

transversal (Asw). A Tabela 7, sintetiza os valores encontrados, e as verificações realizadas.

Tabela 7 – Verificação ao esforço cortante – Vrd2 e Vrd3

Eixos	Vsd (kN/Nerv)	Vrd2 (kN/Nerv)	Vrd3 (kN/Nerv)	Vc (kN/Nerv)	Vsw (kN/Nerv)	Asw mín (cm ² /m)	Verificação	Verificação
							Vrd2 ≥ Vsd	Vrd3 ≥ Vsd
Eixo X	45,5	374,22	60,79	60,79	0,00	1,34	ok	ok
Eixo Y	45,5	374,22	60,79	60,79	0,00	1,34	ok	ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

Constatou-se que, mediante as verificações realizadas para o cisalhamento, as nervuras necessitaram-se de armadura transversal mínima para combater os esforços cortantes solicitantes, devido a, elevada resistência fornecida apenas pelo concreto (Vc) que, mostrou-se ser superior a força cortante solicitante (Vsd), na verificação a tração diagonal do concreto (Vrd3).

4.1.3 Verificação ao punção

Para a verificação do fenômeno de punção, avaliou-se os pilares mais exigidos na estrutura, sendo: um pilar interno (P14), um de borda (P19), e um de canto (P20), ilustrados na Figura 17.

Para obtenção da carga vertical atuante em cada pilar, extraiu-se as reações de apoio do software Ftool, dos pórticos mais solicitados em cada direção, por conseguinte, o pórtico 01 na direção X e o pórtico 04 na direção Y. Nota-se que, cada pilar encontra-se englobado em dois pórticos, um na direção X e outro na direção Y. Portanto, realizou-se a média das reações de apoio obtidas em cada uma das direções, conforme citado na seção 3.2, para os pilares P14, P19 e P20.

Posteriormente, multiplicou-se a média da reação de apoio obtida para cada pilar, pela largura do pórtico múltiplo em análise em que o pilar está inserido, em função de, neste estudo, o dimensionamento elaborado através do software Ftool, servir apenas para o cálculo de pórticos com comprimento unitário. Logo, obteve-se a carga vertical total atuante em cada pilar verificado.

Neste estudo, verificou-se os esforços de punção no contorno dos pilares e na região afastada 2d dos mesmos, sendo, as superfícies C e C' respectivamente, com

base no item 19.5 da NBR 6118 (ABNT, 2014), determinando-se a necessidade ou ausência de armadura transversal.

Inicialmente, determinou-se a altura útil (d). Para isso, levou-se em consideração o cobrimento mínimo imposto pela NBR 6118 (ABNT, 2014), e o diâmetro da armadura pressuposta a ser utilizada. Para este estudo, adotou-se o cobrimento de 2,50 centímetros e a previsão de diâmetro de armadura em ambas as direções da laje de 10mm. Ainda, considerando o fator segurança no dimensionamento, atentou-se ao cruzamento de barras, em função da sobreposição de barras nos eixos X e Y, promovendo reduções na altura útil. Assim, o cálculo da altura útil é fornecido pela Equação 2:

$$d = h - c - \frac{\emptyset_l}{2} - \emptyset_l \quad (2)$$

Sendo:

- d = altura útil da laje (cm);
- h = altura total da laje (cm);
- c = cobrimento mínimo (cm);
- \emptyset_l = diâmetro da armadura (cm).

Resultando em 38,50 centímetros a altura útil, para ambas direções. Posteriormente, verificou-se o efeito de puncionamento no pilar interno P14, calculando-se as tensões solicitantes, com assimetria de momento. Neste cálculo, em função da NBR 6118 (ABNT, 2014) apenas especificar a assimetria de momento em uma direção, adicionou-se a Equação 3 na fórmula da NBR 6118 (ABNT, 2014), decorrente da aplicação de momento em uma segunda direção.

$$\frac{K_2 M_{sd2}}{W_{p2} * d} \quad (3)$$

Sendo:

- K_2 = Coeficiente que fornece a parcela de M_{sd2} transmitida ao pilar na punção;
- M_{sd2} = Momento de cálculo transmitido pela laje ao pilar (kN.cm);
- W_{p2} = Módulo de resistência plástica do perímetro crítico (cm²).

A equação 3 foi sugerida por Melges (1995), resultando na Equação 4, para pilares internos com efeito de momento em duas direções.

$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u*d} + \frac{KM_{sd}}{W_p*d} + \frac{K_2 M_{sd2}}{W_{p2}*d} \quad (4)$$

Sendo:

τ_{sd} = tensão solicitante de cálculo (kN);

F_{sd} = Força ou reação de punção de cálculo (kN);

u = perímetro crítico (cm).

A Tabela 8, apresenta as tensões solicitantes e resistidas para as superfícies críticas C e C', do pilar interno P14.

Tabela 8 – Cálculo de Puncionamento no pilar P14

Pilar	Fsd (kN)	u (cm)	Msd (kN.cm)	Msd2 (kN.cm)	p	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{rd2} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd2}$	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	τ_{rd1} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
P14	1142,2	683,81	3713	3958	0,002473	0,18	0,648	ok	0,0459	0,048	ok

Fonte: Aatoria própria, 2020.

Em seguida, dimensionou-se o pilar de borda P19. Os resultados e verificações das tensões solicitantes e resistidas para as superfícies críticas C e C', estão contidos na Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo de Puncionamento no pilar P19

Pilar	Fsd (kN)	u (cm)	Msd (kN.cm)	Msd2 (kN.cm)	p	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{rd2} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd2}$	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	τ_{rd1} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
P19	866,24	341,9	78870	3713	0,002458	0,2	0,648	ok	0,079	0,0479	não ok

Fonte: Aatoria própria, 2020.

A posteriori, calculou-se o pilar de canto P20. Para este dimensionamento, em função do pilar de canto possuir duas bordas livres, verificou-se cada borda livre separadamente, desconsiderando-se o momento fletor atuante paralelo a borda livre analisada. Primeiramente, analisou-se a borda livre no eixo Y, ignorando-se a borda do eixo X. A Tabela 10, contém as verificações das tensões solicitantes e resistidas para as superfícies críticas C e C'.

Tabela 10 – Cálculo de Puncionamento no pilar P20

Pilar	Fsd (kN)	u (cm)	Msd (kN.cm)	ρ	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{rd2} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd2}$	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	τ_{rd1} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
P20	589,89	170,96	78870	0,00234	0,2349	0,648	ok	0,13	0,04714	não ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

Seguidamente, analisou-se a borda livre no eixo X, ignorando-se a borda do eixo Y. Os valores das tensões resistidas e solicitantes, estão contidos na Tabela 11 para as superfícies críticas C e C' analisadas.

Tabela 11 – Cálculo de Puncionamento no pilar P20

Pilar	Fsd (kN)	u (cm)	Msd (kN.cm)	ρ	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{rd2} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd2}$	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	τ_{rd1} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq \tau_{rd1}$
P20	589,89	170,96	78870	0,00234	0,2349	0,648	ok	0,13	0,04714	não ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

Nota-se que, os pilares P19 e P20 não suportaram as tensões solicitantes na superfície crítica C', conseqüentemente, constatou-se a necessidade de amadura transversal. Ainda, pode-se averiguar que, quanto menor o perímetro crítico do pilar em análise, maiores são as tensões solicitantes, e menores as resistidas, devendo-se fortificar essas regiões.

4.2 ANÁLISE PELO SOFTWARE EBERICK

4.2.1 Momentos fletores

A partir dos momentos fletores obtidos pelos métodos computacionais, atribuiu-se porcentagens específicas, distribuindo-os em faixas, de forma análoga ao método dos Pórticos Múltiplos, viabilizando a comparação entre as metodologias. Isto posto, os momentos obtidos para os pórticos 01, 02, 04 e 06 estão contidos nas Tabelas 12, 13, 14 e 15, respectivamente.

Tabela 12 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 01

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-250,5	8,25	-2066,63	-129,16	-387,49
01-02	82,18	8,25	677,99	76,27	93,22
02	-359,75	8,25	-2967,94	-185,5	-556,49
02-03	82,18	8,25	677,99	76,27	93,22
03	-281,7	8,25	-2324,03	-145,25	-435,75
03-04	82,18	8,25	677,99	76,27	93,22
04	-358,65	8,25	-2958,86	-184,93	-554,79
04-05	82,18	8,25	677,99	76,27	93,22
05	-265,05	8,25	-2186,66	-136,67	-410

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 13 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 02

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-247,20	8,00	-1977,60	-123,60	-370,80
01-02	82,18	8,00	657,44	73,96	90,40
02	-404,35	8,00	-3234,80	-202,18	-606,53
02-03	82,18	8,00	657,44	73,96	90,40
03	-315,05	8,00	-2520,40	-157,53	-472,58
03-04	82,18	8,00	657,44	73,96	90,40
04	-404,10	8,00	-3232,80	-202,05	-606,15
04-05	82,18	8,00	657,44	73,96	90,40
05	-246,90	8,00	-1975,20	-123,45	-370,35

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 14 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 04

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-271,50	8,25	-2239,88	-139,99	-419,98
01-02	85,60	8,25	706,20	79,45	97,10
02	-385,90	8,25	-3183,68	-198,98	-596,94
02-03	85,60	8,25	706,20	79,45	97,10
03	-366,50	8,25	-3023,63	-188,98	-566,93
03-04	85,60	8,25	706,20	79,45	97,10
04	-272,05	8,25	-2244,41	-140,28	-420,83

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 15 – Momentos Fletores Atuantes - Pórtico 06

Seção Transversal	Msd (kN.m/m)	Largura (m)	Msd (kN.m)	Faixa Interna	Faixa Externa
				Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-221,75	8,00	-1774,00	-110,88	-332,63
01-02	85,60	8,00	684,80	77,04	94,16
02	-375,70	8,00	-3005,60	-187,85	-563,55
02-03	85,60	8,00	684,80	77,04	94,16
03	-360,05	8,00	-2880,40	-180,03	-540,08
03-04	85,60	8,00	684,80	77,04	94,16
04	-227,05	8,00	-1816,40	-113,53	-340,58

Fonte: Autoria própria, 2020.

Os momentos fletores atuantes no pavimento em estudo obtidos através de métodos computacionais, e distribuídos nas faixas internas e externas dos pórticos, nas direções X e Y, conforme as Tabelas 12, 13, 14 e 15, encontram-se englobados nas Figuras H.1 e H.2, respectivamente, do apêndice H.

4.2.2 Verificação ao cisalhamento

A Tabela 16, resume os valores extraídos dos métodos computacionais, para a verificação ao esforço cortante da laje em estudo.

Tabela 16 – Verificação ao esforço cortante – Vrd1, Vrd2 e Vrd3

Eixos	Vsd (kN/ Nerv)	Vrd1 (kN/ Nerv)	Vrd2 (kN/ Nerv)	Vrd3 (kN/ Nerv)	Vc (kN/ Nerv)	Vsw (kN/ Nerv)	Asw (cm ² / m)	Verificação	Verificação
								Vrd2 ≥ Vsd	Vrd3 ≥ Vsd
Eixo X	67,07	45,91	376,16	67,07	61,10	5,97	0,61	ok	ok
Eixo Y	105,1	44,97	360,61	105,1	58,67	46,43	4,92	ok	ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.2.3 Verificação ao puncionamento

A Tabela 17 apresenta os resultados extraídos dos métodos computacionais, para a verificação ao esforço de puncionamento da laje em estudo.

Tabela 17 – Verificação ao efeito de puncionamento – P14, P19 e P20

Pilar	Fsd (kN)	P	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{rd2} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq$ τ_{rd2}	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	τ_{rd1} (kN/cm ²)	$\tau_{sd} \leq$ τ_{rd1}
14	1234,7	0,0079	0,18	0,65	ok	0,05	0,07	ok
19	537,2	0,00268	0,12	0,65	ok	0,04	0,05	ok
20	241,1	0,00145	0,17	0,65	ok	0,04	0,04	ok

Fonte: Autoria própria, 2020.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo, utilizou-se os momentos fletores, esforços de cisalhamento e puncionamento como parâmetros de esforços a serem comparados entre o método dos Pórticos Múltiplos e os métodos computacionais. Ademais, considerou-se apenas os pórticos mais solicitados no método dos Pórticos Múltiplos, para comparação de resultados. Sendo assim, analisou-se o pórtico 01 para a direção X e o pórtico 04 para a direção Y.

4.3.1 Momentos fletores

Analisou-se os momentos fletores atuantes nos pórticos distribuídos em faixas internas e externas, sendo respectivamente, as regiões centrais dos pórticos e as regiões dos pilares. As Tabelas 18 e 19, expõem as divergências encontradas nos pórticos 01 e 04, respectivamente.

Tabela 18 – Comparativo entre os momentos fletores - pórtico 01

Seção Transversal	Método dos Pórticos Múltiplos		Métodos Computacionais	
	Faixa Interna	Faixa Externa	Faixa Interna	Faixa Externa
	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-49,29	-147,88	-129,16	-387,49
01-02	27,19	33,24	76,27	93,22
02	-56,05	-168,15	-185,5	-556,49
02-03	25,62	31,31	76,27	93,22
03	-53,37	-160,1	-145,25	-435,75
03-04	25,62	31,31	76,27	93,22
04	-56,05	-168,15	-184,93	-554,79
04-05	27,19	33,24	76,27	93,22
05	-49,29	-147,88	-136,67	-410

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 19 – Comparativo entre os momentos fletores - pórtico 04

Seção Transversal	Método dos Pórticos Múltiplos		Métodos Computacionais	
	Faixa Interna	Faixa Externa	Faixa Interna	Faixa Externa
	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)	Msd (kN.m/m)
01	-49,29	-147,88	-139,99	-419,98
01-02	27,29	33,35	79,45	97,1
02	-56,05	-168,15	-198,98	-596,94
02-03	25,52	31,2	79,45	97,1
03	-56,05	-168,15	-188,98	-566,93
03-04	27,29	33,35	79,45	97,1
04	-49,29	-147,88	-140,28	-420,83

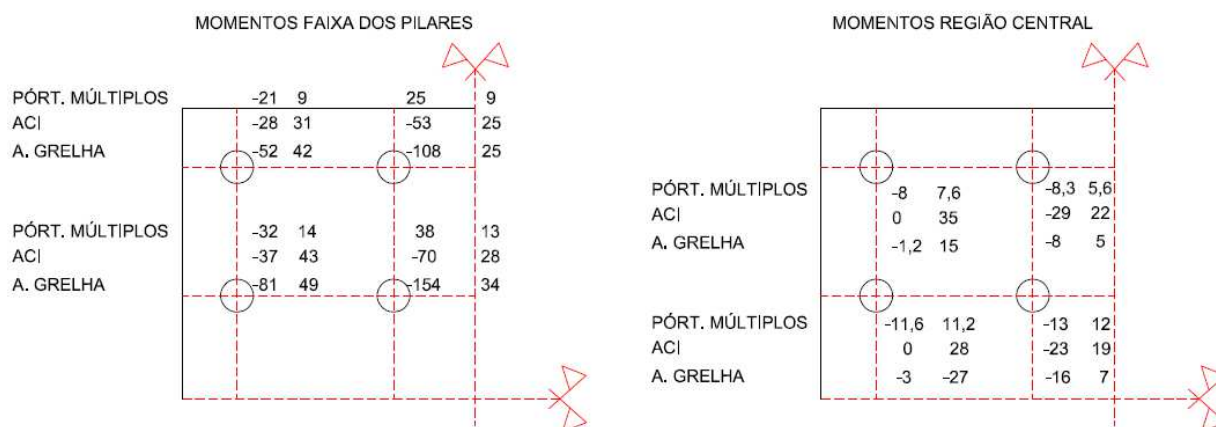
Fonte: Autoria própria, 2020.

Notou-se diferenças entre os resultados obtidos pelo método dos Pórticos Múltiplos e os métodos computacionais, sobretudo, no pórtico 04 (Tabela 19). Além disso, percebeu-se grande disparidade entre os momentos negativos nas regiões centrais (faixas internas) e nas regiões dos pilares (faixas externas) em ambas metodologias.

Ainda que as diferenças encontradas nos resultados entre as metodologias serem volumosas, estas são condizentes com Carvalho e Pinheiro (2009), onde os autores realizam o dimensionamento de momentos fletores de uma laje lisa através

de três metodologias: Método dos Pórticos Múltiplos, Método Direto (ACI) e Analogia de Grelha, para fins comparativos, sendo os resultados demonstrados na Figura 30.

Figura 30 – Resultados de momentos fletores calculados em um pavimento sem vigas pelo met. Pórticos Múltiplos, ACI e A. de Grelha



Fonte: Carvalho e Pinheiro, 2009. Adaptado pelo autor.

Carvalho e Pinheiro (2009) enfatizam que, nas regiões onde se projetariam as vigas caso o pavimento fosse executado com lajes e vigas, isto é, nas faixas dos pilares, há ocorrência de picos de momentos fletores, sendo esta uma característica de lajes lisas.

Ademais, os autores citam a enorme variabilidade de resultados obtidos por cada metodologia e justificam os grandes resultados conduzidos pelo método da Analogia de Grelha em razão da modelagem da estrutura definir pilares apenas como nós não-deslocáveis na vertical, considerando todo apoio da placa nos pilares de forma pontual, originando grande variação na curvatura nestes pontos, e conseqüentemente, elevados momentos fletores. Ainda, os autores apontam soluções para corrigir este efeito:

1. Utilizar o momento fletor atuante na face do pilar e não exatamente no nó, adequando-se a malha para que exista pontos que coincidem com a face do pilar;
2. Densificar a malha na região do pilar;
3. Redistribuir os momentos fletores, diminuindo a rigidez dos elementos de grelha na região do pilar.

Também, os calculistas utilizam procedimentos para suavizar os momentos fletores obtidos através de softwares, convergindo para ideias semelhantes as expostas pelos autores Carvalho e Pinheiro (2009), como:

1. Admitir plastificação na região dos pilares;
2. Realizar médias de valores obtidas nas barras da malha nas regiões dos pilares.

Além disso, ressalta-se que, pela simplicidade do método de Pórticos Múltiplos, os momentos fletores são dimensionadas em faixas, enquanto que, o método de Analogia de Grelha fragmenta a laje em barras, tornando-a uma malha, possibilitando a análise dos momentos solicitantes em cada barra, tornando a solução precisa e viabilizando a utilização de ferramentas para suavizar os momentos fletores e consequentemente, armaduras da laje (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

4.3.2 Esforço de cisalhamento

As tensões cisalhantes resistidas e solicitantes para ambas metodologias estão contidas nas Tabelas 20 e 21, para a direção X e Y, respectivamente, devidamente, comparadas.

Tabela 20 – Comparativo entre esforços de cisalhamento - direção X

Métodos	Eixos	Vsd (kN/Nerv)	Vrd1 (kN/Nerv)	Vrd2 (kN/Nerv)	Vrd3 (kN/Nerv)	Asw (cm ² /m)
Método Pórt. Múltiplos (NBR 6118)	Eixo X	45,5	41,21	374,22	60,79	1,34
Métodos Computacionais	Eixo X	67,07	45,91	376,16	67,07	0,61
Diferença (%)		47,41	11,40	0,52	10,33	-54,48

Fonte: Autoria própria, 2020.

Tabela 21 – Comparativo entre esforços de cisalhamento - direção Y

Métodos	Eixos	Vsd (kN/Nerv)	Vrd1 (kN/Nerv)	Vrd2 (kN/Nerv)	Vrd3 (kN/Nerv)	Asw (cm ² /m)
Método Pórt. Múltiplos (NBR 6118)	Eixo Y	45,5	41,21	374,22	60,79	1,34
Métodos Computacionais	Eixo Y	105,1	44,97	360,61	105,1	4,92
Diferença (%)		130,99	9,12	-3,64	72,89	267,16

Fonte: Autoria própria, 2020.

A partir dos resultados das Tabelas 20 e 21, observou-se que, as forças cortantes solicitantes (V_{sd}) extraídas do método dos Pórticos Múltiplos e as verificações ao cisalhamento, se aproximaram dos métodos computacionais quando comparado os esforços e verificações na direção X da laje em estudo. Entretanto, analisando-se a direção Y, percebeu diferenças excessivas nos parâmetros V_{sd} , V_{rd3} e A_{sw} .

Estas discrepâncias, podem ser justificadas devido a simplicidade do método dos Pórticos Múltiplos, visto que, o mesmo é incapaz de operar os eixos X e Y simultaneamente, logo, não há garantia de uma distribuição correta dos carregamentos atuantes na estrutura. Isto se torna evidente, em função da disparidade entre os valores de força cortante solicitante (V_{sd}) extraídos dos métodos computacionais para os eixos X e Y, diferenças que, no método dos Pórticos Múltiplos, são inexistentes.

Além disso, devido à complexidade do modelo estrutural de lajes nervuradas, o método Pórtico Múltiplos se mostra limitado, não possibilitando a representação realista de lajes nervuradas em pórticos múltiplos em função da inviabilidade de representação no pórtico múltiplo, seções maciças e nervuradas subsequentes, devendo-se optar por apenas uma seção, que erroneamente, retrata a totalidade do vão do pórtico em análise, comprometendo-a.

4.3.3 Esforço de punção

No cálculo de punção, verificou-se as tensões solicitantes e resistidas para as superfícies críticas e a necessidade de armadura transversal para combater os esforços cisalhantes provenientes da punção. A Tabela 22, ilustra os resultados obtidos para cada método.

Tabela 22 – Comparativo entre os esforços de punção nas superfícies críticas

Pilar	Método Pórticos Múltiplos (NBR 6118)			Métodos Computacionais			Diferença (%)		
	Fsd (kN)	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	Fsd (kN)	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)	Fsd (kN)	τ_{sd} (C) (kN/cm ²)	τ_{sd} (C') (kN/cm ²)
14	1142,2	0,18	0,0459	1234,7	0,18	0,05	8,1	0	8,93
19	866,24	0,2	0,079	537,2	0,12	0,04	-38,0	-40	-49,37
20	589,89	0,2349	0,13	241,1	0,17	0,04	-59,1	-27,6288	-69,23

Fonte: Autoria própria, 2020.

Observou-se que, tratando-se de esforços de punção, as soluções obtidas por ambas metodologias convergem entre si, sobretudo no pilar de centro (P14), cuja verificação de tensão solicitante no perímetro crítico C, não houve diferença. Ainda, o pilar de borda (P19) obteve diferenças suavizadas quando comparadas com o pilar de canto (P20).

As diferenças nos pilares P19 e P20, podem ser justificadas devido as disparidades nas forças de punção determinadas por cada metodologia, sendo esta força, diretamente relacionada com as tensões solicitantes nas superfícies críticas C e C'.

Nota-se que, no método dos Pórticos Múltiplos em função da incapacidade de operar simultaneamente os eixos X e Y no dimensionamento da estrutura, transmitem-se as cargas atuantes na laje para os pilares de maneira irregular, resultando em forças de punção equivocadas.

Apesar das diferenças encontradas nos esforços de punção, percebeu-se que as soluções encontradas por cada método se aproximam, indicando que, o fator determinante nas diferenças encontradas na análise da laje em estudo é em função da modelagem à flexão da laje em ambos os métodos.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, mostrou-se a aplicabilidade de diferentes metodologias para a análise de lajes nervuradas lisas bidirecionais.

As diferenças encontradas nos momentos fletores foram ocasionadas pela modelagem à flexão da laje pelos métodos computacionais, que conduzem a resultados elevados de momentos fletores, podendo-se suaviza-los, realizando-se a média dos momentos solicitantes determinadas nas barras da malha, na região do pilar, por exemplo. Além disso, deve-se levar em consideração o fator simplicidade do método dos Pórticos Múltiplos, que apresenta inúmeras limitações para ser empregado em lajes lisas, e também, dimensionar os momentos fletores dos pórticos em faixas, enquanto que, o modelo de cálculo computacional utiliza pontos da malha, tornando-se mais preciso.

Ademais, os resultados dos esforços cisalhantes foram inferiores no método dos Pórticos Múltiplos em função de suas limitações, sendo incapaz de operar simultaneamente os eixos X e Y, transmitindo as cargas atuantes na laje de maneira irregular. Ainda, deve-se levar em conta a complexidade do modelo estrutural de lajes nervuradas, que não condiz com a modelagem dos pórticos devido a impossibilidade de representar seções maciças e nervuradas subsequentes, devendo-se optar apenas por uma seção, que erroneamente, retrata a totalidade do vão do pórtico em análise.

No caso do punção, os resultados apresentaram maior concordância entre si, embora haja diferenças. Isto mostra que, a modelagem da laje à flexão em ambos os métodos é o motivo de haver maiores diferenças de resultados.

Isto posto, conclui-se que, o método dos Pórticos Múltiplos, devido a sua simplicidade e limitações, apresentou resultados divergentes das soluções obtidas pelos métodos computacionais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T. Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- ALVES, L. M. Métodos dos elementos finitos. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em:
<http://www.portalsaberlivre.com.br/manager/uploads/apostilas/1316558246.pdf>.
- ARAÚJO, J. M. Curso de concreto armado. 3. ed. Rio Grande: Dunas, 2010. v. 2 e 4
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8681: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2004.
- ATEX BRASIL. Obras. 2020. Disponível em: <https://www.atex.com.br/pt/obras/>.
- AVILLA JUNIOR, J. Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com vigotas treliçadas. 2009. 203 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.
- BASTOS, P. S. S. Lajes de concreto: estruturas de concreto I. Bauru: UNESP, 2015.
- BUZO, H. A. G. Estudo do comportamento de diafragma rígido de lajes maciças. 2017. 54 p. Trabalho de Conclusão De Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.
- CARVALHO, M. C. Análise comparativa estrutural e econômica entre lajes maciça, nervurada, treliçada e nervurada com cuba plástica em um edifício de 10 pavimentos. 2012. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.
- CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. São Paulo: Pini, 2009. v. 2.
- DIAS, R. H. Análise numérica de pavimentos de edifícios em lajes nervuradas. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DONIN, C. Análise numérica de lajes nervuradas por meio do método dos elementos finitos. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

EBERICK. Solução para seus projetos estruturais. 2020. Disponível em: <https://www.altoqi.com.br/eberick/>.

FRANCA, A. B. M.; FUSCO, P. B. As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios. São Paulo: AFALA & ABRAPEX, 1997.

GYPSUM. Escolas e universidades: guia de especificação. 2012. Disponível em: <https://www.gypsum.com.br/download/file/pt/be25a62b02de40f3b060a62f014b8d06?rev=3fbd2842-e45b-4175-9863-e6482ed4ccad>.

MELGES, J. L. P. Punção em lajes: exemplos de cálculo e análise teórico experimental. 1995. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRE, F. M. Hórmigon armado. 14. ed. Barcelona: Editorial Gustavo, 2000.

PEREIRA, R. E. Lajes lisas nervuradas em concreto armado: comparação entre diferentes metodologias de cálculo. 2016. 113 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PINHEIRO, L. M.; RAZENTE, J. A. Estruturas de concreto. In: PINHEIRO, L. M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2003. Cap. 17

SCHWETZ, P. F.; GASTAL, F. P. S. L.; SILVA FILHO, L. C. P. Análise teórica e experimental de uma laje nervurada em escala natural. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, v. 2, n. 4, p. 380-403, dez. 2009.

SELISTRE, S. L. C. Análise teórico-experimental de uma laje nervurada de microconcreto armado submetida a um carregamento uniformemente distribuído. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SILVA, A. R. S. Análise comparativa de custos de sistemas estruturais para pavimentos de concreto armado. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharias de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2002.

SILVA, G.; PRATA, B.; ALBUQUERQUE, A. Análise da eficiência dos sistemas estruturais para edifícios em concreto. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 313-325, jan./mar. 2018.

SILVA, M. A. F. Projeto e construção de lajes nervuradas de concreto armado. 2005. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SOUZA, S. S. M.; OLIVEIRA, D. R. C. Lajes lisas nervuradas de concreto armado ao cisalhamento. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, v. 4, n. 4, p. 610-641, out. 2011.

VANDERBILT, M. D.; CORLEY, W. G. Frame analysis of concrete buildings. Concrete Internacional: Design & Construction, v. 5, n. 12, p. 33-43, 1983.

VIZOTTO, I.; SARTORI, A. L. Soluções de lajes maciças, nervuradas com cuba plástica e nervuradas com vigotas treliçadas pré-moldadas: análise comparativa. Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.15, p.19-28, abr.2010.

APÊNDICE A – Perspectiva da fachada da universidade – frontal e posterior

Figura A.1 – Perspectiva da fachada frontal da universidade



Figura A.2 – Perspectiva da fachada posterior da universidade



APÊNDICE B – Pórticos múltiplos 01, 02, 04 e 06 – seções transversais e carregamentos distribuídos

Figura B.1 – Pórtico múltiplo 01

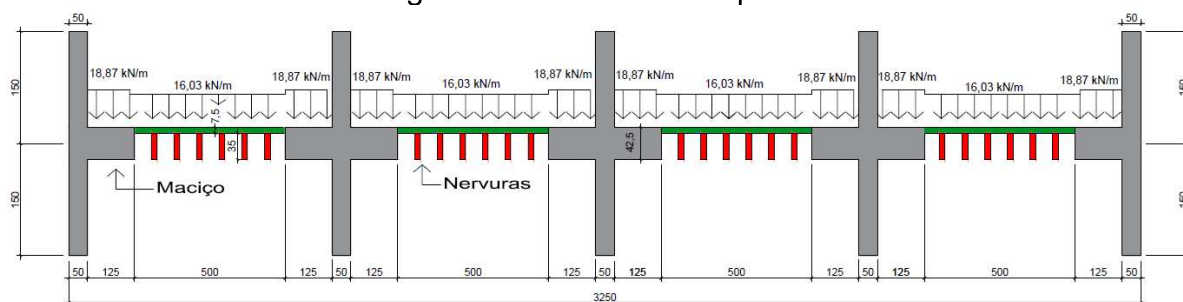


Figura B.2 – Pórtico múltiplo 02

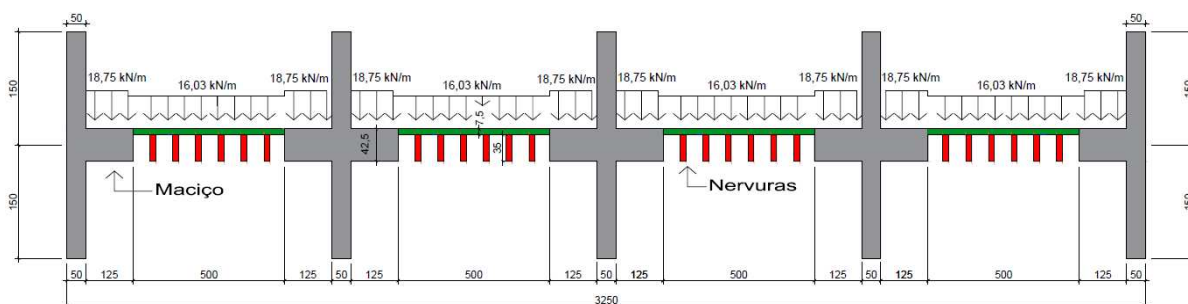


Figura B.3 – Pórtico múltiplo 04

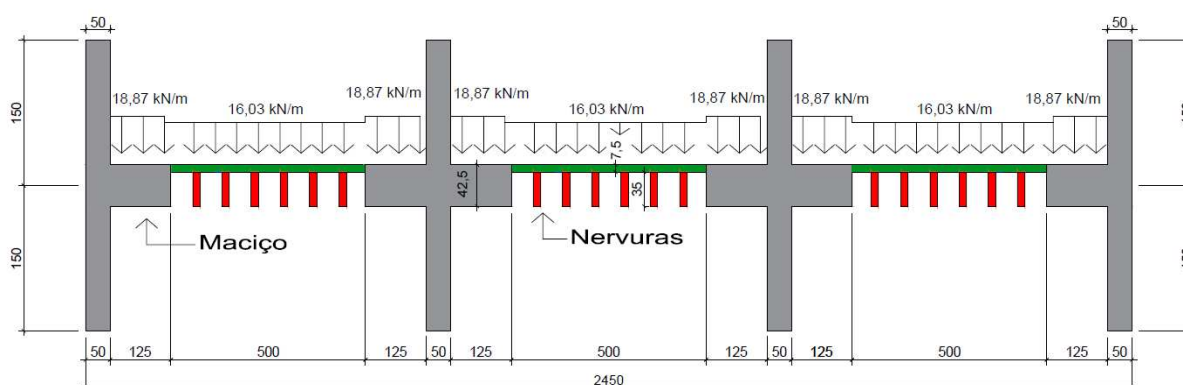
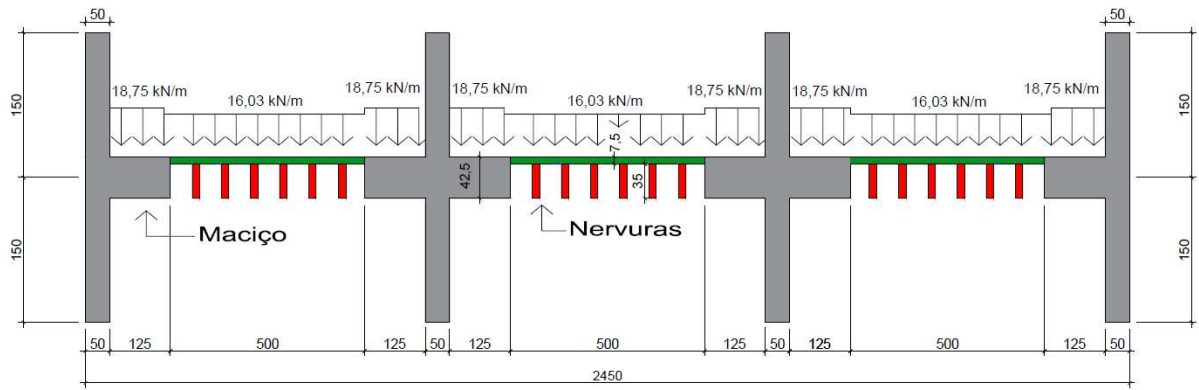


Figura B.4 – Pórtico múltiplo 06



APÊNDICE C – Diagrama de momento fletor e esforço cortante – pórtico múltiplo 01

Figura C.1 – Modelo estrutural do pórtico

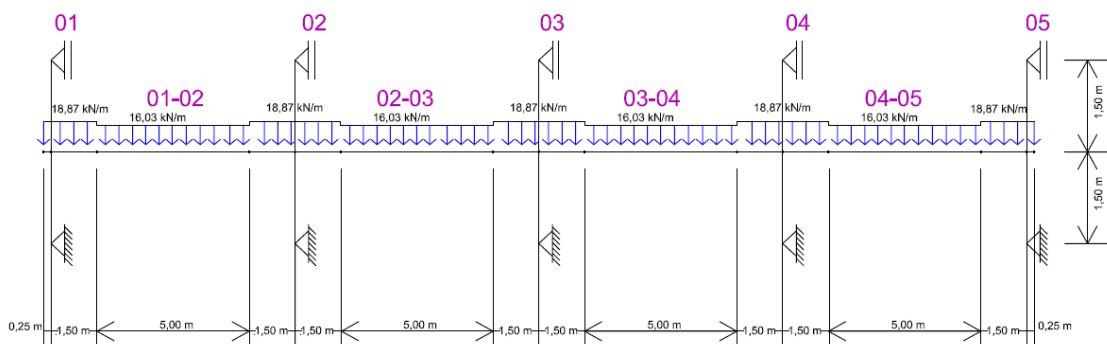


Figura C.2 – Esforço cortante (kN/m)

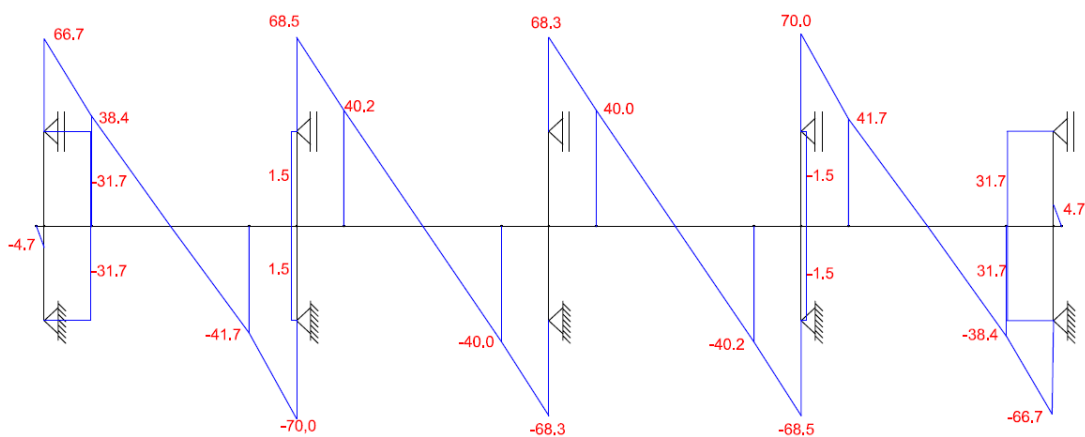


Figura C.3 – Momento fletor (kN.m/m)

Localização	Valor (kN.m/m)
Topo do pilar 01	95,6
Base do pilar 01	-47,5
Topo do pilar 02	108,7
Base do pilar 02	-104,2
Topo do pilar 03	103,5
Base do pilar 03	-103,5
Topo do pilar 04	104,2
Base do pilar 04	-108,7
Topo do pilar 05	95,6
Base do pilar 05	-47,5

APÊNDICE D – Diagrama de momento fletor e esforço cortante – pórtico múltiplo 02

Figura D.1 – Modelo estrutural do pórtico

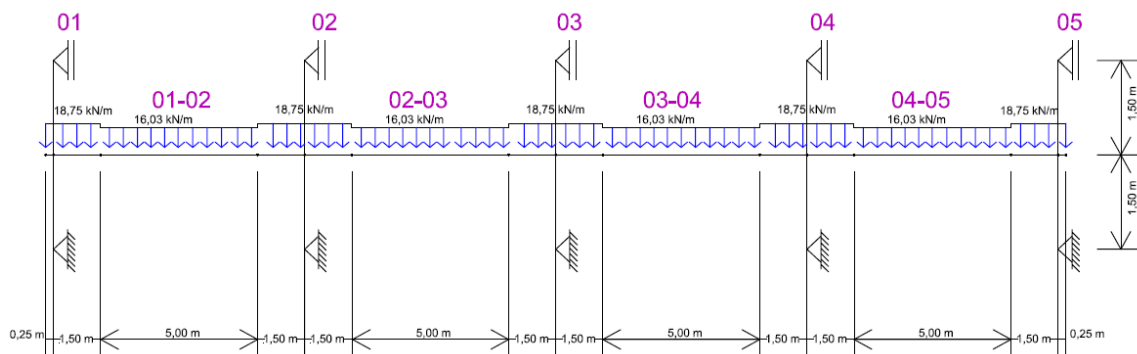


Figura D.2 – Esforço cortante (kN/m)

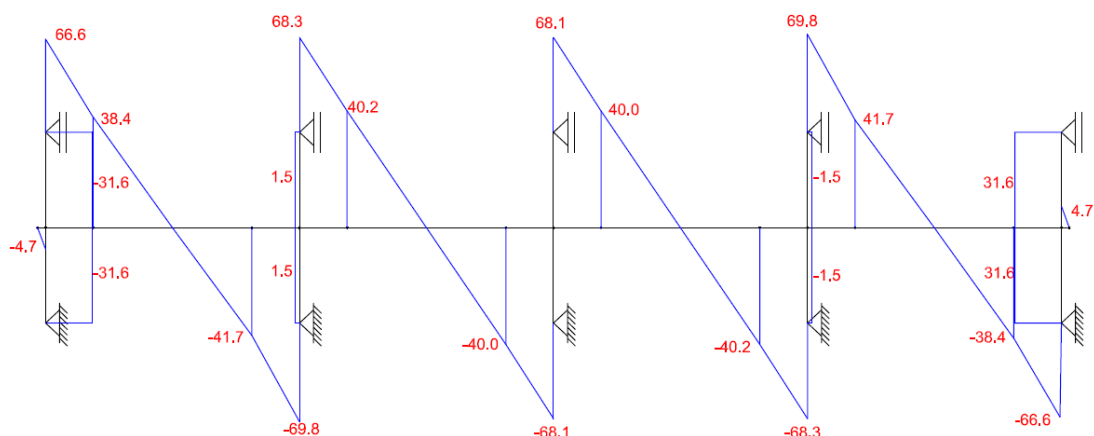
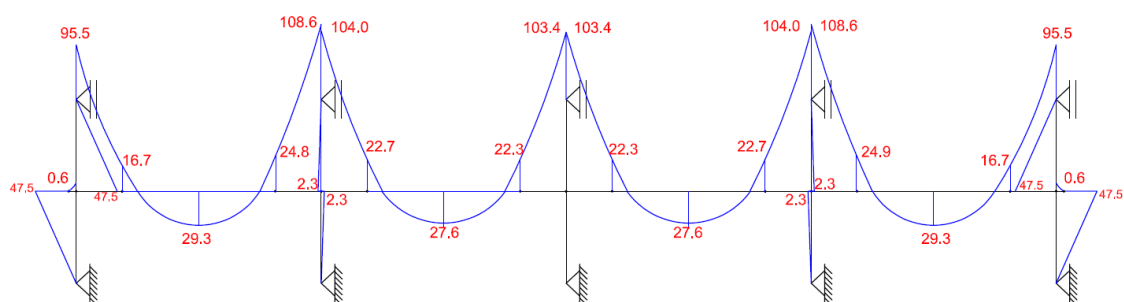


Figura D.3 – Momento fletor (kN.m/m)



APÊNDICE E – Diagrama de momento fletor e esforço cortante – pórtico múltiplo 04

Figura E.1 – Modelo estrutural do pórtico

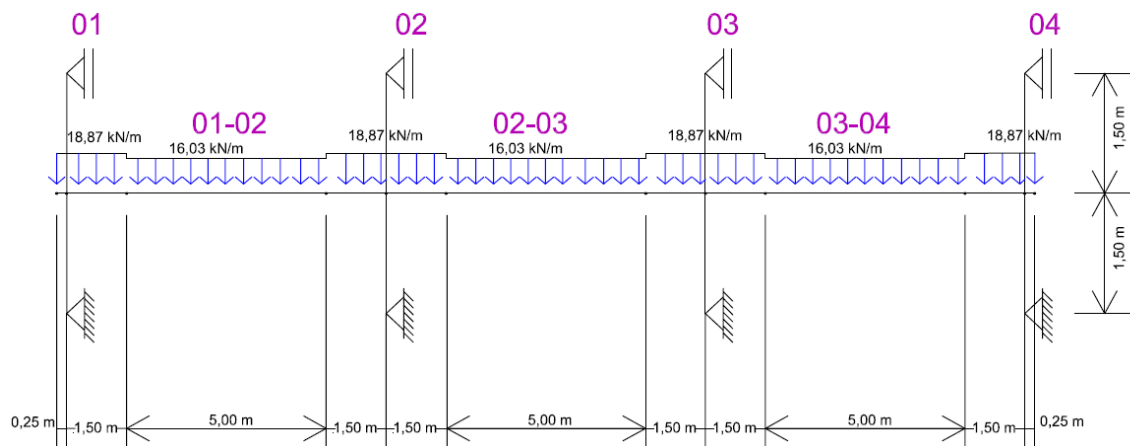


Figura E.2 – Esforço cortante (kN/m)

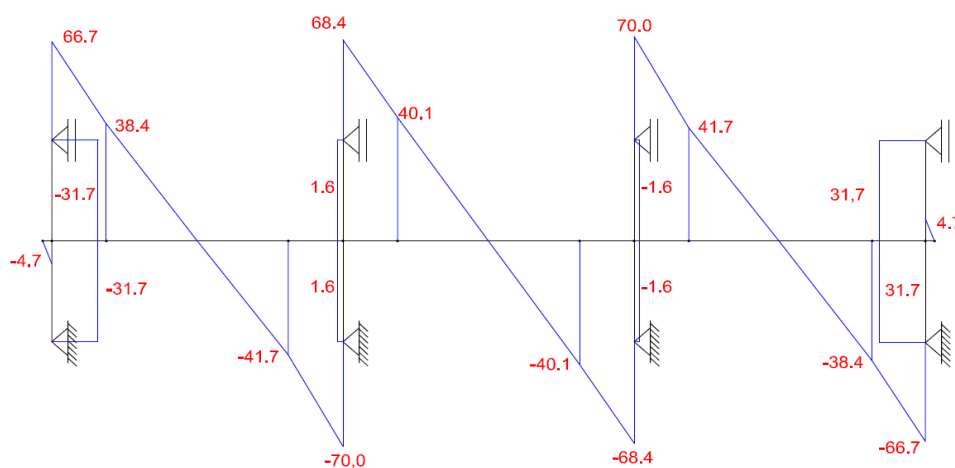
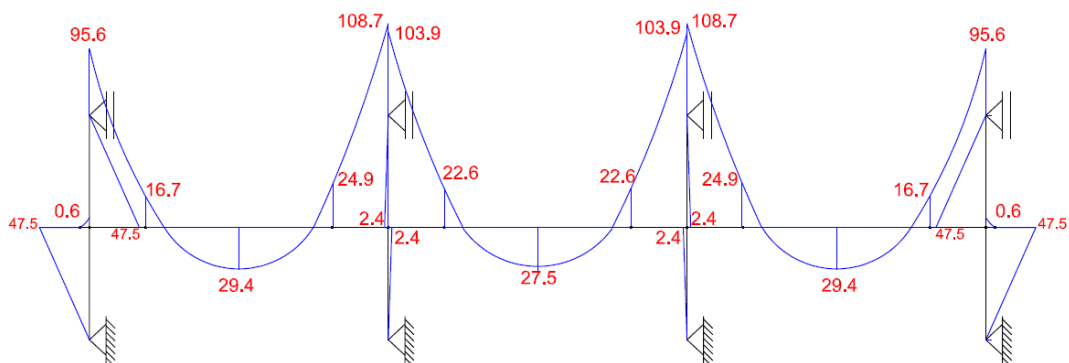


Figura E.3 – Momento fletor (kN.m/m)



APÊNDICE F – Diagrama de momento fletor e esforço cortante – pórtico múltiplo 06

Figura F.1 – Modelo estrutural do pórtico

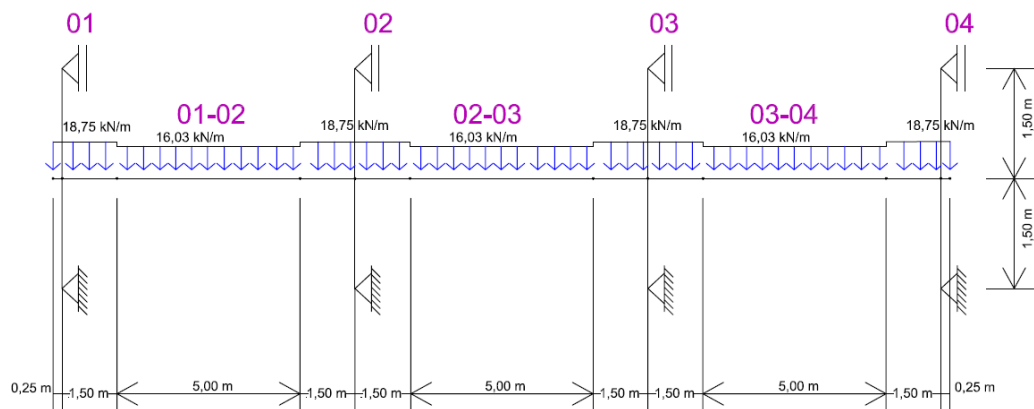


Figura F.2 – Esforço Cortante (kN/m)

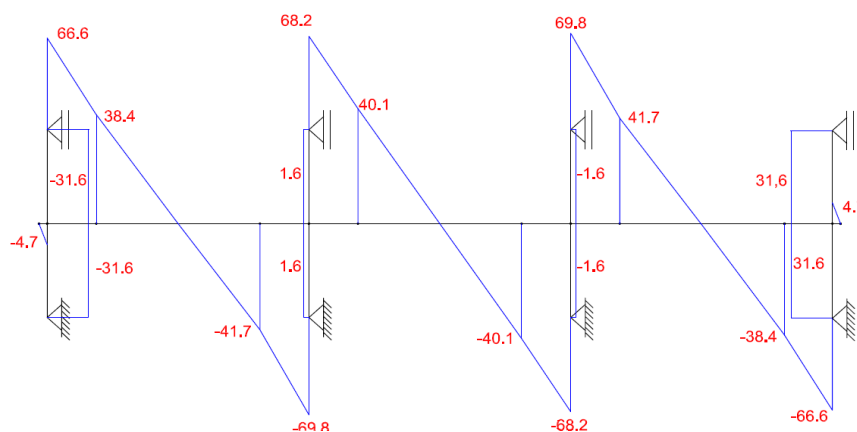
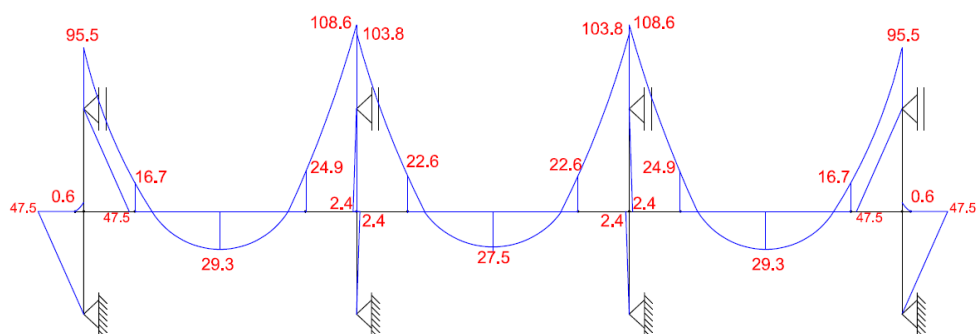
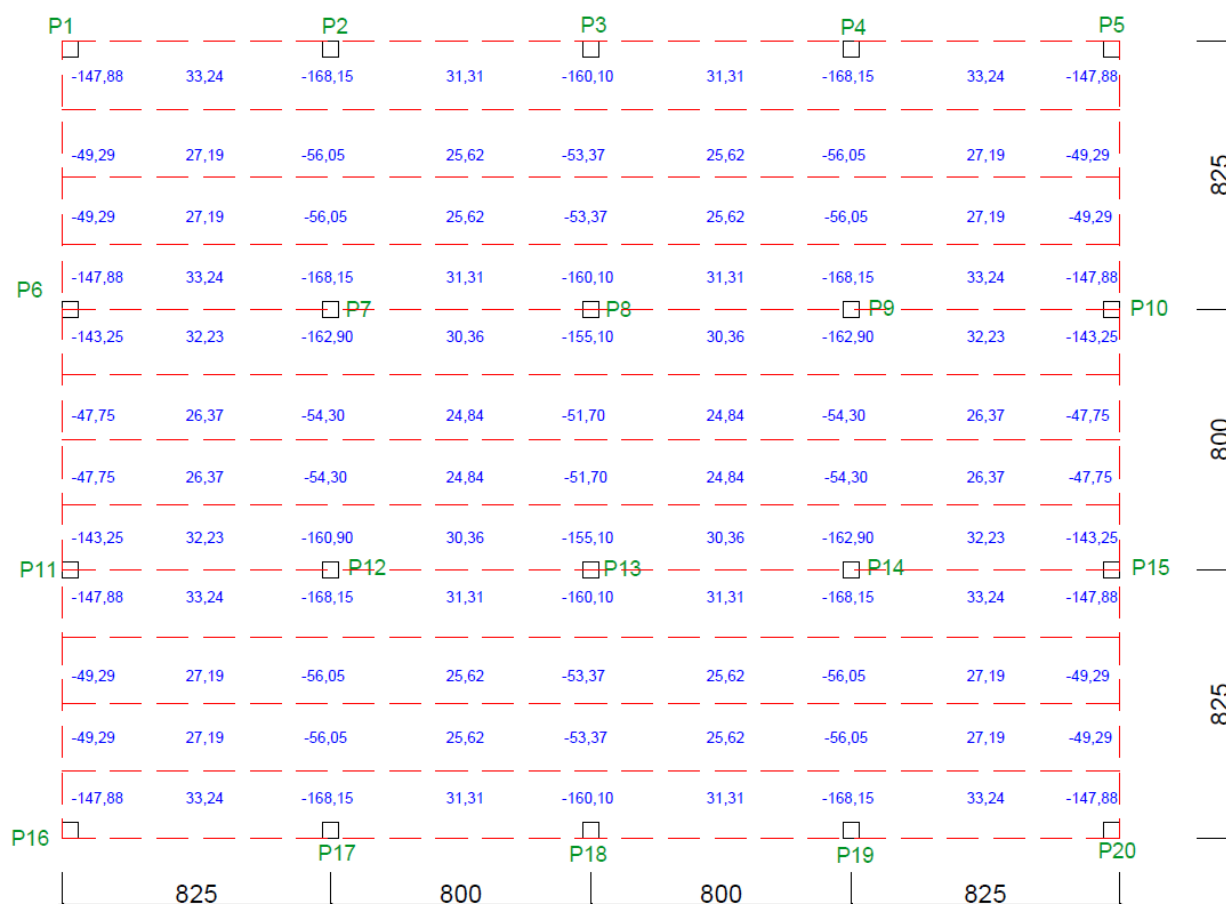


Figura F.3 – Momento Fletor (kN.m/m)



APÊNDICE G – Distribuição dos momentos atuantes nas direções X e Y no pavimento em estudo – método dos Pórticos Múltiplos

Figura G.1 – Momentos atuantes nos pórticos na direção X (kN.m/m)



APÊNDICE H – Distribuição dos momentos atuantes nas direções X e Y no pavimento em estudo – métodos computacionais

Figura H.1 – Momentos atuantes nos pórticos na direção X (kN.m/m)

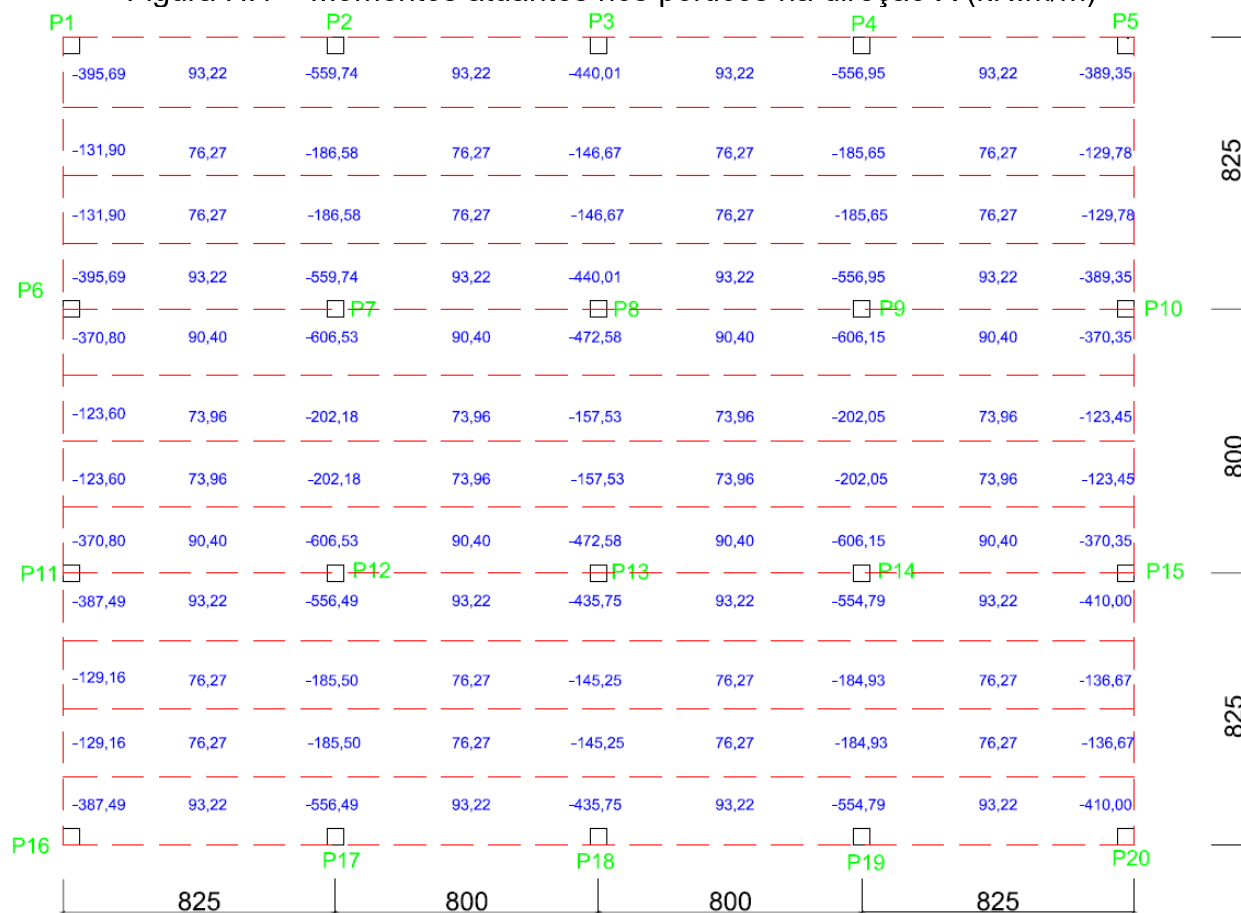


Figura H.2 – Momentos atuantes nos pórticos na direção Y (kN.m/m)

